НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ

XVII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

22-23 жовтня 2026 року



Миколаїв ■ 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ І МОН УКРАЇНИ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XVII Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ

22–23 жовтня 2026 рік

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9

ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА
2026

УДК 001.895:629.5
І-66

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ І МОН УКРАЇНИ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Міністерство освіти і науки України, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України; ДП «Адміністрація морських портів» (Україна); ДП «Адміністрація річкових портів» (Україна); ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (Україна); Південний науковий центр НАН України і МОН України (Україна); Головне управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Миколаївській області (Україна); Національний університет «Одеська національна академія» (Україна); Одеський національний морський університет (Україна); Черкаський державний технологічний університет (Україна); Національний авіаційний університет (Україна); Компанія «АМІКО ГРУПП» (Україна); Морське інженерне бюро (Україна); АТ «Завод «Екватор» (Україна); Асоціація ветеранів Військово-морських сил України (Україна); Харбінський інженерний університет (КНР); Університет науки і технологій Цзянсу (КНР); Таджикський технічний університет ім. академіка М.С. Осими (Таджикістан); Кошалінський технічний університет, ректор (Польща); Гданьський технологічний університет (Польща); Празький університет хімії і технології (Чеська республіка); Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія); ДУ Національний антарктичний науковий центр; Університет Аальборгу (Данія).

ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ

ТОВ «Видавничий дім «Гельветика»; науковий журнал «Shipbuilding & marine infrastructure»; журнал «Судноплавство».

Відповідальний за випуск
Павлов Геннадій Вікторович

Редакційна колегія не несе відповідальність за достовірність наведених даних та посилань. Матеріали публікуються в авторській редакції

Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XVII Міжнародна науково-технічна конференція : І-66 матеріали. – Миколаїв : НУК, 2026. – 896 с.

ISBN 978-966-321-510-5

У збірнику наведені матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 001.895:629.5

© Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2026

ISBN 978-966-321-510-5

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

УДК 629.05.01

RESEARCH OF TOWING CHARACTERISTICS OF THE CONCEPT OF THE LARGEST AT CASPIAN SEA DCCV64 780 TEU SHALLOW-DRAUGHT MULTIPURPOSE CONTAINER VESSEL FOR AD PORTS GROUP

Kuzmenko A.M.,
Director International Commercial & Business Development, Maritime Cluster 1,
AD Ports Group, UAE, Abu-Dhabi, [1] andrii.kuzmenko@adports.ae
Savelieva I.V.,
Dr., Prof, Acting Rector[2],
Odesa National Maritime University, Ukraine, Odesa, [2] savelieva@onmu.org.ua
Egorov O.G.,
PhD, senior lecturer, director general[3], Marine Engineering Bureau, Ukraine, Odesa
[3] egorovag@meb.com.ua
Demidiuk O.V.,
PhD, professor, Shipbuilding and shiprepair department named for Yu.L.Vorobyov[4],
Odesa National Maritime University, Ukraine, Odesa
[4] alexanderdemidiuk@gmail.com

Abstract. Importance of creation of new generation cargo vessels for the Caspian region is shown. Such new vessels should be designed with taking into account modern requirements for ecology and economy, which requires additional towing tests. Within the scope of the work, physical simulation of the motion of a new generation shallow-draught multipurpose container vessel was carried out in the research basin of the Odesa National Maritime University. The towing resistance and power were determined. The obtained data can be used in the future when developing similar vessel designs.

Keywords: model tests; hull forms; design; shallow draught; Middle Maritime Corridor.

On September 17, 2025 AD Ports Group announced awarding a contract to Baku Shipyard in Azerbaijan for the construction of two 780 TEU container vessels that will serve trade routes across the Caspian Sea [1]. From that date beginning of development of basic design of DCCV64 project has been started.

Concept of DCCV64 780 TEU shallow-draught multipurpose container vessel was created in close collaboration with colleagues from AD Ports Group, Caspian Integrated Maritime Solutions and Kazmortransflot to support the growing demand for containerised cargo capacity in the region and to ensure more efficient, reliable, and sustainable transport solutions on Middle Maritime Corridor (see Fig. 1).



Figure 1 – General view of DCCV64 780 TEU shallow-draught multipurpose container vessel

The new DCCV64 project is designed in specially created and optimised “super full” vessel hull contours with two dry cargo holds, has maximum possible dimensions and characteristics for existing infrastructure and depth limits on planned lines within Caspian Sea – expected operation draught is 4.5 m.

Hull contours were verified and optimized in Odesa National Maritime University towing tank as part of the DCCV64 basic design. The aim of the present investigation is the experimental determination of the towing resistance and power prediction of the vessel.

The object of study is a displacement monohull vessel with a straight bow and transom aft. Model of DCCV64 project is made in scale 1:70 from foam plastic, glued with glass fiberglass, plastered and painted. The shape of the hull is shown on Figure 2. General view of the model is shown on Figure 3.

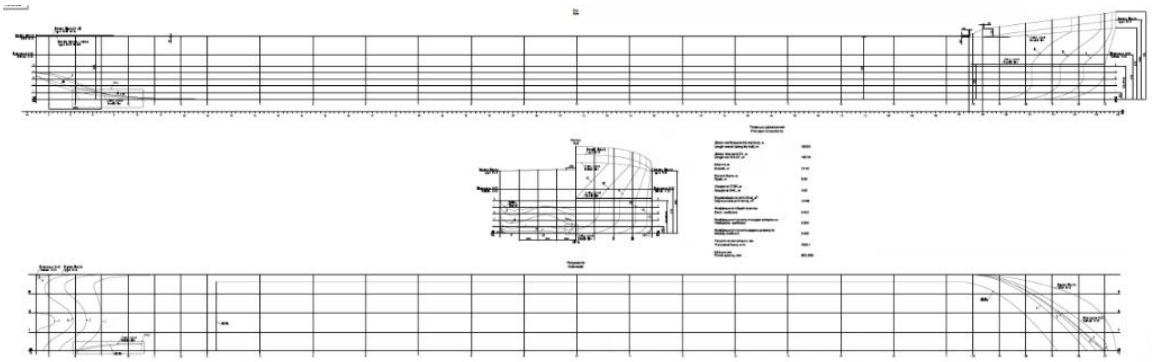


Figure 2 – Lines of DCCV64 780 TEU shallow-draught multipurpose container vessel

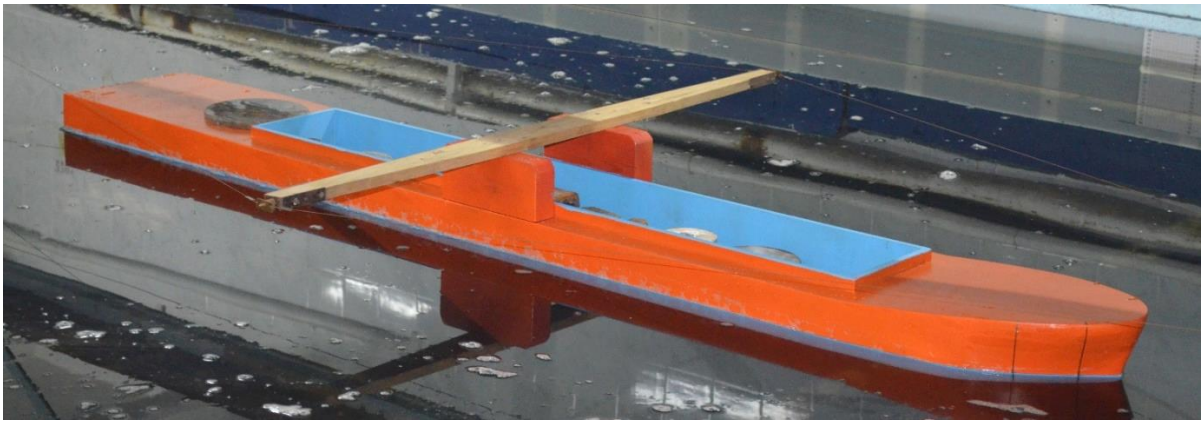


Figure 3 – General view of DCCV6 model

Model towing tests were carried out at a draft of 0.06 m (4.5 m for full-scale) in forward motion in accordance with the methodology described in [2] in the range of ship model speeds corresponding to Froude numbers from Fr = 0.087 to Fr = 0.176 in steps corresponding to a model resistance of 0.025 kgf (Fig. 4 and Fig. 5).

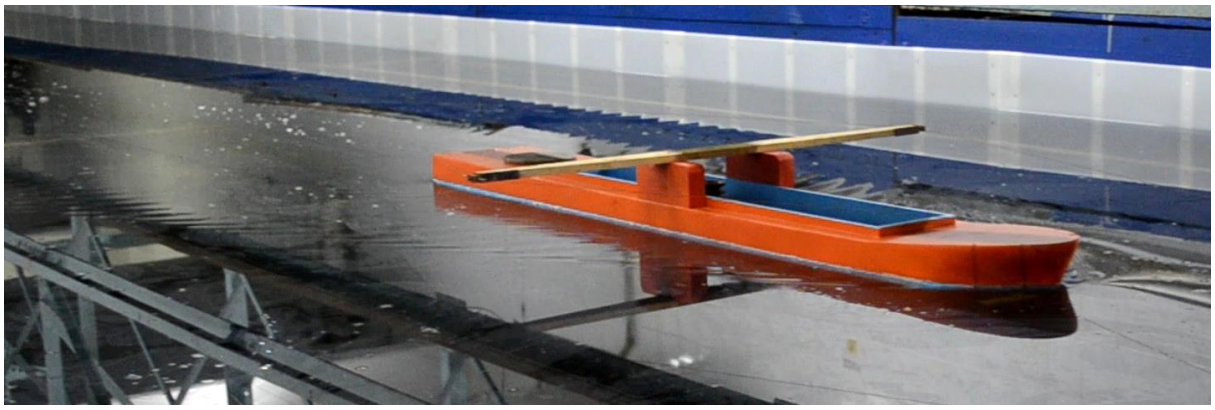


Figure 4 – Towing of the model in deep water with low velocity, Fr = 0,087

Results of towing tests of the model were recalculated to full-scale ship by standard methods adopted in the ONMU towing tank laboratory.

According to the procedure the residual resistance coefficient of full-scale ship was assumed to be the residual resistance coefficient of the model, which is defined as the difference between the total resistance and friction coefficients.



Figure 5 – Towing of the model in deep water with a design velocity, Fr = 0,149

Friction resistance coefficient was calculated according to Prandtl-Schlichting formula.

The results of evaluation of the total towing resistance and towing capacity of full-scale ship are presented in the form of plots (see. Table 1 and Table 2).

Table 1 – The results of the model towing tests

Velocity of the model, m/sec	Total resistance of the model, kgf	Total resistance of the model, N	Total resistance coefficient of the model	Froude number	Reynolds number of the model	Friction resistance coefficient of the model	Residual resistance coefficient
0,397	0,050	0,491	0,00733	0,087	7,10E+05	4,77E-03	0,00256
0,498	0,075	0,736	0,00700	0,109	8,89E+05	4,57E-03	0,00243
0,581	0,100	0,981	0,00685	0,128	1,04E+06	4,44E-03	0,00241
0,613	0,113	1,104	0,00693	0,135	1,09E+06	4,40E-03	0,00253
0,646	0,125	1,226	0,00693	0,142	1,15E+06	4,35E-03	0,00257
0,680	0,138	1,349	0,00688	0,149	1,21E+06	4,31E-03	0,00256
0,707	0,150	1,472	0,00695	0,155	1,26E+06	4,28E-03	0,00266
0,739	0,163	1,594	0,00688	0,162	1,32E+06	4,25E-03	0,00263
0,772	0,175	1,717	0,00680	0,169	1,38E+06	4,21E-03	0,00259
0,799	0,188	1,839	0,00679	0,176	1,43E+06	4,19E-03	0,00260

Table 2 – Power prediction to full-scale ship

Velocity of full scale ship, kn	Velocity of full scale ship, m/sec	Reynolds number of the full-scale ship	Friction resistance coefficient of the full-scale ship	Total resistance coefficient of the full-scale ship	Total resistance of the full-scale ship		Towing power of the full-scale ship	
					tf	kN	h.p.	kW
6,46	3,324	3,15E+08	0,00186	0,00477	11,30	110,8	501,0	368,4
8,10	4,166	3,94E+08	0,00180	0,00458	17,06	167,4	948,2	697,2
9,46	4,865	4,60E+08	0,00177	0,00452	22,96	225,2	1490,0	1095,6
9,97	5,129	4,85E+08	0,00176	0,00464	26,16	256,6	1790,2	1316,3
10,51	5,407	5,12E+08	0,00174	0,00467	29,26	287,0	2110,7	1552,0
11,06	5,691	5,38E+08	0,00173	0,00465	32,28	316,7	2450,9	1802,1
11,50	5,915	5,60E+08	0,00172	0,00474	35,55	348,7	2804,9	2062,4
12,02	6,185	5,85E+08	0,00171	0,00470	38,54	378,1	3180,6	2338,7
12,55	6,455	6,11E+08	0,00170	0,00464	41,50	407,1	3574,1	2628,0
13,00	6,689	6,33E+08	0,00170	0,00465	44,61	437,6	3980,8	2927,1

Conclusion. The total power of the ship's main propulsion system is Ne = 4000 kW. According to towing test data the ship's velocity with a freshly painted hull and a draught of 4.5 m in deep calm water under real operating conditions using 85 % of the available power of the main propulsion system (Ne = 3400 kW) will be at least 11.02 knots. It is assumed that the propulsion coefficient is 0.56.

References

[1] AD Ports Group Website. URL: https://www.adportsgroup.com/en/news-and-media/2025/09/17/ad-ports-group-awards-contract-for-two-shallow-draft-container-vessels-for-caspian-sea-operations [in English].

[2] O.V. Demidiuk. Modernization of the measurement system of the towing tank of ONMU. *Vistnuk ONMU*. Issue. 1 (34), pages 67–76, ONMU, Odesa, 2012.

УДК 005.8

СТРУКТУРА КЛАСТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПОБУДОВИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН НА ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХАХ УКРАЇНИ

Гурський С.В.
Голова Державної служби морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України
м. Київ, Україна, s.gurskyi@shipregister.ua

Анотація. В тезах розкрито концептуальні засади формування кластерної системи побудови та експлуатації транспортних суден на внутрішніх водних шляхах України. Обґрунтовано необхідність переходу від розрізненого функціонування суднобудівних підприємств, судноплавних компаній, портової інфраструктури, наукових установ та органів державного управління до інтегрованої моделі взаємодії. Запропоновано структуру транспортно-суднобудівного кластера, визначено його основні елементи, функції та механізми взаємодії. Особливу увагу приділено проблемам оновлення флоту, цифровізації процесів експлуатації, технічному обслуговуванню суден, кадровому забезпеченню та підвищенню конкурентоспроможності внутрішнього водного транспорту України.

Ключові слова: внутрішні водні шляхи, транспортні судна, суднобудування, судноплавство, кластерна система, транспортний кластер, експлуатація флоту, модернізація, логістика, цифровізація.

Вступна частина. Внутрішній водний транспорт є важливою складовою транспортної системи держави, оскільки забезпечує переміщення значних обсягів вантажів, створює альтернативні логістичні маршрути та сприяє зниженню навантаження на автомобільну і залізничну інфраструктуру. Для України особливого значення набуває ефективне використання потенціалу внутрішніх водних шляхів, передусім басейнів Дніпра та Дунаю [1].

Мета роботи полягає у розробленні та обґрунтуванні структури кластерної системи побудови і експлуатації транспортних суден на внутрішніх водних шляхах України, що забезпечує узгоджену взаємодію суднобудівних, судноплавних, ремонтних, логістичних, інфраструктурних, науково-освітніх та державних суб’єктів, підвищення ефективності використання внутрішнього водного транспорту та забезпечення його сталого розвитку.

Основна частина. Однією з ключових проблем розвитку внутрішнього водного транспорту є технічний і моральний знос значної частини флоту. Поряд із цим існують проблеми недостатньої координації між суднобудівними підприємствами, судновласниками, портами, ремонтними організаціями, науковими та освітніми установами. Така фрагментарність призводить до збільшення вартості життєвого циклу суден, зниження ефективності їх використання та уповільнення впровадження сучасних технологій.

Вирішення зазначених проблем доцільно здійснювати на основі кластерного підходу, який передбачає територіально та функціонально взаємопов’язану систему підприємств і організацій, об’єднаних спільними економічними інтересами та технологічними процесами.

Передумови формування кластерної системи

Кластерна модель у сфері внутрішнього водного транспорту має базуватися на поєднанні трьох взаємопов’язаних напрямів: побудови суден, їх експлуатації та забезпечення життєвого циклу флоту.

Традиційна модель передбачає послідовний ланцюг «замовник – суднобудівне підприємство – судно – експлуатація – ремонт». У кластерній моделі цей ланцюг трансформується у мережу постійної взаємодії, в якій судновласник бере участь у формуванні технічного завдання, виробник отримує інформацію про реальні умови експлуатації судна, а наукові та освітні установи забезпечують технологічний і кадровий розвиток.

Таким чином, кластер можна визначити як інтегровану систему суб’єктів суднобудування, судноплавства, ремонту, логістики, інфраструктури, науки, освіти та державного регулювання, діяльність яких спрямована на створення, ефективну експлуатацію та модернізацію транспортного флоту.

Основними передумовами формування такої системи є:

- необхідність оновлення та модернізації транспортного флоту;
- зростання вимог до безпеки судноплавства;
- необхідність підвищення енергоефективності суден;
- розвиток мультимодальних перевезень;
- цифровізація транспортних і виробничих процесів;
- потреба у скороченні витрат протягом життєвого циклу судна;
- необхідність розвитку вітчизняного суднобудування та судноремонту;
- формування нової системи підготовки та перепідготовки кадрів.

Структура кластерної системи

Запропонована структура кластерної системи може бути представлена у вигляді декількох взаємопов'язаних рівнів.

1. Ядро кластеру

Ядро формують підприємства, безпосередньо пов'язані зі створенням та експлуатацією транспортних суден:

- судноплавні компанії та судновласники;
- суднобудівні підприємства;
- судноремонтні підприємства;
- оператори портів і терміналів;
- підприємства технічного обслуговування флоту.

2. Виробничо-технологічний сектор

До цього сектору належать виробники:

- суднових двигунів та енергетичних установок;
- навігаційного та радіотехнічного обладнання;
- систем автоматизації;
- металоконструкцій;
- електрообладнання;
- засобів зв'язку;
- систем контролю та моніторингу технічного стану.

3. Науково-інноваційний сектор

Науково-дослідні установи та заклади вищої освіти повинні забезпечувати кластер науковими розробками у сфері:

- проєктування суден;
- гідродинаміки;
- енергоефективності;
- альтернативних видів палива;
- автоматизації;
- оптимізації маршрутів;
- екологічної безпеки.

Взаємодія науки з виробництвом має відбуватися не лише у формі виконання окремих дослідницьких проєктів, а як постійний процес удосконалення конструкції та експлуатаційних характеристик флоту.

4. Інфраструктурний сектор

Ефективність кластеру безпосередньо залежить від стану інфраструктури внутрішніх водних шляхів. До неї належать:

- річкові порти;
- причали;
- шлюзи;
- навігаційне обладнання;
- ремонтні бази;
- складські та перевантажувальні комплекси.

Розвиток інфраструктури повинен здійснюватися синхронно з оновленням флоту. В іншому випадку нові судна не зможуть повною мірою реалізувати свої технічні та економічні переваги [1].

Система життєвого циклу транспортного судна

Однією з головних переваг кластерної моделі є можливість організації управління не окремими етапами, а повним життєвим циклом судна.

Його можна представити як послідовність:

обґрунтування потреби → проєктування → побудова → випробування → введення в експлуатацію → експлуатація → технічне обслуговування → ремонт і модернізація → продовження ресурсу → утилізація.

Цифрова платформа кластеру

Сучасний кластер доцільно доповнити єдиною цифровою платформою, яка забезпечуватиме інформаційну взаємодію між його учасниками.

Функціонально така платформа може містити:

- електронний реєстр суден;
- інформацію про технічний стан флоту;
- систему планування ремонтів;
- систему управління запасними частинами;
- облік споживання палива;
- прогнозування технічного стану обладнання;
- електронний документообіг;
- аналітичні модулі для оцінювання ефективності перевезень.

Цифровізація управління дозволяє перетворити розрізнену інформацію на ресурс управління. Наприклад, статистичні дані про відмови конкретного типу двигуна можуть використовуватися одночасно судновласником, ремонтним підприємством і проєктувальником нового судна [2].

Організаційно-економічний механізм

Для функціонування кластеру необхідний організаційно-економічний механізм, що передбачає координацію інтересів усіх учасників.

До основних інструментів такого механізму можна віднести:

- довгострокові договори між судновласниками та суднобудівними підприємствами;
- спільне фінансування інноваційних проєктів;
- державні програми стимулювання оновлення флоту;
- механізми лізингу транспортних суден;
- страхування інвестиційних ризиків;
- локалізацію виробництва комплектуючих;
- спільні освітні та наукові програми.

Особливу роль може відігравати механізм державно-приватного партнерства. Держава при цьому створює необхідні регуляторні та інфраструктурні умови, тоді як приватний сектор забезпечує інвестиції, технологічні рішення та ефективне управління.

Кадрове забезпечення кластерної системи

Розвиток флоту неможливий без підтримки відповідного кадрового потенціалу. Кластерна модель створює можливості для інтеграції освітнього процесу з реальними потребами підприємств.

Доцільним є створення системи:

заклад освіти → практична підготовка → підприємство → підвищення кваліфікації → наукова та інноваційна діяльність.

Підготовка кадрів має охоплювати не тільки судноводіїв і суднових механіків, а і інженерів-конструкторів, фахівців із цифрових технологій, енергоменеджменту та логістики.

Важливим напрямом є розвиток дуальної освіти, коли здобувач освіти одночасно отримує теоретичну підготовку в закладі освіти та практичні навички на підприємстві.

Очікувані результати функціонування кластеру

Формування кластерної системи побудови та експлуатації транспортних суден може забезпечити низку економічних і технологічних ефектів.

Передусім це:

- підвищення коефіцієнта технічної готовності флоту;
- скорочення простоїв під час ремонту;
- зменшення витрат палива;
- підвищення рівня безпеки судноплавства;
- розвиток українського суднобудування;
- збільшення частки вітчизняних комплектуючих;
- створення нових робочих місць;
- підвищення конкурентоспроможності внутрішнього водного транспорту;
- розвиток регіонів, пов’язаних із суднобудуванням і річковою логістикою.

Висновки: Формування кластерної системи побудови та експлуатації транспортних суден є перспективним напрямом модернізації внутрішнього водного транспорту України. Її принципова відмінність від традиційної моделі полягає в інтеграції суднобудування, судноплавства, ремонту, портової інфраструктури, науки, освіти та державного регулювання в єдину систему.

Основою кластеру мають стати судноплавні компанії, суднобудівні та судноремонтні підприємства, доповнені виробниками суднового обладнання, портовою інфраструктурою, науково-освітніми установами та цифровою платформою управління.

Важливою умовою успішного функціонування кластеру є орієнтація не лише на будівництво нових суден, а на управління повним життєвим циклом флоту. Це створює передумови для системного зниження експлуатаційних витрат, підвищення надійності суден, прискорення технологічного оновлення та розвитку національної суднобудівної галузі.

Отже, запропонована кластерна модель може стати одним із механізмів формування в Україні сучасної, технологічно інтегрованої та конкурентоспроможної системи внутрішнього водного транспорту, здатної забезпечувати ефективні вантажні перевезення та сприяти відновленню й розвитку національного промислового потенціалу.

Література

1. Про внутрішній водний транспорт : Закон України від 03.12.2020 № 1054-IX. *Верховна Рада України.* Закон України «Про внутрішній водний транспорт» Законодавство України.
2. Про транспорт : Закон України від 10.11.1994 № 232/94-ВР. *Верховна Рада України.* Закон України «Про транспорт».

STRUCTURE OF THE CLUSTER SYSTEM FOR THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF TRANSPORT VESSELS ON UKRAINE'S INLAND WATERWAYS

Sergey V. Gursky
Head of the State Service for Maritime and Inland Waterway Transport and Navigation of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. This paper sets out the conceptual foundations for the development of a cluster system for the construction and operation of transport vessels on Ukraine's inland waterways. It justifies the need to move away from the fragmented operation of shipbuilding enterprises, shipping companies, port infrastructure, research institutions and government bodies towards an integrated model of cooperation. A structure for a transport and shipbuilding cluster is proposed, and its main elements, functions and mechanisms of interaction are defined. Particular attention is paid to the issues of fleet modernisation, the digitalisation of operational processes, vessel maintenance, staffing and enhancing the competitiveness of Ukraine's inland waterway transport.

Keywords: inland waterways, transport vessels, shipbuilding, shipping, cluster system, transport cluster, fleet operation, modernisation, logistics, digitalisation.

УДК 658.5:658.14/.17:629.5

ПЛАНУВАННЯ ДІАГНОСТИКИ ВИРОБНИЧОГО КАПІТАЛУ СУДНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ПОВОЄННИЙ ЧАС

Жукова О.Ю.,
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки та цифрового бізнесу
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна, olena.zhukova@nuos.edu.ua

Анотація. Доповідь присвячена висвітленню ключових етапів планування діагностики стану виробничого капіталу суднобудівних підприємств як обов'язкової складової подальшої розробки системних заходів, спрямованих на їхню повоєнну відбудову. Запропоновано визначення аудиту, окреслено очікування, пов'язані з його результатами. Систематизовано об'єкти діагностики – компоненти виробничого капіталу. Сконцентровано увагу на їхній управлінській складовій. Наголошено на важливості залучення до команди аудиторів фахівців з IT-архітектури.

Ключові слова: економіка, промисловість, суднобудування, повоєнна відбудова, виробничий капітал, менеджмент, аудит, планування.

Поза всяким сумнівом, після завершення війни на суднобудування очікує тривала та кропітка робота з відбудови його підприємств на концептуальних засадах цифрового та «блакитного» («зеленого») переходів [1]. Перш ніж взятися за неї, знадобиться ретельний аудит виробничого капіталу корабелень. Він, на нашу думку, являє собою комплексну діагностику, результати якої мають:

а) висвітлювати зони, які потребують негайного покращення, та містити поради щодо вдосконалення конструктивних практик або докорінної зміни застарілих управлінських підходів;

б) озброїти менеджмент розумінням здатності організації відновити випуск продукції, впроваджувати інновації та інтегруватися у відповідні сегменти світового ринку.

Процес такої діагностики має бути ретельно спланований.

Перший крок, який треба зробити на цьому шляху, – формулювання мети аудиту. У широкому контексті йдеться про визначення потенціалу повоєнного відновлення верфі. Він набуде конкретних обрисів з огляду на реалії, з якими стикається менеджмент.

Другий крок – визначення об'єктів діагностики залежно від обраних пріоритетів та наявних фінансових можливостей підприємства (рис. 1).



Рисунок 1 – Систематизація об'єктів діагностики виробничого капіталу суднобудівного підприємства

З усіх фрагментів пояснення потребує хіба що капітал управлінський – сукупність ресурсів та компетенцій досвідчених менеджерів-лідерів, які залучені до керівництва суднобудівним підприємством з метою формування його конкурентних переваг. Без їхніх глибоких інституційних знань, накопичених упродовж кар'єри, неможливо прокладати шляхи до майбутнього у складних взаємозалежностях сучасного бізнесу.

Зміст третього кроку – формування команди фахівців, потрібних для виконання аудиту, та окреслення їхніх функціональних обов'язків, а саме:

а) HR-фахівці – визначають фактичну чисельність, фахову структуру, компетенції персоналу, потреби в їхній актуалізації;

б) експерти зі стратегічного менеджменту – аналізують попит, тенденції актуальних ринків, узгоджують перспективи виробництва та маркетингу;

в) технічні та технологічні експерти, яким доручають:

– оцінити стан основного капіталу, рівень його зносу, пошкоджень, придатність для подальшого використання, потреби в модернізації з огляду на міжнародні стандарти. Цілком імовірно, що для відбудови основного капіталу саме на інноваційних засадах будуть використані репараційні відшкодування від держави-агресора. Щодо відповідного механізму маємо ухвалене рішення Європейського парламенту [2];

– проаналізувати досконалість наявних технологій. Йдеться про ступінь їхньої цифровізації з огляду на спеціалізацію підприємства. Не менш важливо сформувати базу даних для розроблення інноваційно-інвестиційних проєктів щодо співпраці з інжиніринговими бюро, модернізації інфраструктури, будівельних майданчиків, автоматизації процесів різання та зварювання металу;

г) фінансові аналітики. Їхнє завдання полягає у визначенні структури капіталу, боргових зобов'язань організації, перевірці звітності;

д) правники – оцінюють юридичні ризики, які супроводжуватимуть підприємство на етапі відбудови, визначають регуляторні вимоги до кожного з бізнес-процесів з боку державних інституцій та міжнародних організацій (Міжнародна асоціація класифікаційних товариств, Міжнародна морська організація, Європейська комісія тощо);

е) бізнес-архітектори – послуговуючись методологією глобального стандарту TOGAF, виявляють сфери покращень, поєднують стратегії розвитку з потребою у реорганізації та реструктуризації бізнес-процесів, окреслюють коло завдань, розв'язання яких забезпечує виконання місії та досягнення довгострокових цілей корабельні, аналізують корпоративні бази знань, IT-ландшафт підприємства (разом із чинними системними додатками та тими, які будуть потрібні у майбутньому), визначають їхню відповідність потокам створення цінності. У такий спосіб закладаються підвалини цифрової повоєнної трансформації підприємства. Без неї годі й мріяти про його піднесення.

Попереднє ознайомлення цих спеціалістів із підприємством є частиною плану аудиту, оскільки допоможе визначити обсяги робіт і ресурси, потрібні для них, сформулювати стратегію аудиту та розробити його графік.

Висновок. Неможливо передбачити навіть малу дещицю тих руйнівних наслідків, які залишить по собі війна в українській промисловості та в суднобудуванні зокрема. Одне очевидно: з часом вони лише збільшуються. Ось чому перед початком відновлення корабелень слід провести тотальний аудит виробничого капіталу. Чим ретельніше він буде спланований, тим більше шансів дістатися омріяного порівняно швидко та ефективно.

Література

[1]. The twin green & digital transition: How sustainable digital technologies could enable a carbon-neutral EU by 2050. European Commission. 2022. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/twin-green-digital-transition-how-sustainable-digital-technologies-could-enable-carbon-neutral-eu-2022-06-29_en

[2]. Confiscation of immobilized Russian sovereign assets: State of play, arguments and scenarios. (2025). European Parliament. Retrieved from URL: https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2025)775908

PLANNING THE DIAGNOSTIC ASSESSMENT OF PRODUCTION CAPITAL AT SHIPBUILDING ENTERPRISES IN THE POST-WAR PERIOD

Olena Zhukova

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The report is dedicated to the key stages of planning an diagnostic assessment of the production capital of shipbuilding enterprises as an essential prerequisite for developing comprehensive measures aimed at their post-war recovery and reconstruction. The definition of audit is proposed, the expected outcomes of such an assessment are outlined. The components of production are systematized as the main objects of diagnosis, with particular attention given to management component. The report also emphasizes the importance of involving IT architecture specialists in the audit team.

Keywords: economy, industry, shipbuilding, post-war reconstruction, production capital, management, audit, planning.

UDC 629.55.023:639.3

CONVERSION OF AN INLAND CARGO BARGE INTO A MODULAR FLOATING AQUACULTURE PLATFORM: STRUCTURAL ASSESSMENT

Ungureanu C., Perijoc S., Gavan E.

Lecturer PhD, Assistant Professor PhD, Lecturer PhD,
Faculty of Naval Architecture, "Dunarea de Jos" University of Galati,
47 Domneasca Street, RO-800008 Galati, Romania
costel.ungureanu@ugal.ro

Abstract. This paper presents an integrated engineering assessment of the conversion of a typical inland cargo barge into a modular floating aquaculture platform for operation in the Lower Danube region. The concept combines twelve modular fish tanks arranged inside the cargo space with a greenhouse superstructure intended for aquaponic cultivation and photovoltaic integration. Global structural behaviour is evaluated using three-dimensional finite-element analysis for still-water, hogging and sagging conditions. The results indicate adequate global structural capacity for the analysed configuration, while identifying local stress hot-spots under the governing sagging condition that require further structural detailing and verification.

Keywords: floating fish farm, river barge, aquaculture platform, structural assessment, FEM.

1. Introduction

Vessel-shaped fish farms have been investigated mainly for offshore or open-water operation, including movable aquaculture vessels and semi-submersible concepts [1-4]. Inland rivers and channels generally provide more sheltered environmental conditions than offshore locations, although the restricted manoeuvring space and specific riverine loading conditions require dedicated structural assessment. The present study evaluates the conversion of a conventional river cargo barge into a modular floating fish farm for inland-water operation,

focusing on the global structural response of the converted platform under still-water, hogging and sagging conditions.



Figure 1 – Proposed conversion concept: inland cargo barge with greenhouse superstructure

2. Platform concept and assessment methodology

A typical 3000 dwt inland cargo barge was selected as the conversion basis. The reference configuration has an overall length of 89. m, beam of 11. m, depth of 4. m, draught of 3. m and displacement of 3459 t. The cargo space is subdivided into twelve modular fish tanks, while a pump room and technological container support the production systems. A greenhouse accommodates aquaponic cultivation; its approximately 30-degree roof inclination also permits photovoltaic integration [5].

For the structural assessment, a three-dimensional CAD model of the barge and greenhouse was analysed by FEM using Grade A shipbuilding steel with a 235 MPa yield stress. Three global cases were considered: LC1 – still water; LC2 – full-load hogging; and LC3 – full-load sagging [6]. Hydrostatic pressure was applied to the shell and tank boundaries, and a 1. m wave height was used for hogging and sagging.

3. Structural results

The global structural calculations remain below the nominal yield stress for all three analysed cases. Maximum von Mises stresses are approximately 125 MPa in still water, 87 MPa in hogging and 222 MPa in sagging. Sagging is therefore the governing case. Although 222 MPa remains below the 235 MPa yield limit, the yielding ratio exceeds 0.8 in several local hot-spots; these areas require stress redistribution and further verification after structural detailing.

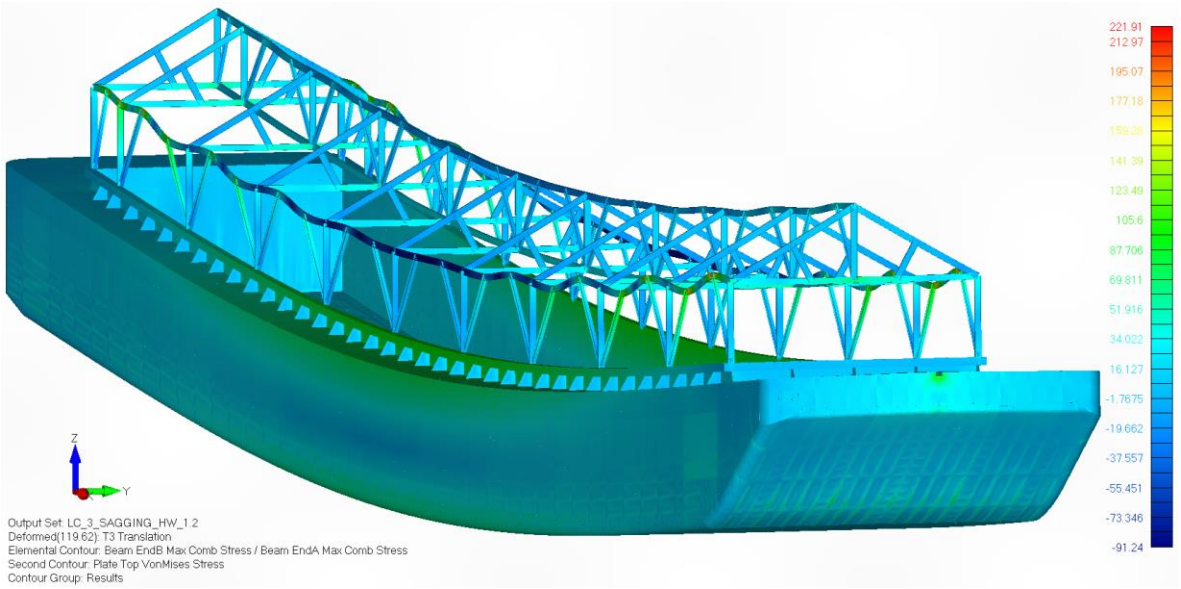


Figure 2 – Representative FEM result for the converted barge under the governing sagging condition

4. Conclusions

The study demonstrates that an inland cargo barge can provide a technically credible basis for conversion into a modular floating aquaculture platform integrating fish tanks, aquaponic cultivation and photovoltaic systems.

The three-dimensional FEM assessment shows that the global von Mises stresses remain below the nominal yield stress of Grade A shipbuilding steel for all investigated loading conditions.

Among the analysed cases, sagging is the governing condition, with a maximum von Mises stress of approximately 222 MPa compared with 125 MPa in still water and 87 MPa in hogging. Although the global response remains below the nominal yield limit of 235 MPa, several local hot-spots exhibit a yielding ratio above 0.8. These areas require local structural optimisation and subsequent verification during the detailed design stage.

The results support the technical feasibility of reusing an existing inland cargo barge as the structural basis of a modular aquaculture platform. Further work should address local reinforcement, detailed assessment of structural connections and supports, mooring loads, and integration of the fish-growing, water-treatment and aquaponic systems.

Acknowledgement. This project was financed through the CDI-TT research programme of "Dunarea de Jos" University of Galati, Contract no. 9416/30.03.2023. The studies used the facilities of the Faculty of Naval Architecture and the Naval Architecture Research Center.

References

[1] Li, Z., Guo, X., Cui, M. Numerical investigation of flow characteristics in a rearing tank aboard an aquaculture vessel. Aquacultural Engineering, 98 (2022), 102272. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102272.

[2] Pang, G., Zhang, S., Liu, H., Zhu, S., Yuan, T., Li, G., Han, X., Huang, X. Hydrodynamic response analysis for a new semi-submersible vessel-shaped fish farm platform based on numerical simulation. Frontiers in Marine Science, 10 (2023), 1135757. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1135757.

[3] Chu, Y.I., Wang, C.M., Zhang, H., Abdussamie, N., Karampour, H., Jeng, D.S., Baumeister, J., Aland, P.A. Offshore Fish Farms: A Review of Standards and Guidelines for Design and Analysis. Journal of Marine Science and Engineering, 11 (2023), 762. https://doi.org/10.3390/jmse11040762.

[4] Li, L., Jiang, Z., Hoiland, A.V., Ong, M.C. Numerical Analysis of a Vessel-Shaped Offshore Fish Farm. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 140 (4) (2018), 041201. https://doi.org/10.1115/1.4039131.

[5] Manolache, A.I., Andrei, G., Rusu, L. An Evaluation of the Efficiency of the Floating Solar Panels in the Western Black Sea and the Razim-Sinoe Lagunar System. Journal of Marine Science and Engineering, 11 (2023), 203. https://doi.org/10.3390/jmse11010203.

[6] Domnisoru, L. Strength assessment in oblique design waves for a Europe B2 1740T river barge type. Galati University Press: Shipbuilding, 41 (2019), 23–28.

CONVERSION OF AN INLAND CARGO BARGE INTO A MODULAR FLOATING AQUACULTURE PLATFORM: STRUCTURAL ASSESSMENT

Ungureanu Costel, Perijoc Silviu, Gavan Eugen

Faculty of Naval Architecture, "Dunarea de Jos" University of Galati,

47 Domneasca Street, RO-800008 Galati, Romania

Abstract. This paper presents an integrated engineering assessment of the conversion of a typical inland cargo barge into a modular floating aquaculture platform for operation in the Lower Danube region. The concept combines twelve modular fish tanks arranged inside the cargo space with a greenhouse superstructure intended for aquaponic cultivation and photovoltaic integration. Global structural behaviour is evaluated using three-dimensional finite-element analysis for still-water, hogging and sagging conditions. The results indicate adequate global structural capacity for the analysed configuration, while identifying local stress hot-spots under the governing sagging condition that require further structural detailing and verification.

Keywords: floating fish farm, river barge, aquaculture platform, structural assessment, FEM.

УДК 681.5

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ

Буссов Д.Є.,
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Дослідно-проектний центр кораблебудування»

Анотація. Розглянуто сучасну проблему забруднення внутрішніх та морських водних акваторій вибухонебезпечними предметами. Проаналізовано відмінність підходів які застосовуються для нейтралізації небезпечних предметів на внутрішніх водоймах та у відкритому морі. Сформульовано основні ідеї рішення зазначеної проблеми з точки зору створення комплексної системи управління засобами морської спеціалізованої.

Ключові слова: засоби морської робототехніки, кораблів протимінної оборони, судна гуманітарного розмінування, вибухонебезпечні предмети, автоматизована система управління.

Вступна частина. Морські міни є одним з найстаріших видів озброєння кораблів та підводних човнів і з розвитком високоточних та керованих видів морської зброї, таких як ракети, дрони, керовані та програмовані снаряди, міни залишаються актуальним засобом захисту узбережжя або блокування морських шляхів. Розвиток мінної зброї привів до появи мін з композитними (не металевими) корпусами складної геометричної форми, комплексним алгоритмом спрацювання заряду. Все це знано ускладнює їх пошук та нейтралізацію.

Метою роботи є формування актуальної наукової задачі розробки систем управління засобами морської робототехніки для забезпечення гуманітарного розмінування морських акваторій.

Основна частина. Слід відмітити, що очищення морських та річкових акваторій матиме істотний вплив на процес повноцінного відновлення комерційного судноплавства, промислового вилову риби, вантажних перевезень, виконання процедур очищення водного середовища від забруднень, особливо в наслідок бойових дій, проведення рятувальних операцій та забезпечення малого судноплавства. Відновлення згаданих процесів в першу чергу матиме істотний влив на прибережні регіони і сприятиме їх розвитку [1].

Існують два основних загальних підходи для знешкодження мінної небезпеки військове та гуманітарне розмінування [2].

Військове розмінування має на меті швидке очищення водної ділянки достатньої ширини для проходу кораблів основних класів, що складають основне ударне ядро флоту. Основним критерієм в даному випадку є швидкість та ефективність знешкодження мінної небезпеки на відносно невеликий акваторії моря. При цьому основною задачею є швидке розблокування кораблів флоту, при певній долі ризику.

Гуманітарне розмінування виконується з метою повного очищення певного району водної акваторії від всіх видів вибухонебезпечних предметів. При цьому час, якій буде витрачено для виконання такої місії не є першочерговим критерієм її успішного виконання.

Розмінування водних шляхів в свою чергу можна поділити на дві групи – розмінування внутрішніх водойм та морських акваторій.

При виконанні розмінування внутрішніх водойм спеціалізованим плавзасобам значно простіше спиратись на технічну підтримку берегової інфраструктури для виконання поставлених завдань і, відповідно, конструкція самих плавзасобів та структура систем управління такими об’єктами будуть будуватись на простих рішеннях, без комплексування функцій управління технічними засобами розмінування, з базуванням частини технічних засобів на березі.

1.1.2 При рішенні задач гуманітарного розмінування морських акваторій задача ускладняється під впливом наступних чинників:

– віддаленість від пунктів базування та берегової лінії;
– вплив навколишнього середовища (вітер, хитавиця, течії);
– необхідність точного визначення координат району пошуку/виконання робот;
– необхідність неси на борту достатню кількість технічних засобів для ефективного вирішення поставлених завдань;
– забезпечення безпечної роботи екіпажу.
– забезпечення комфортних умов проживання екіпажу.

Необхідність забезпечення гуманітарного розмінування морських акваторій вимагає створення відповідних технічних засобів, здатних забезпечити рішення зазначеного питання. Для цього доцільно звернутись до світової практики, а саме застосувати підхід який використовують військово -морські сили

(ВМС) провідних держав світу – створення спеціалізованих кораблів протимінної оборони (КПМО), адаптувавши такий підхід до завдань мирного часу.

Сучасним підходом у створенні КПМО [3]. є широке використання засобів підводної робототехніки разом з засобами пошуку, що встановлені безпосередньо на борту корабля. Такий підхід дозволяє уникнути необхідності знаходження КПМО у небезпечній зоні та ефективно виконувати задачі розмінування. При цьому відсутність необхідності заходження в зону пошуку і нейтралізації мін та міноподібних об'єктів дозволяє вирішити відразу декілька задач:

– значне підвищення безпеки висококваліфікованого екіпажу;
– зниження вимог до конструкції до КПМО як морського об'єкта;
– загальне зниження вартості створення КПМО;
– підвищення ефективності операцій та гнучкості у адаптації або модернізації технічних засобів розмінування.

Зниження технічних вимог до КПМО дозволяє спрощувати їх конструкцію як морських платформ, і не застосовувати в конструкції КПМО технічних рішень направлених на зниження рівнів шумності, магнітного поля, акустичного поля що знано здешевлюють виготовлення корабля.

Такий підхід доцільно використати для створення спеціалізованого судна гуманітарного розмінування (СГР), яке має бути оснащене необхідним набором засобів морської робототехніки (ЗМР), власними сенсорами для можливості виконувати весь комплекс пошуку, розпізнавання, класифікації та нейтралізації вибухонебезпечних предметів (ВНП) з дотриманням принципів гуманітарного розмінування. Важною складовою такого судна буде автоматизована система управління безпілотними засобами розмінування, яка повинна бути створена таким чином щоб забезпечити вирішення наступних завдань:

– управління ЗМР, як розподіленою системою пошуку. Класифікації та нейтралізації ВНП;
– одночасну обробку та обожнення інформації яка надходить з сенсорів ЗМР, власних пошукових систем судна та зовнішніх джерел інформації;
– управління просторовим положенням СГР для забезпечення застосування (спуску на воду. Управління та підйом на борт) об'єктів ЗМР;
– документування результатів місії;
– підготовка рекомендацій для екіпажу щодо виконання місії виходячи з поточної ситуації в поточному районі морської акваторії.

Висновки. Створення СГР як морського об'єкта дозволить не тільки вирішити нагальну проблему відновлення повноцінного використання морських ресурсів на користь держави, але і створить універсальну морську платформу для вирішення низки суміжних питань, таких як екологічний моніторинг, нагляд за підводною історичною спадщиною, виконання наукових досліджень моря.

Література

[1] «Оцінка зовнішньоекономічної діяльності морського транспорту у контексті розвитку міжнародних економічних відносин України» Мірошниченко Валерій Романович https://www.researchgate.net/publication/394413773_Ocinka_zovnisnoekonomicnoi_dialnosti_morskogo_transportu_u_konteksti_rozvitku_miznarodnih_ekonomicnih_vidnosin_Ukraini.

[2] Закон України про протимінну діяльність.

[3] https://www.naval-group.com/en/presse/first-sea-trials-vlissingen-first-mine-countermeasure-vessel-dutch-navy.

PROBLEMATIC ISSUES OF THE HUMANITARIAN DEMINING OF MARINE AREAS

Bussov Dmytro
"Research &design Shipbuilding Centre" Limited liability company

Annotation. This study addresses the pressing issue of contamination in inland and marine waters due to explosive objects. It analyzes the differing approaches to neutralizing these hazardous items in inland waters compared to the open sea. The paper outlines key concepts for tackling this problem, emphasizing the need to create an integrated management system for specialized marine assets.

Keywords: marine robotics systems, mine countermeasures vessels, humanitarian demining vessels, explosive hazards, management and control system.

УДК 629.5

СУЧАСНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОРАБЛЕБУДІВНОЇ ОСВІТИ

Нєкрасов В.О.,
доктор технічних наук, професор
завідувач кафедри теорії та проєктування суден
valery.nekrasov@nuos.edu.ua
Ястреба О.П.,
кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри теорії та проєктування суден
oleksii.yastreba@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто впровадження в навчальний процес університету методології стохастичного оптимізаційного проєктування суден, яка реалізує вибір суден за ймовірнісними критеріями ефективності та надійності, сприяє виконанню вимог Міжнародної морської організації та концепції Shipbuilding 4.0 щодо охорони людського життя, збереження навколишнього середовища та підвищення продуктивності морської галузі на основі всебічної цифровізації операцій створення та експлуатації суден. Для реалізації методології на рівнях бакалаврату, магістратури, аспірантури і докторантури створено систему удосконалення навчального процесу на основі викладання низки взаємо пов'язаних дисциплін, що послідовно використовують сучасні напрями технічного прогресу, які необхідні для підвищення якості функціонування організацій і відомств замовників суднобудівної продукції та для відродження суднобудівної галузі України.

Ключові слова: судно, стохастичне концептуальне проєктування, показники ефективності та надійності, оптимізація проєктних рішень, система удосконалення навчального процесу.

Вступ. Україна, як морська держава, має транспортний, промислово-добувний, службово-допоміжний, технічний та військово-морський флоти. Знаходяться ці флоти у підпорядкуванні різних міністерств, відомств, корпорацій, організацій та підприємств. Основним кінцевим завданням функціонування цих структурних одиниць держави є ефективна експлуатація флотів, яка пов'язана з рішенням проблем оновлення та поповнення составу, будування, обслуговування та ремонту його складових – кораблів та суден. Основними способами розв'язання означених проблем є замовлення. Замовлення на проєктування, будування, обслуговування та ремонт кораблів і суден на своїх суднобудівних заводах, на верфях та підприємствах інших країн, на придбання на ринках готової суднобудівної продукції.

Існуюча практика формування таких замовлень для задоволення насущних проблем флотів, яка потребує ретельного кваліфікованого підходу показує, що іноді вони здійснюються на так зване «опукле морське око», адже мали місце випадки визначення головних розмірів та характеристик суден, що замовляються, голосуванням.

Мета. Очевидно, що якість замовлень та проєктних рішень для придбання і будування кораблів та суден, що реалізується в процесах поповнення та оновлення флотів, суттєво залежить не тільки від умов, в яких формуються ці замовлення і рішення, та критеріїв вибору і прийняття рішень, якими при цьому користуються, але і від кваліфікації фахівців, які виконують цю роботу, Тому однієї з основних проблем підвищення ефективності флотів на державному рівні є розробка та використання для усієї безлічі суден, що експлуатуються в їх составах, універсальної методології критеріального відбору суден для ефективного використання за призначенням, яка повинна задовольняти сучасним тенденціям технічного прогресу і перш за все викладатися у вищих навчальних закладах кораблебудування.

Перша з цих тенденцій потребує попереднього проєктного визначення функціональної ефективності суден за допомогою моделювання реальних процесів їх експлуатації за призначенням та оцінювання результатів експлуатації на основі використання сучасних критеріїв її ефективності та надійності.

Друга зобов'язує задоволення вимогам Міжнародної морської організації щодо охорони життя людини на морі та збереження навколишнього середовища, рівень реалізації яких зараз повинен обов'язково визначатися та удосконалюватися за допомогою методів теорії ймовірностей (теорії ризику) на всіх етапах замовлення, проєктування, будування та експлуатації суден.

Третя тенденція, що ініціюється відомою концепцією Shipbuilding 4.0, спрямована на підвищення продуктивності морської галузі шляхом всебічного використання цифровізації та автоматизації операцій по створенню та експлуатації кораблів і суден.

Методологія критеріального відбору суден для ефективного і надійного їх використання за призначенням Така методологія розроблена кафедрою теорії та проєктування суден (ТПС) Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) на основі використання теорії дослідження операцій, яка у повному обсязі використовує методі теорії ймовірностей для визначення операцій з проєктування, конструювання, побудови і експлуатації суден, та високоефективні чисельні методі оптимізаційного пошуку їх проєктних рішень. Основні положення цієї методології наведено у монографії В.О. Некрасова [1 (2019)] "Conceptual Designing of Ships". Ця методологія покладена кафедрою ТПС в основу формування, реалізації та удосконалення кораблебудівної освіти фахівців, що замовляються наведеними вище організаціями та підприємствами.

Впровадження методології в навчальний процес. Традиційно потрібний рівень надання вищої кораблебудівної освіти в Національному університеті кораблебудування продовжує формуватися при викладанні дисциплін проєктування суден, при якому процес проєктування і конструювання кораблів та суден розглядається як реалізація етапів концептуального, технічного та робочого проєктування. При цьому етап концептуального проєктування забезпечує задоволення проєктів кораблів і суден вимогам ефективного використання за призначенням. На етапі технічного проєктування додатково ретельно вирішуються всі питання надійної експлуатації проєктованих плавучих споруд, які забезпечують досягнення необхідного рівня охорони життя людини на морі та збереження навколишнього середовища. Етап робочого проєктування присвячується створенню повного пакету документації для побудови судна.

Процес викладання дисциплін проєктування суден, що виконується, пов'язується з реалізацією тенденцій технічного прогресу при їх створенні та експлуатації. В цих тенденціях особлива увага уділяється трем згаданим генеральним напрямам.

Перший напрям присвячується визначенню необхідних морехідних якостей суден та оптимізаційних критеріїв вибору їх проєктних рішень на основі моделювання процесів експлуатації цих плавучих споруд за призначенням. Використання другого напряму обумовлюється стурбованістю Міжнародної морської організації (ІМО) тим, що рівень охорони життя людини в морській галузі відносно малий, її ризик ~ $1*10^{-3}$ дорівнює в середньому 10 смертельних випадків на 100 000 працівників у рік, він значно вище ніж у авіації, де ризик ~ $5*10^{-4}$ складає 5 смертельних випадків на 100 000 працівників у рік, та в залізниці, у який ризик ~ $1*10^{-5}$ дорівнює 1-му випадку на 100 000 працівників у рік. Тому, для того щоб підвищити рівень безпеки морський галузі ІМО створила спеціальну Методологію оцінки безпеки на морі (FSA) [2 (2002)], яку зобов'язала використовувати на всіх етапах створення та експлуатації суден, включаючи етапи супроводження їх життєвого періоду промисловістю, що відповідають замовленню, проєктуванню, побудові, сервісному обслуговуванню, ремонту та утилізації суден.

Всебічне виконання положень третього напряму обумовлюється проведенням в дію принципів концепції Shipbuilding 4.0 щодо повної цифровізації та автоматизації операцій створення та експлуатації суден.

Для реалізації постулатів Формалізованої оцінки безпеки на морі кафедрою ТПС підготовлено ряд методів і методик визначення показників ризику створення та експлуатації суден, які отримано задовго до її появи на основі розробленого спеціального варіанту теорії забезпечення надійності мореплавства суден [3,4 (1985); 5 (1990); 6 (1992); 7 (1993); 8 (1994); 9 (1997); 10 (2001)]. Розробка цієї теорії дозволила реалізувати нову методологію формулювання та розв'язання оптимізаційних задач вибору головних елементів суден, що замовляються та проєктуються. Основою цієї методології з'явилося використання методів теорії випадкових безперервних багатомірних марковських процесів для моделювання функціональних операцій створення та експлуатації суден, визначення характеристик операцій за допомогою розв'язання стохастичних диференційних рівнянь та оцінки якості функціонування суден у цілому за ймовірнісними критеріями ефективності та надійності [11 (2003); 12 (2006); 13 (2010); 14 (2011); 15 (2016)]. Особливості формування, розвитку та реалізації нової методології визначення головних елементів суден досить повно відстежуються на послідовності основного ряду держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри ТПС, виконаних під науковим керівництвом В.О. Нєкрасова, [16 (2009); 17 (2011); 18 (2014); 19 (2016); 20 (2019); 21 (2023)].

Розроблені за цією методологією методики та окремі рекомендації впроваджені в Національної академії наук України, Головному управлінні кораблебудування військово-морського флоту України, Дослідно-проєктному центрі кораблебудування, Науково-дослідному проєктно-конструкторському інституті морського флоту України, морських портах Авліта та Південний, Морському інженерному бюро, конструкторському бюро корпорації TransShip, тощо.

Можливості нової методології також розглянути та запропоновані організаціям та підприємствам України на круглих столах «Проблеми поповнення науково-дослідного флоту України» та «Роль взаємодії суднобудівної освіти, науки і морегосподарського бізнесу у повоєнному відновленні Миколаївщини для становлення України як морської держави», які проведено сумісно з Науковим гідрофізичним центром

НАН та Морським кластером України під час міжнародних конференцій НУК «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» ICO'2019 і ICO'2023 [22-25], модератор круглих столів В.О. Нєкрасов.

Впровадження навої методології проєктування суден у навчальний процес кафедра ТПС реалізовувала як базова випускаюча кафедра НУК, що веде підготовку фахівців кораблебудівного інституту на рівнях бакалаврату, магістратури, аспірантури і докторантури. Для реалізації цієї методології кафедрою створено систему удосконалення навчального процесу на основі викладання низки взаємо пов'язаних дисциплін, що послідовно використовують вказані сучасні напрями технічного прогресу, які потрібні для підвищення якості функціонування організацій і відомств замовників суднобудівної продукції та для відродження суднобудівної галузі України. Схематично ця система представлена в Таблиці.

Таблиця – Схема структурування навчального процесу підготовки фахівців кораблебудування для організацій, підприємств та установ суднобудування і замовників суднобудівної продукції, що задовольняє сучасним напрямам технічного прогресу

№	Етапи замовлення та проєктування суден	Результати виконання етапів	Система підготовки фахівців кораблебудування		
			Рівні освіти	Основні дисципліни навчального процесу	Основні програмні продукти проєктування
1	2	3	4	5	6
1	Замовлення на придбання або побудову суден, складання технічного завдання на придбання або проєктування	Концептуальний проєкт судна із задоволенням вимогам створення та експлуатації за критеріями ефективності	Доктор філософії	Сучасні проблеми теорії корабля та проєктування суден	За вибором із наведених нижче або самостійно складених
			Магістр	Методи оптимізаційного проєктування суден, Моделі функціонування суден, Дисципліни спеціальної підготовки за темою досліджень, Проєктування спеціалізованих суден та морських плавучих споруд	Комплекси програм оптимізаційного відбору для різних типів суден, що розроблені кафедрою
2	Концептуальне проєктування	Концептуальний проєкт судна із додатковим задоволенням критеріям надійності, включаючи вимоги методології FSA	Доктор філософії	Сучасні проблеми теорії корабля та проєктування суден	За вибором із наведених нижче або самостійно складених
			Магістр	Методи оптимізаційного проєктування суден, Моделі функціонування суден, Дисципліни спеціальної підготовки за темою досліджень Спеціальні питання проєктування суден	Комплекси програм оптимізаційного відбору для різних типів суден, що розроблені кафедрою
3	Технічне проєктування	Попередній проєкт судна із задоволенням вимог IMO, включаючи вимоги методології FSA	Магістр	Комп'ютерно-орієнтоване проєктування суден	Maxsurf, Rhino Marine, AutoCAD, Aveva (Initial Design), CFD, CALS/PLM
			Бакалавр	Основи проєктування суден	Maxsurf, Rhino Marine, AutoCAD
4	Робоче проєктування	Контрактний проєкт с задоволенням нормативів IMO та ICO	Бакалавр	Основи проєктування суден, Комп'ютерно-орієнтоване конструювання суден	AutoCAD, Rhino, SolidWorks. Aveva, Nupas Cadmatic

Висновки. Створена система удосконалення кораблебудівної освіти у повному обсязі використовується в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова з 2015 року.

Апробацію системи, повну або часткову, здійснено в Університеті науки і технологій Цзянсу (Китай) та Гданському політехнічному університеті (Польща). Здійснене удосконалення навчального процесу підготовки фахівців з кораблебудування на основі впровадження розробленої методології стохастичного оптимізаційного проєктування суден забезпечує випереджаюче сучасність підвищення їх кваліфікації та більш розширений спектр працевлаштування – від звичайних конструкторських бюро суднобудівних підприємств і науково-дослідних установ суднобудування до організацій і відомств замовників суднобудівної продукції, де вирішуються основні питання прогресу морської галузі. Помітний вплив це удосконалення надає і розвитку кораблебудівної науки. За тематикою нової методології концептуального проєктування суден у спеціалізованій вченій раді НУК захистили дисертації 7 громадян України, 1 громадянин Китаю та 7 громадян В'єтнаму.

Література

[1] Nekrasov V. (2019). Conceptual Designing of Ships: monograph. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus.– 11 c.

[2] MSC-MEPC.2-Circ. 12-Rev. 2 (2002) Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in The IMO Rule-Making Process… (Secretariat). URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/1023-MEPC392.pdf

[3] Нєкрасов В.О. (1985). Морехідність та технічна стійкість судна. *Гідродинаміка корабля.* Зб. наук. праць МКІ. Миколаїв : МКІ. С. 61–72.

[4] Нєкрасов В.О. (1985). Критерії морехідності та показники надійності використання судна та його технічних засобів у заданому районі плавання. *Гідродинаміка корабля.* Зб. наук. праць МКІ. Миколаїв : МКІ, 1985. С. 72–81.

[5] Nekrasov V.A. (1990). Stability of ship's rolling in waves. *Proc. of STAB'90*. Naples: Department of Naval Engineering, University of Naples "Federico II", Vol. 1. 1990. P. 74–82.

[6] Нєкрасов В.О., Приходько С.Б. (1992). Формулювання концепції забезпечення безпеки плавання суден за умов шторму. *Гідродинаміка корабля*. Зб. наук. праць МКІ. Миколаїв : МКІ, 1992. С. 11–22.

[7] Alexandrov M., Nekrasov V. (1993) Methods for Estimation of Ship Stability in Rough Sea. Proc. of International Workshop OTRADNOE'93. K.: Technical University of Fisheries. 1993. P. 9–1, 9–10.

[8] Nekrasov V. (1994). Stochastic stability theory of ship motion. *Proc. of STAB'94*. Melbourne : Florida University of Technology. Vol. 5. 1994. P. 19–27.

[9] Nekrasov V. Capsizing of ship in low cycle resonance. *Proc. of STAB'97*. Varna : Bulgarian Ship Hydrodynamics Centre. Vol. 1, 1997. P. 65–75.

[10] Нєкрасов В.О. (2001). *Безпека та надійність суден.* Зб. наук. праць УДМТУ. Миколаїв : УДМТУ, 2001. № 5 (377). С. 3–8.

[11] Нєкрасов В.О., Богова Ю.Б. (2003). Комплексна критеріальна оцінка ефективності та безпеки суден. Зб. наук. праць УДМТУ. Миколаїв : УДМТУ, 2003. № 6. С. 10–21.

[12] Нєкрасов В.О., Микоша Н.М. (2006) *Задача проєктування судна для умов ринкової експлуатації.* Зб. наук. праць НУК. Миколаїв : НУК, 2006. № 1. С. 3–12.

[13] Нєкрасов В.О. (2010) Стохастична теорія проєктування суден. *Перша міжнародна НТК присвячена 90-річчю НУК – ІСО 2010*. Миколаїв : НУК, 2010. С. 10–13.

[14] Створення універсальних транспортних суден та засобів океанотехніки : монографія. (2011) / за ред. С.С. Рижкова, Миколаїв : НУК, 2011. 34 с.

[15] Нєкрасов, В.О., Бондаренко О.В. (2016) Концепція комплексного оцінювання ефективності та надійності кораблів берегової охорони. Перспективні тренди розвитку науки: техніка та технології. В 2 книгах. К. 1: монографія. Одесса : КУПРИЕНКО С. В., 2016. С. 99–122.

[16] Розробка методики проєктування суден для умов ринкової експлуатації (2007–2009). Звіт про НДР (заключний) НУК. Миколаїв, 2009. 6 с. № 0109U005288.

[17] Розробка методики визначення параметричної надійності суден на початкових етапах його проєктування (2010–2012). Звіт про НДР (заключний) НУК. Миколаїв, 2012. 12 с. № 0111U002319.

[18] Удосконалення ефективності та надійності малих та швидкісних металевих суден (2013-2014) Звіт про комплексну НДР трьох університетів НУК, ОНМУ і СевНТУ, що виконана під керівництвом НУК (заключний) НУК. Миколаїв, 2014. 2 с. № 0113U000244.

[19] Розробка методу визначення головних розмірів та характеристик кораблів берегової охорони для захисту морських кордонів держави (2015–2016). Звіт про НДР (заключний) НУК. Миколаїв, 2016. 2 с. № 0115U000305.

[20] Розробка методології підвищення ефективності та безпеки річкової транспортної системи України (2017–2019). Звіт про НДР (заключний) НУК. Миколаїв, 2019. 6 с. № 0117U000347.

[21] Методологічні основи проєктування енергоефективних суден службово-допоміжного та технічного флоту (2022-2023). Звіт про НДР (заключний) НУК. Миколаїв, 2023. 12 с. № 0122U000815.

[22] Проблеми поповнення науково-дослідного флоту України (2019). Матеріали і резолюція круглого столу. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : X Міжнародна науково-технічна конференція. Миколаїв : НУК, 2019. 6 с.

[23] Роль взаємодії суднобудівної освіти, науки і морегосподарського бізнесу у повоєнному відновленні Миколаївщини для становлення України як морської держави (2023). Матеріали і резолюція круглого столу. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : XIV Міжнародна науково-технічна конференція. Миколаїв : НУК, 2023. 21 с.

[24] Нєкрасов В.О. (2023) Суднобудування України. Еволюція стану. Принципи відновлення і розвитку. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці*: XIV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. Миколаїв : НУК, 2023. С. 3–10.

[25] Лисицький І.В., Слободян С.О., Харитонов Ю.М. (2023) Формування стратегії розвитку суднобудування в Україні. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : XIV Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали. Миколаїв : НУК, 2023. С. 11–13.

MODERN DIRECTIONS OF IMPROVING SHIPBUILDING EDUCATION

Nekrasov V.O., Bondarenko O.V., Yastreba O.P.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The theses examine the integration of a stochastic optimization-based ship design methodology into the university educational process. This methodology enables ship selection based on probabilistic criteria for efficiency and reliability, while supporting compliance with International Maritime Organization requirements and the “Shipbuilding 4.0” concept regarding the protection of human life, environmental preservation, and increased maritime industry productivity through the comprehensive digitalization of ship creation and operation processes. To implement this methodology across undergraduate, master’s, and doctoral levels, a system for enhancing the educational process has been established; it relies on teaching a series of interconnected disciplines that systematically incorporate modern technological advancements essential for improving the operational quality of client organizations and agencies, as well as for revitalizing Ukraine’s shipbuilding industry.

Keywords: ship, stochastic conceptual design, efficiency and reliability indicators, optimization of design solutions, educational process improvement system.

UDC 629.5:621.352

FUEL CELLS AS A KEY ELEMENT OF A HYBRID SHIP POWER PLANT

Korobko V.,
Dr. Sc., Professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
volodymyr.korobko@nuos.edu.ua

Berning T.,
Associate Professor, AAU Energy, Aalborg University, Aalborg, Denmark
tbe@energy.aau.dk

Abstract. The specific features of hybrid ship power plants (HSPPs), in which proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)-based electrochemical generators (ECGs) serve as the main source of electrical power, are considered. In such a configuration, PEMFC ECGs become a system-defining element of the ship power plant, which necessitates the implementation of new technical and system-layout solutions at the design stage.

The architecture of such HSPPs requires reconsideration of the composition and functions of auxiliary systems, as well as the introduction of new approaches to the optimized management of energy sources and energy flows. Particular attention should be given to the integrated utilization of low-grade PEMFC waste heat in combination with the low-temperature potential of liquefied marine fuels, including LH_2, LNG, and LNH_3.

Keywords: hybrid ship power plant, PEMFC, electrochemical generator, auxiliary ship power plant systems, liquefied gaseous fuels, waste heat recovery.

Relevance of the study. The 2023 IMO Strategy sets a course towards achieving net-zero greenhouse gas emissions from international shipping by or around 2050 [1]. One of the promising pathways for the decarbonization of marine power engineering is the application of low-temperature PEMFC-based ECGs. Within a hybrid ship power plant, such electrochemical generators operate in combination with energy storage systems (ESS), electric propulsion, backup thermal engines, and systems for the recovery and utilization of secondary energy and material flows.

The transition to configurations in which PEMFC ECGs provide the major share of the vessel's power supply changes not only the composition of energy sources but also the overall architecture of the ship power plant. In such HSPPs, PEMFC ECGs become a system-defining element whose characteristics and operational features determine the requirements for the composition and functions of auxiliary systems, power redundancy and distribution principles, as well as energy-flow management algorithms.

The current level of PEMFC ECG development enables the implementation of megawatt-class hybrid ship power plants. Representative examples are the *Viking Libra* and *Viking Astrea* cruise ships being built by Fincantieri. Their power plants are designed to incorporate PEMFC ECGs with a capacity of up to 6 MW using liquefied hydrogen as fuel [2]. The development and adaptation of PEMFC systems to marine operating conditions are being carried out by Isotta Fraschini Motori within the framework of technological cooperation between Fincantieri and PowerCell Group [2].

Another large-scale example is represented by two Torghatten Nord hydrogen ferries, each of which will be equipped by PowerCell Group with a PEMFC system having a total capacity of 6.4 MW [3]. The Samskip SeaShuttle container vessels also belong to the new generation of ships incorporating megawatt-class PEMFC ECGs, with an installed capacity of 3.2 MW per vessel [4].

These projects indicate that PowerCell Group currently holds a leading position in the segment of megawatt-class marine PEMFC systems.

Objective of the study. To identify the principal changes required in the architecture and auxiliary systems of HSPPs in which PEMFC ECGs constitute the main source of electrical power; to determine approaches for increasing their service life and reliability under marine operating conditions; and to assess the prospects for the integrated utilization of low-grade PEMFC waste heat and the low-temperature potential of liquefied gaseous fuels.

Analysis of the current state of research and operational experience with PEMFC ECGs under marine conditions makes it possible to systematize the principal factors determining their energy efficiency, reliability, and service life, as well as to identify priority areas for further research and improvement of marine PEMFC systems.

Cathode air treatment system. Reliable operation of marine PEMFC ECGs requires effective purification of cathode air from sea salts, entrained water droplets, aerosols, and gaseous contaminants, since their ingress accelerates MEA degradation [5]. The air treatment system should therefore minimize salt contamination while maintaining acceptable aerodynamic pressure losses and auxiliary power consumption. Ensuring stable and long-term PEMFC operation under the influence of the marine environment remains an important scientific and engineering challenge [5].

PEMFC cell design. To ensure a long service life of marine PEMFCs, the use of thin metallic bipolar plates and metallic gas-diffusion structures is considered promising, as these solutions can enhance heat and mass transfer and promote a more uniform thermal load on the MEA. In the CFD study [6], the conventional carbon-based cathode GDL was replaced by a perforated metal sheet. For marine applications, such solutions should primarily be evaluated in terms of durability and performance stability and require careful control of corrosion, contact resistance, heat removal, water management, and the effects of corrosion products on the MEA.

Fuel conditioning systems. The use of liquefied gaseous fuels in PEMFC-based HSPPs requires their regasification followed by hydrogen conditioning to achieve the pressure, temperature, and purity levels required for fuel-cell operation. For LH_2, after vaporization it is sufficient to regulate hydrogen temperature and pressure and to control its purity, whereas LNG requires reforming followed by purification of the product gas, and LNH_3 requires catalytic ammonia cracking and removal of residual impurities. The stringent hydrogen-purity requirements of PEMFCs necessitate deep purification from CO, NH_3, sulfur-containing compounds, and other catalyst poisons. Regasification and fuel-conditioning processes should therefore be integrated into the overall thermal-flow management system of the HSPP.

WHRS. The recovery and utilization system for secondary energy flows largely determines the overall energy efficiency of a PEMFC-based HSPP. Combining low-grade fuel-cell waste heat with the low-temperature potential of liquefied fuels creates opportunities for additional mechanical work or electrical power generation. For marine LH_2–PEMFC installations, the feasibility of such integration has been demonstrated, in particular, for a combined ORC–DEC system [7]. Exploiting this potential requires specialized low-temperature energy-conversion technologies integrated with fuel-regasification processes. One promising solution for such operating conditions is the application of low-temperature thermoacoustic converters [8].

Hybrid ship power plants design concept. The combination of the technical solutions considered above forms a service-life-oriented paradigm for HSPP design based on the configuration **PEMFC + battery ESS + electric propulsion + EMS**, in which the energy storage system absorbs peak and rapidly varying loads, thereby enabling the PEMFCs to operate predominantly within a stable operating range. For marine applications, such an architecture should provide modularity, installed-power redundancy, and limitation of the maximum current density, i.e., a certain degree of stack derating, in order to extend service life and improve reliability. Thus, the principal optimization criteria for an HSPP should not be the maximum specific power of the PEMFC system, but rather the efficiency, service life, and reliability of the power plant as a whole.

Conclusions. The transition to PEMFC ECGs as the main source of electrical power results in a structural transformation of the ship power plant and requires the corresponding adaptation of its auxiliary systems. The principal areas of development include cathode-air purification and conditioning, improvement of metallic bipolar plates, GDLs, and water-management systems, hybridization with ESS, and implementation of service-life-oriented energy-management algorithms.

A separate research direction is the integrated utilization of PEMFC waste heat, product water, and the low-temperature potential of liquefied fuels. The combination of PEMFC waste heat with the cryogenic potential of LH_2 and LNG or the low-temperature potential of LNH_3 provides a basis for the development of specialized WHRS, in which low-temperature thermoacoustic systems may serve as promising energy converters.

References

[1] International Maritime Organization. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. Resolution MEPC.377 (80), adopted 7 July 2023 (International Maritime Organization).

[2] Fincantieri. Fincantieri and Viking announce the world's first hydrogen-powered cruise ship and sign contracts for two new units. 08.04.2025 (fincantieri.com).

[3] PowerCell Group. World's Largest Marine Fuel Cell Systems. Marine customer case. 2023 (Powercellgroup).

[4] Samskip. Samskip 2024 Sustainability Report. 2025. P. 57. У звіті наведено SeaShuttle та 3.2 MW hydrogen fuel cell для кожного судна (Samskip).

[5] Broer A., Polinder H., van Biert L. Polymer electrolyte membrane fuel cell degradation in ships: Review of degradation mechanisms and research gaps. *Journal of Power Sources*. 2025. Vol. 640. Article 236678. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2025.236678 (ScienceDirect).

[6] Berning T., Korobko V., Tanaka S. A Computational Fluid Dynamics Analysis of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell with a Perforated Metal Gas Diffusion Layer. *SSRN Electronic Journal*. 2026. 33 p. DOI: 10.2139/ssrn.7201556 (SSRN).

[7] Lee H., Ryu B., Duong P. A., Roh G., Lee S., Kang H. Thermodynamic analysis and assessment of novel ORC–DEC integrated PEMFC system for liquid hydrogen fueled ship application. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48, No. 8. P. 3135–3153. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.10.135 (ScienceDirect).

[8] Korobko V., Shevtsov A. Utilizing thermoacoustic technologies in marine hybrid power plants with fuel cells. *Aerospace Technic and Technology*. 2023. No. 4. P. 85–91. DOI: 10.32620/aktt.2023.4.11 (nti.khai.edu).

УДК 005.8:338.28

СУЧАСНІ ТРЕНДИ В ДІЯЛЬНОСТІ РЕГІСТРІВ СУДНОБУДУВАННЯ

Слободян С.О.,
кандидат технічних наук, професор, проректор Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна,
slo71nuos@gmail.com
Харитонов Ю.М.,
доктор технічних наук, професор, завідувач навчально-наукового центру морської інфраструктури Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна,
kharytonov888@gmail.com

Анотація. Показано, що сучасне суднобудування орієнтоване на запровадження процесів цифровізації. Основними складовими подальшого розвитку суднобудування слід вважати елементи технологічної платформи Shipbuilding 4.0. Розглянуті основні тренди розвитку Регістрів суднобудування в світі стосовно проблем цифровізації суднобудівної галузі.

Ключові слова: цифровізація, суднобудування, Регістри судноплавства, проєкти розвитку, Shipbuilding 4.0

Вступна частина. Цифрова трансформація є пріоритетом для багатьох підприємств. Показано, що при опитуванні 1600 керівників передових компаній бізнесу та IT у США і Європі близько 75 % заявили, що їх компанії виступили з ініціативою в галузі цифрової трансформації, 56 % компаній йдуть шляхом трансформації, проте рівень інвестицій та масштаб перетворень все ще залишається на невисокому рівні.

Цифрова трансформація є значним драйвером економічного зростання. за даними PWC, її внесок у зростання світового ВВП оцінюється на рівні 8–9 %, а до 2030 року 30 % зростання ВВП буде забезпечено за рахунок впровадження цифрових технологій.

На теперішній час основним трендом у суднобудуванні слід вважати впровадження в діяльність підприємств суднобудівної галузі елементів технологічної платформи Shipbuilding 4.0 [1; 2]. Перехід на цифрові технології в галузі забезпечать: створення інноваційних продуктів, прискорення термінів створення продукції, адаптованість підприємств до змін та вимог ринку суднобудівної продукції, підвищення якості продукції, підвищення рівня ефективності управління, суттєве зниження впливу виробництв на оточуюче середовище та таке інше.

Суттєву роль у становленні технологічної платформи Shipbuilding 4.0 відіграють Регістри судноплавства.

Метою роботи є визначення напрямків адаптації основних Регістрів судноплавства світу щодо цифрової трансформації суднобудівної галузі.

Основна частина. Виконані дослідження довели, що Регістри судноплавства в світі впливають на різні напрямки розвитку суспільства (рис. 1).



Рисунок 1 – Вплив діяльності Регістрів судноплавства на різні напрямки розвитку суспільства.

Розглянуті основні напрямки адаптації основних (рис.2) Регістрів судноплавства до проблем цифровізації [3; 4 та ін.].

IACS International Association of Classification Societies (МАКО)

США	ABS	American Bureau of Shipping
Франція	BV	Bureau Veritas
КНР	CCS	China Classification Society
Хорватія	CRS	Croatian Register of Shipping
Норвегія Німеччина	DNV GL	Det Norske Veritas and Germanisher Lloyd
Індія	IRS	Indian Register of Shipping
Республика Корея	KR	Korean Register of Shipping
Великобританія	LR	Lloyd's Register
Японія	NK	Nippon Kaiji Kyokay
Польща	PRS	Polish Register of Shipping
Італія	RINA	Registro Italiano Navale

Рисунок 2 – Основні Регістри судноплавства, діяльність яких визначена в рамках цифровізації суднобудівної галузі

Так, для BV основними напрямками адаптації слід вважати :створення та впровадження нових цифрових платформ; розвиток та впровадження технологій «віддалених» інспекцій; розвиток та впровадження технологій цифрового двійника; розвиток та впровадження технологій штучного Інтелекту; розвиток та впровадження технологій визначення характеристик процесів у режимі “on-line”; розвиток та впровадження технологій кибербезпеки.

Для ABS: піонерські інспекції на основі штучного Інтелекту для покращеного моніторингу; удосконалення технологій і методів дистанційної перевірки; застосуванням моделей штучного інтелекту для виявлення та оцінки рівнів корозії та руйнування покриття на кораблях і морських спорудах.

Для CCS це : розробка програмного забезпечення; технічні консультації з питань цифрового управління експлуатацією; розробка платформи інтелектуального управління; послуги з аналізу даних; розробка та застосування візуальної моделі; цифрове моделювання; цифрове моделювання зв’язків судно – навігація; створення зразкової бази типових вузлів і дефектів конструкції корпусу; вдосконалення технологій застосування дронів та підводних дослідних систем.

Наводяться основні напрямки адаптації інших кваліфікаційних організацій.

Результати аналізу основних напрямків адаптації Регістрів судноплавства вказують на їх дієву роботу в напрямках цифровізації суднобудівної галузі.

Література

[1] Hribernik K., 2016. Industry 4.0 in the Maritime Sector, SEA, Tokio, Japan.

[2] Torres A. Identifying Challenges and success factors towards Implementing Industry 4.0 technologies in the Shipbuilding Industry. Delft University of Technology. 2018. 156 p.

[3] ABS URL: https://ww2.eagle.org/en.html

[4] Polish Register of Shipping URL: https://hmong.ru/wiki/Polish_Register_ of_Shipping

CURRENT TRENDS IN THE OPERATIONS OF SHIPBUILDING REGISTRIES

Serhii Slobodian, Kharytonov Yuriy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This article demonstrates that modern shipbuilding is focused on the implementation of digitalization processes. The elements of the “Shipbuilding 4.0” technological platform should be viewed as key components of the further development of shipbuilding. The article examines the main trends in the development of shipping registries worldwide in light of the challenges posed by digitalization in the shipbuilding industry.

Keywords: digitalization, shipbuilding, development projects, “Shipbuilding 4.0,” shipping registries.

СЕКЦІЯ 1. ПРОЄКТУВАННЯ, КОНСТРУЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ СУДНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ОКЕАНОТЕХНІКИ

УДК 629.5.01

ПАРАМЕТРИЧНЕ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄМІВ ТА РОЗПОДІЛ МАС У МОДУЛЬНИХ СУДНАХ ОБМЕЖЕНОГО РАЙОНУ ПЛАВАННЯ

Єгоров О.Г.,
к.т.н., генеральний директор
Морське Інженерне Бюро, Україна, Одеса, egorovag@meb.com.ua
Урум Б.В.,
керівник відділу досліджень та розробок
Морське Інженерне Бюро, Україна, Одеса, urum@meb.com.ua

Анотація. Розглянуто задачу вибору блочно-модульної сітки корпусу вантажного судна змішаного «ріка-море» плавання на концептуальній стадії. Кількість блоків виведено з кранових обмежень верфі, а не задано апріорно. Запропоновано три безрозмірні показники порівняння варіантів: коефіцієнт просторового використання, показник вагової асиметрії та показник відхилення мас послідовності складання. Методику апробовано на серійному танкері RST12C (18 блоків, пікова маса блока близько 185 т при крані 300 т) та підтверджено скінченно-елементним аналізом за правилами Bureau Veritas.

Ключові слова: модульне судно; блочне складання; кранове обмеження; розподіл мас; параметричне проєктування; річка-море.

Вступ. Блочно-модульний метод формування корпусу є основним для серійних суден змішаного плавання [2]. Судно збирається з великих просторових блоків повного насичення, що скорочує терміни будівництва. Ключове рішення концептуальної стадії – вибір модульної сітки: кількості блоків, їх довжин та меж за функціональними зонами. Це рішення визначає розподіл мас, послідовність стапельного складання та потребу у баластній компенсації. У практиці верфей воно приймається на основі досвіду, без формалізованої кількісної оцінки, що ускладнює порівняння варіантів.

Мета роботи. Розробити формалізовану методику вибору блочно-модульної сітки корпусу вантажного судна змішаного плавання на концептуальній стадії, у якій кількість блоків виводиться з технологічних обмежень верфі, а варіанти компонування порівнюються за кількісними показниками.

Основна частина. У роботі кількість блоків N_b виводиться явно з підйомного контуру верфі. Для будівника серії RST12C (Baku Shipyard) основним засобом підйому є козловий кран Konecranes Goliath вантажопідйомністю 300 т при одиночному підйомі. Гранична довжина блока приймається як мінімум із трьох обмежень: вантажопідйомності крана, габариту переміщення блока та регламентного обмеження на непідкріплений прогін. Такий підхід робить кількість блоків результатом розрахунку, а не суб'єктивного вибору конструктора.

Для порівняння варіантів модульної сітки запропоновано три безрозмірні показники, що характеризують три ключові аспекти компонування – використання простору, рівномірність мас та технологічність складання. Коефіцієнт просторового використання η_s визначається як відношення корисного вантажного об'єму до габаритного модульного об'єму, $\eta_s = \frac{V_{use}}{V_{module}}$; для вантажної зони RST12C (корисний об'єм 921 м³ проти контуру ≈1380 м³) $\eta_s \approx 0{,}67$. Показник вагової асиметрії χ відображає нерівномірність розподілу споряджених мас між блоками відносно середньоблочної; для побудованого компонування $\chi \approx 0{,}3$ при середній масі блока близько 141 т. Показник відхилення мас δ_e контролює відхилення накопиченої маси за черговістю встановлення блоків від рівномірного лінійного перебігу, що визначає потребу у тимчасовій баластній компенсації на стапелі [3].

Методику апробовано на танкері змішаного плавання типу RST12C (довжина найбільша 14 м, ширина 16, м, дедвейт 7875 т), що будується серією для ASCO [1]; головне судно серії наведено на рис. 1. Побудований корпус розбито на 18 блоків за трьома функціональними зонами – носовою, вантажною та машинно-кормовою. Пікова споряджена маса блока становить близько 185 т, що відповідає обмеженню крана 300 т із суттєвим запасом.



Рисунок 1 – Головне судно серії RST12C, танкер M/T Laçın (IMO 9821469), збудований на Baku Shipyard і переданий ASCO у грудні 2019 року
Джерело: архів Морського Інженерного Бюро

Прохід чутливості за кількістю блоків показав, що побудований вибір $N_b = 18$ лежить поблизу практичного оптимуму: варіант з меншою кількістю блоків виходить на межу кранового обмеження, а з більшою – невиправдано збільшує обсяг стапельних стиків без виграшу за η_s та χ. Розподіл оціночних мас блоків наведено на рис. 2.

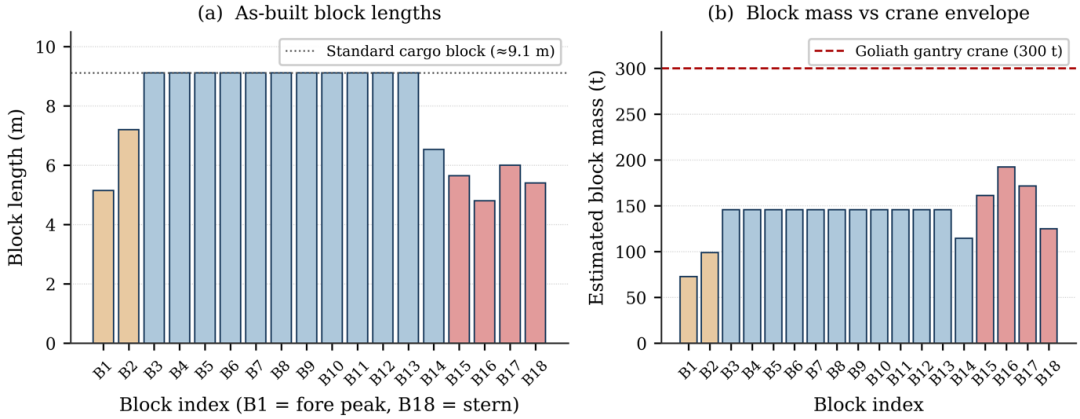


Рисунок 2 – Оціночні маси блоків із насиченням; обмеження крана Goliath 300 m показано штриховою лінією

Цілісність критичного міжблочного з'єднання перевірено глобальним скінченно-елементним аналізом за правилами Bureau Veritas: пікове використання допустимих напружень $u \approx 0{,}85$, тобто на допустимій межі класу. Це підтверджує, що запропоновані критерії не суперечать вимогам міцності конструкції.

Висновки. Кількість блоків модульної сітки доцільно виводити з підйомного контуру верфі, а не задавати апріорно; для RST12C такий підхід відтворює побудоване рішення $N_b = 18$, що підтверджує адекватність запропонованої моделі. Три безрозмірні показники (η_s, χ, δ_e) дозволяють кількісно порівнювати варіанти компонування на концептуальній стадії; для побудованого варіанта $\eta_s \approx 0{,}67$, $\chi \approx 0{,}3$ при піковій масі блока близько 185 т проти кранового обмеження 300 т. Скінченно-елементна перевірка ($u \approx 0{,}85$) підтверджує узгодженість показників з вимогами класифікаційного товариства. Запропонована методика може використовуватися як інструмент підтримки прийняття рішень на ранніх стадіях проєктування суден нового покоління.

Література

[1] Єгоров Г. В., Тонюк В. І. Нафтоналивні судна типу RST12C для Каспійського морського пароплавства. *Shipbuilding and Marine Infrastructure.* 2020. № 2 (14). С. 5–18.

[2] Andric J., Perez-Arribas F., Kana A. A. Modular ship design: block erection sequence optimisation with gravity centre constraints. *Ship Technology Research*. 2018. Vol. 65, № 3. P. 162–175.

[3] Chirillo L., Scotti A. Optimisation of block assembly erection sequences for large vessels. *International Shipbuilding Progress*. 1985. Vol. 32, № 365. P. 23–39.

PARAMETRIC SPACE ALLOCATION AND WEIGHT DISTRIBUTION IN RESTRICTED NAVIGATION MODULAR VESSELS

Iegorov Oleksandr G., Urum Bohdan V.
Marine Engineering Bureau, Odesa, Ukraine

Abstract. The modular grid is treated as a concept-stage variable linking space allocation, weight distribution and structural response. The block count is derived from the shipyard lifting envelope rather than assumed, and three dimensionless indices are proposed for comparing candidate grids. The framework is validated on the RST12C tanker built at Baku Shipyard, successfully recovering the as-built 18-block configuration from lifting constraints.

Keywords: modular vessel; block assembly; crane constraint; weight distribution; parametric ship design.

УДК 629.5.01

CREATION OF PHILOSOPHY OF SUBSEA CONSTRUCTION VESSELS FOR THE CASPIAN REGION

Egorov O.G.,
PhD, senior lecturer, director general[1], Marine Engineering Bureau, Ukraine, Odesa
[1] egorovag@meb.com.ua
Abdullayev O.M.,
director general[2], Caspian Marine Engineering Bureau, Azerbaijan, Baku
[2] Oyrad.Abdullayev@asco.az

Abstract. Specifications, model of optimization and requirements imposed to the subsea construction vessel for the Caspian Sea are developed. The model zoning of compartments of the vessel for determination of necessary volumes of compartments at initial design stages is offered. The model of economic assessment of efficiency of the new vessel is developed. The basic model of the subsea construction vessel taking into account intended installation of mobile technology equipment is offered.

Keywords: design; oil and gas sector; concept; view; functionality.

Based on an analysis of a database of vessels with close functions [1], a composition of areas of modern subsea construction vessel (SCV) for the Caspian sea (see Fig. 1) is proposed for developing SCV model and determining required volumes of ship spaces and compartments on early stages of design.

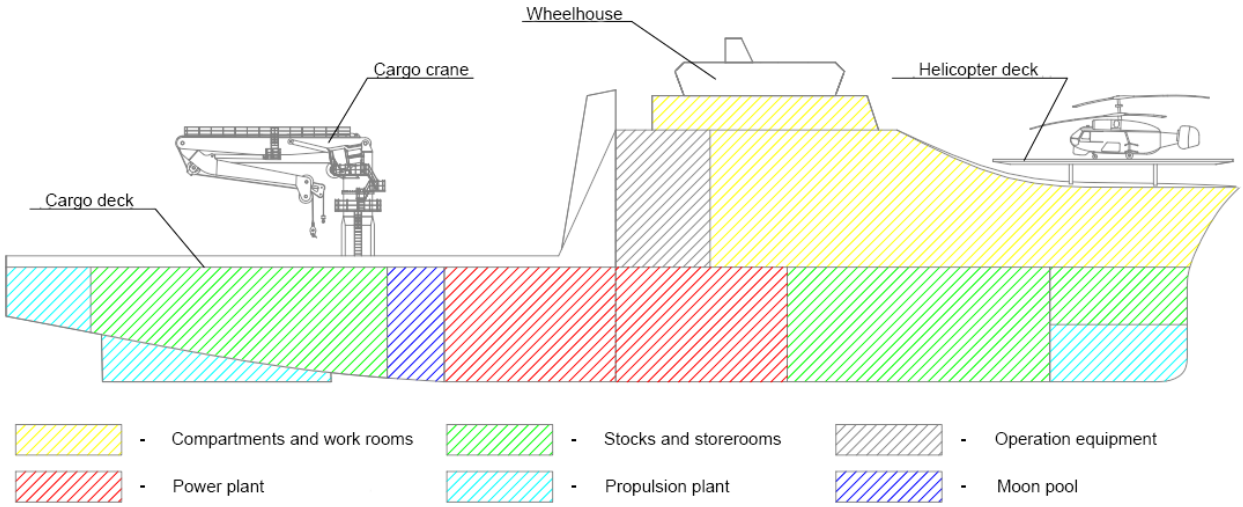


Figure 1 – Composition of areas of modern SCV for the Caspian Sea

The zoning diagram of the premises (see Fig. 1) reflects the necessary elements of the diving support vessels to carry out technological tasks, ensure the functioning of the crew, and accommodate special personnel on board.

The structural diagram of the layout of diving vessels (see Fig. 2) represents a schematic model of the designed vessel.

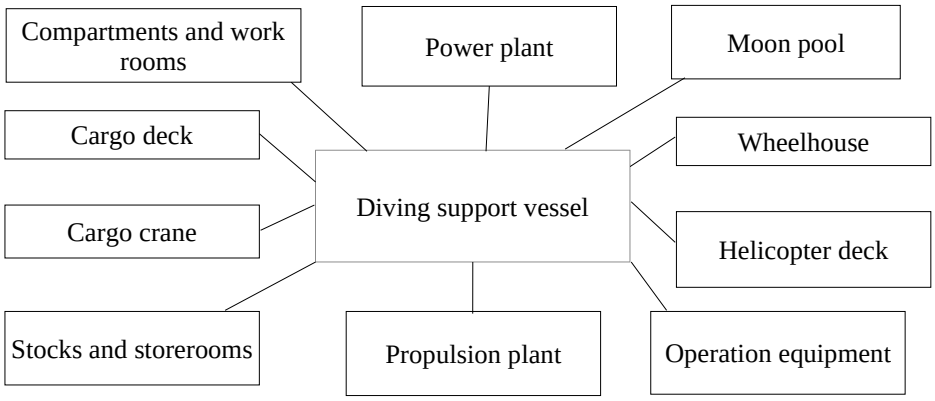


Figure. 2 – Flow diagram for the formation of a layout of diving support vessels

The structural diagram includes the elements listed below:

Compartments and work rooms – for the full-fledged living and working conditions of the ship's crew, special personnel, and temporarily onboard staff, provided that all necessary norms and rules are observed.

Power plant – for the stable and safe supply of the vessel with mechanical, thermal, and electrical energy.

Moon pool – when using mobile technological equipment on board the vessel.

Cargo deck – for the placement of technological equipment and for use in cargo transportation at offshore oil fields.

Cargo crane – on vessels providing underwater technical support, with the ability to submerge the hook to the required depth.

Stock and storerooms – for storing food supplies, additional equipment, and spare parts that ensure the required level of cruise capacity.

Propulsion plant – to ensure the vessel has the necessary speed, maneuverability, and positioning when performing maritime operations.

Operation equipment – for accommodating lowering and raising devices for ROVs/AUVs, hangars for storing apparatus, and a cargo deck for installing mobile technological equipment.

Helicopter deck – provided for helicopter operations.

Wheelhouse – As with other types of vessels, it is provided to ensure safe ship handling.

Using the developed nomograms determining the main particulars [2–6], a 3D model of a future SCV for the Caspian Sea area has been designed (general view see Fig. 3). Table 1 presents the main particulars of this concept.



Figure 3 – General view of SDS09C offshore vessel for the Caspian Sea

Table 1 – Technical data of the SDS09C concept

Characteristics	**Value**
Length overall, m	53.6
Length perpendiculars, m	50.0
Beam, m	16.0
Load draft, m	3.0
Maximum displacement, t	1600.0
Cargo deck square, m^2	170.0
Speed, knots	12.0
Power of propulsion plant, kW	3×1200
Cargo crane, t	50.0

Conclusion. Technical specifications and requirements for SCV for the Caspian Sea have been systematized and described with optimization based on a target function. A model for the schematic zoning of SCV spaces has been proposed, accounting for the mobile process equipment and systems to be installed during the early design stages. A first-approximation model for the economic assessment of the SCV has been developed.

References

[1] Bashirov, R.D., Abdullayev, O.M. (2024), "Classification of subsea construction vessels and evaluation of study effectiveness". Baku. 2nd international scientific-practical conference "*Machine Building and Energy: New Concepts and Technologies*", Vol. 148.P. 217–223 (in English).

[2] Abdullayev O.M. Model for selecting and analyzing the influence of lifting gears on the main dimensions of subsea construction vessel. Odesa. *Herald of the Odesa National Maritime Uneversity*. 2024. № 3 (74). P. 7–18.

[3] Egorov A.G., Abdullayev O.M., Rzayev R.E. Analysis of influence of mobile drilling equipment on the main dimension of Subsea Construction Vessel. Baku. *Azerbaijan Oil Industry Journal*. 2025. № 4. P. 13–21.

[4] Bashirov R.D., Egorov A.G., Jafarov Z.A., Abdullayev O.M., Abdullayev R.O. Research of main dimensions of new generation subsea construction vessels and investigation of influence of choice of diving complex and remotely operation vehicles on concept design stage. 2nd international scientific and technical conference "*Infocommunication Systems and Artificial Intelligence Technologies*" (ICSAIT 2024). Baku, 2024. № 7 (83). Vol. 20. P. 358–364.

[5] Bashirov R.D., Abdullayev O.M., Abdullayev R.O. The System Analysis and Mathematical Model of the Subsea Construction Vessels. Baku : Hearld of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025. №17 (2). P. 73–82.

[6] Egorov A.G., Abdullayev O.M., Rzayev R.E., Hajinskiy H.M. Creation of mathematic model of definition of main dimension of subsea construction vessel of new generation: influence of pipe-laying equipment. Odesa : Heraldof the Odesa National Maritime Uneversity, 2025. № 2 (76). P. 10–32.

СТВОРЕННЯ ОБЛІКУ СУДЕН ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВОДНО-ТЕХНІЧНИХ РОБІТ ДЛЯ КАСПІЙСЬКОГО РЕГІОНУ

Єгоров Олександр Геннадійович, Абдуллаєв Ойрад

Анотація. Розроблено технічні умови, модель оптимізації та вимоги до судна забезпечення підводно-технічних робіт (СЗПТР) для Каспійського моря. Запропоновано модель зонування приміщень судна для визначення необхідних обсягів приміщень на ранніх етапах проєктування. Розроблено модель економічної оцінки ефективності запропонованого судна. Запропоновано базову модель судна забезпечення підводно-технічних робіт з урахуванням передбачуваної установки мобільних технологічних обладнань.

Ключові слова: проєктування; нафтогазовий сектор; концепт; вид; функціональність.

УДК 629.58

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯМ ПРИВ'ЯЗНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА

Войтасик А. М.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
andrii.voitasyk@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі представлено систему керування енергоживленням прив'язаного підводного апарата, призначену для забезпечення стабільної роботи його електроспоживачів в умовах змінного навантаження. Запропоновано структуру системи керування на основі стабілізатора напруги, блоку сенсорів, мікроконтролера та інформаційного модуля обміну даними з керуючим комп'ютером. Розглянуто особливості стабілізації параметрів електроживлення з урахуванням втрат напруги у кабель-тросі та роботи рушійно-кермового комплексу у перехідних режимах. Увагу приділено підвищенню надійності керування енергоживленням, забезпеченню оперативного моніторингу параметрів та організації інформаційного обміну між бортовими системами апарата.

Ключові слова: прив'язний підводний апараті, система керування, енергоживлення

Вступна частина. Розвиток сучасних підводних робототехнічних комплексів сприяє активному використанню прив'язаних підводних апаратів для виконання інспекційних, пошукових та технологічних операцій у водному середовищі [1]. Такі апарати широко застосовуються для контролю стану підводних об'єктів, обслуговування інженерних споруд, а також виконання монтажних і ремонтних робіт на різних глибинах [2]. Ефективність функціонування прив'язаного підводного апарата значною мірою залежить від якості розподілу його енергоживлення між бортовими системами, оскільки стабільність параметрів електричної енергії безпосередньо впливає на роботу рушійно-кермового комплексу, систем освітлення, бортової електроніки та іншого обладнання [3].

Метою роботи є розробка системи керування енергоживленням прив'язаного підводного апарата, яка забезпечує стабілізацію параметрів напруги, контроль режимів роботи електроспоживачів та підвищення надійності функціонування апарата в умовах змінного навантаження.

Основна частина. Прив'язані підводні апарати є складними робототехнічними системами, функціонування яких значною мірою залежить від надійності системи електроживлення. Через конструктивні особливості таких апаратів живлення здійснюється від судна-носія через кабель-трос, що забезпечує передачу електричної енергії та інформаційний обмін між оператором і підводним апаратом. Однак значна довжина кабельної лінії призводить до падіння напруги під час роботи потужних споживачів, зокрема рушійно-кермового комплексу, що негативно впливає на ефективність роботи електроприводів та надійність функціонування апарата. Основним споживачем електричної енергії прив'язаного підводного апарата є рушійно-кермовий комплекс, який забезпечує просторове переміщення апарата у водному середовищі (рис. 1).

Робота рушійно-кермового комплексу характеризується значною кількістю перехідних режимів, під час яких відбуваються різкі зміни струму навантаження. Звідси, виникають додаткові вимоги до стабільності параметрів живлення та потреба застосування спеціалізованих систем регулювання напруги.

Для забезпечення необхідного рівня електроживлення запропоновано використання системи стабілізації напруги, яка встановлюється між первинним джерелом електроенергії та кабель-тросом підводного апарата. Основним завданням стабілізатора є підтримання заданого рівня напруги на вході апарата незалежно від зміни величини струму споживання. Дане рішення дозволяє компенсувати втрати напруги у кабельній лінії та забезпечити стабільну роботу електроприводів.

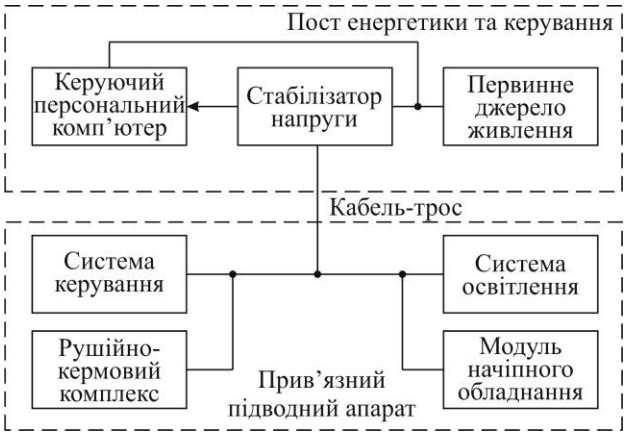


Рисунок 1 – Узагальнена структура системи керування енергоживленням прив'язного підводного апарата

У процесі аналізу існуючих способів стабілізації напруги було розглянуто параметричні та компенсаційні стабілізатори. Параметричні пристрої використовують властивості нелінійних елементів, однак мають обмежені можливості регулювання при змінних режимах роботи. Компенсаційні стабілізатори, які функціонують за принципом автоматичного регулювання із використанням зворотного зв'язку, забезпечують більш високі характеристики стабілізації та є перспективнішими для застосування у складі систем електроживлення підводних апаратів.

Запропонована система стабілізації базується на використанні напівпровідникових елементів керування та мікроконтролерної системи моніторингу. Контроль вихідної напруги, струму споживання та температури силових елементів здійснюється блоком сенсорів, інформація від якого надходить до мікроконтролера для подальшого перетворення та передачі керуючому комп'ютеру (рис. 2).

Особливістю даної системи керування є наявність захисного контуру, який контролює аварійні режими роботи та забезпечує відключення стабілізатора у разі виникнення небезпечних ситуацій. При

цьому силова частина системи та керуюча електроніка мають гальванічну розв'язку, що підвищує надійність та захищає керуючі компоненти від можливих пошкоджень.



Рисунок 2 – Структура стабілізатора напруги

Висновки:

1. Представлено структуру системи керування енергоживленням прив'язаного підводного апарата та визначено основні фактори, що впливають на стабільність його роботи, зокрема втрати напруги у кабель-тросі та зміну режимів навантаження рушійно-кермового комплексу.

2. Запропоновано розроблену систему керування параметрами енергоживлення підводного апарата впроваджувати у складі прив'язних підводних систем, що дозволяє компенсувати відхилення напруги живлення, здійснення оперативного контролю стану силових елементів та забезпечення захисту електричного обладнання підводного апарата в умовах експлуатаційних навантажень.

Література

[1]. Capocci R, Dooly G, Omerdić E, Coleman J, Newe T, Toal D. Inspection-class remotely operated vehicles – A review. *Marine science and engineering.* 2017. 5 (1): 13. DOI: doi.org/10.3390/jmse5010013.

[2]. Sani M.I., Siregar S., Kurnia M.M., Hasbialloh D. An electrical power control system for explorer-class remotely operated underwater vehicle. *Telecommunication computing electronics and control.* 2019. 17 (2). DOI: 10.12928/telkomnika.v17i2.11757.

[3]. Du K., Liu H., Tian Z., Peng B., Qin J. Investigation on an electric tether management system and its control for deep-sea remotely operated vehicles. *Control and information technology.* 2023. № 6. DOI: 10.13889/j.issn.2096-5427.2023.06.006.

TETHERED UNDERWATER VEHICLE POWER SUPPLY CONTROL SYSTEM

Voitasyk Andrii Mykolayovych
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper presents a power supply control system for a tethered underwater vehicle designed to ensure stable operation of its electrical consumers under variable load conditions. The structure of the control system is proposed based on a voltage stabilizer, a sensor unit, a microcontroller, and an information module for data exchange with a control computer. The features of stabilizing power supply parameters are considered, taking into account voltage losses in the cable and the operation of the propulsion and steering complex in transient modes. Attention is paid to increasing the reliability of power supply control, ensuring operational monitoring of parameters, and organizing information exchange between the vehicle's onboard systems.

Keywords: tethered underwater vehicle, control system, power supply

УДК 629.5.01.001.63

ВПЛИВ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ НА ВИКОРИСТАННЯ МОРСЬКИХ ДРОНІВ У ПІДВОДНИХ БУКСИРУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Трунін К.С.,
доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри двигунів та енергетичних установок,
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Первомайськ, Україна
trunin.konstantin.stanislav@gmail.com

Анотація. Сучасний перебіг російсько-української війни показує, що бурхливий розвиток морських безпілотних апаратів (БПА) – дронів, повністю змінив театр бойових дій. Буксирувальні морські системи (БМС), у тому числі й підводні, також отримали додаткову можливість для розвитку. У зв'язку з цим буде змінюватись також і їх класифікація, до якої будуть додані нові ознаки, конструкція, тактика використання. В роботі розглядається вплив БПА на розвиток та майбутнє БМС.

Ключові слова:. Буксирувальні (буксирувані) морські системи (БМС), підводні буксирувальні системи (ПБС); безпілотних апаратів (БПА), бкзпілотні морські системи (БМС), безпілотні системи (БПС).

Вступ. Відомо, що будь-яка війна дає поштовх появі нових та розвитку існуючих технологій. У сучасні війні таким прикладом може бути використання безпілотних апаратів (БПА), які практично повністю змінили характер та перебіг бойових дій. Поштовхом для цього стало використання збройними силами Російської Федерації (РФ) БПЛА типу «Шахед-136», які вони отримали від Ісламської Республіки Іран. Звичайно, БПЛА використовувалися й раніше, в першу чергу, провідним державами: США, Великою Британією, Францією та ін. Але все це відбувалося епізодично, в основному для розвідувальних та спеціальних місій. Тому цікавим буде, на наш погляд, розглянути вплив появи та застосування безпілотних апаратів (БПА) (повітряних, морських (підводних і надводних), наземних, та їх вплив на зміну організаційної структури збройних сил (як українських так і російських) у складі підводних буксирувальних (буксируваних) систем ПБС.

Питання використання безпілотних систем у сучасній війні активно висвітлюється у фахових українських та закордонних періодичних виданнях, наукових збірниках і воєнно-історичних монографіях:українські періодичні видання та збірники: «Український оборонний огляд» (Ukrainian Defense Review) – англомовний журнал, що детально аналізує вітчизняні розробки, тактику застосування БПЛА та досвід гібридних конфліктів; наукові журнали вищих військових навчальних закладів (наприклад, збірники Національного університету оборони України та Харківського національного університету Повітряних Сил) – публікують статті про протидію засобам радіоелектронної боротьби (РЕБ) та уроки бойових дій; аналітичні матеріали профільних медіа – ресурси на кшталт Defense Express регулярно подають огляди ринку озброєнь та еволюції безпілотних технологій; російська військово-технічна періодика: «Военная мысль» – офіційний теоретичний журнал Міністерства оборони РФ, де публікуються матеріали щодо доктринальних поглядів на застосування БПЛА та концепцій мережецентричних війн; «Арсенал Отечества» та «Воздушно-космическая оборона» – експертні журнали, що розглядають тактико-технічні характеристики дронів, засоби їх ураження та інтеграцію у загальновійськові операції.

Мета роботи. Дослідити вплив сучасної війни на застосування безпілотних систем (БПС), як складових підводних буксирувальних систем (ПБС).

Основна частина. Історія виникнення роботизованих комплексів має вже певний час. Термін «дрон» походить від англійського слова drone, що означає «трутень» (самець бджоли). Ця назва закріпилася у 1935 році за британським радіокерованим біпланом-мішенню DH.82B Queen Bee («Бджолина матка»), який використовували для тренування зенітників. Гучний гул його двигуна нагадував дзижчання бджоли, а підпорядкована роль «послушного» літака порівнювалася з трутнем у вулику Еволюція назви та перші аналоги: 1917 рік: поява перших проєктів безпілотних «літаючих бомб» та мішеней (британський *Aerial Target* та американський *Kettering Bug*), але тоді їх називали повітряними торпедами або мішенями; 1935 рік: поява DH.82B Queen Bee у Великій Британії, після чого слово *drone* офіційно увійшло в лексикон військових; 1940-ві роки: у США розробляють серію мішеней *Radioplane*, де назва «дрон» остаточно закріпилася за всіма дистанційно керованими апаратами. Згодом БПЛА почали будь-де називати дронами в масовій культурі та медіа, хоча технічна термінологія довгий час надавала перевагу абревіатурам БПЛА або БпЛА.

Причин використання БПА у військовій справі було декілька: розвантаження особового складу армії від рутинних операцій (сухопутні війська), як фізичних, так і небезпечних (розмінування), розширення можливостей використання збройних сил для отримання більш ефективних результатів за рахунок усунення ланки «людського фактору». Але найбільш важливим, на наш погляд є, ймовірно, збереження людського життя військового, оскільки лікування їх після поранення потребує певного часу, ресурсів, не говорячи вже про втрати особового складу, що суттєво зменшує кількість збройних сил.

Після появи БПС повинен був пройти певний час для осмислення можливостей їх використання, вироблення концепції та ін. За чотири роки війни було зроблено: розроблена загальна концепція використання БПС у різних родах військ з урахуванням середовища їх використання; створення Сил спеціальних операцій (ССО) ЗС України як окремого роду військ; створення підрозділів БПС у різних родах військ, СБУ та ГУР; створення матеріальної бази для проєктування та виробництва БПС, програмної та апаратної баз, методики використання; підготовка кадрів (операторів), програмного забезпечення; створення ремонтної бази; створення певної інфраструктури для використання БПС; створення (перепрофілювання) проєктних організацій, що потребквало підготовки кадрів – проєктантів; визначення обсягів фінансування БПС, залучення інвестицій.

Особливості розвитку: поява реактивних БПЛА (використання реактивних двигунів): використання оптоволокна для управління; підвищення вантажопідйомності; збільшення дальності (радіуса дії) використання; використання більш дешевих матеріалів для конструкцій дронів.

Переваги у порівнянні з авіацією та ракетною зброєю: менша вартість, у тому числі й виробництва; можливість швидкого розширення виробництва; можливість використання більш простої інфраструктури; менший час і вартість підготовки операторів дронів; можливість використання модульного підходу для розміщення додаткової зброї; використання штучного інтелекту (ШІ) в системах навігаціїдронів.

Згідно зі структурою ПБС [1; 2] доповнення її БПА дещо ускладнює їх використання за рахунок залучення додаткового обладнання: буксируваного підводного апарата (самого БПА (дрона), лінії його зв’язку (гнучкого підводного зв’язку – ГПЗ) з пунктом керування (ПК), необхідність додаткового робочого місця (приміщення) для оператора БПА. Однак використання БПА у складі ПБС значно розширює їх можливості за рахунок автоматизації процесів управління [3].

Висновки. Підсумовуючи вищесказане, можна зробити наступний висновок: безпілотні системи (апарати) – унікальний вид техніки, який став зброєю, сформував цілий рід військ, дав поштовх розвитку нових технологій, розширив можливості вже існуючих технічних засобів, наприклад, ПБС. Зараз здійснюється їх подальший розвиток, який буде продовжуватися, розробляються нові прийоми використання БПС, формується особовий склад цього роду військ ЗСУ України.

Треба також відзначити, що Україна змогла в доволі складних умовах ведення війни зайняти провідне місце серед інших країн з проєктування та виробництва БПА, що свідчить про високий інноваційний потенціал наших фахівців. Бойові дії дають можливість зразу ж відпрацьовувати та вдосконалювати конструкції БПА, прийоми та методику їх застосування. Адже ніякі полігони не замінять реальних бойових дій, ось чому військові збройних сил інших країн використовують будь-які можливості щоб ознайомитись з безцінним досвідом використання БПА українськими збройними силами. Після закінчення війни, скоріше за все, досвід ЗС України буде підсумований, обговорений та сформований у вигляді рекомендацій та методик.

Література

[1] Трунин К.С. Классификация морских привязных систем // Збірник наукових праць Севастопольського військово-морського ордена Червоної Зірки інституту ім. П.С. Нахімова. – Севастополь: СВМІ ім. П.С. Нахімова, 2009. – вип. 1 (16) – 23 с. С. 77 – 89.

[2] Blintsov V., Trunin K. Construction of a mathematical model to describe the dynamics of marine technical systems with elastic links in order to improve the process of their design / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774/1/9(103), 2020, UDC 629.5.01.001.63, DOI: 10.15587/1729-4061.2020.197358. P. 56–66, p. 74.

[3] Трунін К.С. Переваги використання прив’язних систем для забезпечення безпеки акваторій портів України. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : матеріали XIV МНТК. Миколаїв : НУК, 2023. С. 691–693.

THE IMPACT OF MODERN WARFARE ON THE USE OF MARINE DRONES IN UNDERWATER TOWING SYSTEMS

Kostiantyn S. Trunin,

Pervomaysky Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk, Ukraine

Abstract. The current course of the Russian-Ukrainian war shows that the rapid development of naval unmanned aerial vehicles (UAVs) – drones, has completely changed the theater of operations. Towing maritime

systems (TMS), including submarsible, have also received additional opportunities for development. In this regard, their classification will also change, to which new features, design, and tactics of use will be added. The paper examines the impact of UAVs on the development and future of TMS.

Keywords:. Towing (towed) marine systems (TMS), underwater towing systems (UTS); unmanned aerial vehicle (UAV), unmanned marine systems (UMS), unmanned systems (US).

УДК 75.052

ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙНУ КАТЕРІВ ДЛЯ РИБОЛОВЛІ З КОМПОНУВАЛЬНИМ ВАРІАНТОМ – ЦЕНТРАЛЬНА КОНСОЛЬ

Коваль С.С.,
кандидат фізико-математичних наук, завідувач кафедри дизайну
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
sergiy.koval@nuos.edu.ua

Анотація. Любительська та спортивна риболовля набуває все більшої популярності у всьому світі. В дослідженні вирішено питання особливостей дизайну рибальських катерів довжиною до 1 метрів з компонувальним варіантом – центральна консоль.

Ключові слова. Моторний катер, зона відпочинку, дизайн інтер'єру.

Вступна частина. Риболовля є невід'ємною частиною людської культури з прадавніх часів. Для отримання кращих результатів рибалки використовують плавзасоби. Починаючи з найпростіших плотів і закінчуючи ультрасучасними катерами з електронною начинкою, що використовує штучний інтелект. Розглянемо сегмент ринку моторних катерів для риболовлі довжиною до 10 метрів (20–33 фути), які використовуються для любительської риболовлі та активного відпочинку.

Дизайн цих катерів балансує між вузькоспеціалізованою функціональністю та універсальним комфортом. Компонування палуби та геометрія корпусу безпосередньо визначають морехідність, ефективність використання простору та практичність судна. Використання інноваційних матеріалів та технологій дозволяє забезпечити максимальний рівень комфорту та зручності.

Мета роботи. Провести порівняльний аналіз дизайну моторних катерів для риболовлі довжиною до 1 метрів на прикладі моделей відомих світових брендів.

Основна частина. За дизайном внутрішній простір катерів даної категорії можна поділити на три архітектурні та компонувальні конструктивні типи: катери з центральною консоллю, катери з рубкою з круговим проходом та катери з подвійною консоллю. Розглянемо функціональні особливості та дизайн суден з центральною консоллю різних дизайнерських фірм та виконаємо їх порівняльний аналіз.

Катери з центральною консоллю (Center Console). Консоль управління розташована строго посередині, що дає вільний прохід 360° навколо всього борта. Це критично для морської риболовлі (спінінг, джигінг, тролінг), коли рибу потрібно виводити по всьому периметру катера.

У якості класичного зразка американського преміального риболовного катера з центральною консоллю можна розглянути серію Grady-White Fisherman (судноверф Grady-White Boats, США) [1]. Дизайн судна розроблено з акцентом на автономність, морехідність у відкритому океані та ергономіку для активного виведення риби.

До ключових елементів дизайну катерів цієї серії слід віднести змінну килюватість. Кут килюватості плавно змінюється від гострого штевня на носі (близько 50°) до помірного V на кормі (20–20.5°) [1]. Це забезпечує м'яке проходження хвилі без жорстких ударів та стійкість на дрейфі. Високий носовий розвал створює впізнаваний вигин борта, який не лише надає катеру класичного силуету, а й відводить бризки в сторони, залишаючи кокпіт сухим.

Позиціонування та ширина центральної консолі виготовлені так, щоб залишити глибокі та безпечні проходи з обох бортів. Консоль управління включає широку панель для монтажу великих картплотерів, ехолотів та систем зв'язку, а також захисне скло та жорсткий T-Top тент із тримачами для вудлищ.

Кормовий кокпіт повністю вільний від зайвих елементів. Висота фальшборту розрахована так, щоб рибалка міг надійно спиратися ногами при виведенні великої риби. Вбудовані інтегровані аератори, які є термоізольованими баками для живця з підсвічуванням та постійною рециркуляцією води. Великі підлогові та носові контейнери з дренажними помпами для зберігання улову на льоду.

Носова зона оснащена знімними м'якими подушками та спинками, що перетворюють риболовну платформу на зону відпочинку.

Принципово іншу філософію дизайну демонструє концепт Axopar CCX (судноверф Axopar, Фінляндія), виконаний в стилі скандинавський авангард: футуристичний, низькопрофільний, модульний. Це вдале поєднання досвіду північноєвропейського функціоналізму та спортивного дизайну.

До ключових елементів дизайну катерів цієї серії слід віднести двоступеневий корпус із килюватістю 22°, який значно зменшує гідродинамічний опір. Корпус утворює повітряну подушку під дном, що знижує витрату палива (до 50 % економніше за аналоги в класі) і підвищує швидкість. Вертикальний форштевень дозволяє м'яко різати хвилю замість удару по ній, забезпечуючи сухий та плавний хід навіть при серйозній хитавиці.

Axopar пропонує гнучке налаштування кормового простору під потреби власника. Катер має чисту палубу з модулями для зберігання снастей, аераторами для риби та обробними столами. В кокпіті є вбудована кухонна зона із раковиною, холодильником і поверхнями для приготування їжі.

Консоль оснащена зворотно-нахиленим лобовим склом із загартованого скла, що запобігає відблискам та відводить бризки. Під носовою палубою прихована каюта з гальюнним модулем (унітаз/раковина) та спальним місцем для 2 осіб.

Висновки. Аналізуючи вищесказане, можна зробити висновок, що сьогодні відомі світові бренди пропонують споживачам широкий спектр риболовецьких катерів довжиною до 1 метрів. Кожен може обрати собі судно на свій смак – від класичного «важкого» консервативного стилю до ультрасучасних футуристичних сілуєтів. Але в будь-якому разі споживач отримає катер, який відповідає всім без пековим вимогам та оснащений сучасним навігаційним та риболовним обладнанням.

Література

[1] URL: https://www.gradywhite.com/models/fisherman-236/?tab=tab_gallery_exterior
[2] URL: https://www.axopar.com/boat-models/axopar-29/axopar-29-ccx/

DESIGN FEATURES OF FISHING BOATS WITH A CENTER CONSOLE LAYOUT OPTION

Koval Sergii
The Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Amateur and sport fishing is becoming increasingly popular around the world. The study addresses the design features of fishing boats up to 1 meters long with a center console layout.

Keywords: Motorboat, recreation area, interior design.

УДК 378.004.8:629.5

СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИЩОЇ ОСВІТИ У ГАЛУЗІ СУДНОБУДУВАННЯ

Бідніченко О.Г.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
olena.bidnichenko@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто сучасності тенденції цифровізації вищої освіти та особливості їх реалізації в суднобудуванні. Проаналізовано нормативно-правові засади цифрової трансформації освітнього простору України, міжнародні підходи до розвитку цифрових компетентностей. Обґрунтовано необхідність інтеграції сучасних технологій суднобудування в освітній процес. Сформовано комплексну модель цифровізації професійної підготовки майбутніх інженерів-суднобудівників, яка поєднує освітній, технологічний та виробничий компоненти. Визначено основні виклики та перспективи розвитку цифрової трансформації суднобудівної освіти.

Ключові слова: цифровізація вищої освіти; цифрова трансформація; суднобудування; підготовка інженерів; цифрові компетентності.

Вступна частина. Сучасний розвиток суднобудівної галузі характеризується активним впровадженням цифрових технологій, які змінюють підходи як до проєктування, також і до виробництва та експлуатації суден. Перехід від традиційних підходів виробництва до концепції *Shipyard* 4.0 передбачає створення єдиного інформаційного середовища підприємства, яке об'єднує автоматизоване проєктування, виробничі процеси, штучний інтелект, системи управління життєвим циклом суден тощо. У зв'язку з цим змінюється вимоги до підготовки інженерів для суднобудівної галузі.

Сучасний випускник суднобудівних спеціальностей повинен володіти не тільки фундаментальними професійними знаннями з теорії корабля, конструкції корпусу суден та технології суднобудування, а й цифровими компетентностями, які будуть необхідні для роботи в інтегрованому цифровому виробництві. Тому цифровізація вищої освіти стає одним із ключових чинників забезпечення конкурентоспроможності майбутніх інженерів-фахівців суднобудування.

Метою роботи є аналіз сучасних тенденцій цифровізації вищої освіти та обґрунтування напрямів модернізації підготовки майбутніх інженерів-суднобудівників, розробка комплексної моделі цифровізації підготовки фахівців згідно із сучасними потребами цифрового суднобудівного виробництва.

Основна частина В Україні цифрова трансформація вищої освіти здійснюється відповідно до Закону України «Про вищу освіту» [1], Стратегії розвитку вищої освіти України на 2022-2032 роки [2], Концепції розвитку цифрових компетентностей [3]. Закон України «Про вищу освіту» передбачає використання дистанційних технологій навчання та електронних освітніх ресурсів для організації навчального процесу. Такий підхід створює нормативно-правову основу для цифровізації діяльності закладів вищої освіти.

У документах Європейського Союзу щодо цифрової освіти наголошується, що цифрова трансформація це не тільки впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, а й модернізація змісту вищої освіти, яка передбачає розвиток цифрових компетентностей та удосконалення методики викладання навчальних дисциплін. Така ж тенденція запропонована в рекомендаціях *UNESKO* [4], де цифровізація розглядається не як просте використання електронних ресурсів, а як комплексна трансформація цифрового середовища. Вивчення світового досвіду також доводить, що цифровізація інженерної освіти має охоплювати не лише впровадження сучасних інформаційних технологій, а й оновлення змісту освітніх програм та методів навчання [5; 6]. Концепція *Education* 4.0 розглядає інтеграцію цифрових компетентностей, інноваційних педагогічних підходів та практично орієнтованого навчання, що має особливо важливе значення для суднобудівної галузі.

Цифровізація у суднобудуванні має власну специфіку. Сучасні суднобудівні підприємства використовують цифрові моделі суден, системи автоматизованого проєктування, цифрові двійники та інші інструменти концепції *Shipyard* 4.0, тому університети повинні забезпечувати підготовку фахівців, здатних працювати з такими технологіями вже під час навчання [7]. Сучасний інженер повинен володіти не лише класичними методами інженерних розрахунків, а й компетентностями щодо роботи із сучасними *CAD*/*CAM* та *PLM* системами.

У світовому суднобудуванні широко застосовуються спеціалізовані програмні комплекси *CADMATIC* [8], *AVEVA Marine, Siemens NX* та інші цифрові рішення, які забезпечують наскрізне цифрове проєктування суден та інтеграцію конструкторської, технологічної та виробничої інформації. Основою таких комплексів є робота з тривимірною моделлю, яка використовується як банк даних для процесів проєктування, технологічної підготовки виробництва, монтажу та експлуатації судна. Суднобудівні компанії зацікавлені у кваліфікованих молодих спеціалістах, тому дозволяють використовувати їх програмне забезпечення в університетах для навчання. Ознайомлення студентів з функціонуванням таких систем сприяє формуванню компетентностей, необхідних для подальшої роботи в умовах цифрового виробництва.

Важливим напрямом модернізації вищої освіти є впровадження технології цифрового двійника судна (*Digital Twin*) [9], яка забезпечує формування геометричних моделей із всіма необхідними даними для можливості моделювання режимів роботи суднових конструкцій, прогнозування технічного стану обладнання, прийняття інженерних рішень на основі аналізу даних.

Цифровізація професійної підготовки майбутніх інженерів суднобудування має проводитись згідно з комплексною моделлю, яка передбачає інтеграцію трьох взаємопов’заних компонентів: 1. *Освітнього*, що містить в собі оновлення освітніх програм відповідно до сучасних технологій суднобудування; 2. *Технологічного*, який передбачає використання цифрових двійників, професійних *CAD*/*CAM* та *PLM* систем, віртуальних технологій та штучного інтелекту в освітньому процесі; 3. *Виробничого*, спрямованого на розширення співпраці університетів із суднобудівними підприємствами для забезпечення практично орієнованої підготовки студентів.

Запропонований підхід забезпечує безперервний зв’язок фундаментальної інженерної освіти з цифровими виробничими технологіями та реальними потребами сучасного суднобудування. Реалізація такого комплексного підходу сприятиме формуванню у випускників системного інженерного мислення, навичок роботи в інтегрованому цифровому середовищі та підготовленості до роботи у проєктах цифрової трансформації суднобудівної галузі.

Разом із позитивними тенденціями цифровізація вищої освіти супроводжується низкою викликів. Серед них потрібно відзначити високу вартість ліцензійного програмного забезпечення для проєктування суден та необхідність постійного оновлення комп’ютерної інфраструктури. Крім того необхідним є розвиток цифрової компетентності викладачів та забезпечення кібербезпеки освітнього середовища.

Окремими проблемами є потреба в інтеграції університетських лабораторій із сучасними цифровими виробничими платформами суднобудівних підприємств, а також швидке оновлення цифрових технологій, яке вимагає постійного перегляду освітніх програм.

Перспективним напрямком розвитку цифровізації вищої освіти є створення цифрового освітнього середовища в університеті, яке пов'язано з подальшим розвитком таких основних напрямів: 1. Змішаного та дистанційного навчання; 2. Використання цифрових та віртуальних лабораторій; 3. Застосування цифрових двійників суден, систем управління життєвим циклом виробу, *VR*/*AR* технологій; 4. Впровадження технологій штучного інтелекту; 5. Розширення міжнародної академічної співпраці та залучення роботодавців; 6. Безперервне підвищення кваліфікації науково-педагогічних працівників. Такий підхід забезпечить формування професійних компетентностей, що максимально наближені до реальних умов сучасного цифрового суднобудівного виробництва.

Висновки: Цифровізація суднобудівної освіти є не окремим напрямом модернізації навчального процесу, а необхідною умовою підготовки інженерів нового покоління. Подальший розвиток освітніх програм має ґрунтуватися на інтеграції цифрових технологій у професійну інженерну підготовку, широкому використанні *PLM* платформ, цифрових двійників та сучасних *CAD*/*CAM* систем.

Література

[1] Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII (зі змінами).

[2] Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки. Київ : МОН України, 2022.

[3] Розпорядження Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 167-р «Про схвалення Концепції розвитку цифрових компетентностей».

[4] UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris : UNESCO, 2023.

[5] Miranda J., Navarrete C., Noguez J. et al. *The core components of Education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education*. Computers & Electrical Engineering. 2021. Vol. 93. Article 107278. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278.

[6] Spirin O., Ivanova S., Franchuk N., Kilchenko A. Main Components of Digital Competence of Academic and Scientific-Pedagogical Staff of Higher Education Institutions in Ukraine. *UNESCO Chair Journal Lifelong Professional Education in the XXI Century.* 2024. Vol. 2 (10). P. 91–103.

[7] Zhukov Y. D., Haidai H. Yu., Kudin O. O. *The Current State and Prospects of the Use of Distance Learning Instruments During Study Ship Engineering*. Information Technologies and Learning Tools. 2022. Vol. 87 (1). P. 151–165. https://doi.org/10.33407/itlt.v87i1.4505.

[8] CADMATIC Digital Shipyard.

[9] CADMATIC Digital Twin.

MODERN CHALLENGES AND PROSPECTS OF HIGHER EDUCATION DIGITALIZATION IN THE SHIPBUILDING SECTOR

Bidnichenko Olena G.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper examines current trends in the digitalization of higher education and the specifics of their implementation within the shipbuilding sector. It analyzes the regulatory framework for the digital transformation of Ukraine's educational landscape and international approaches to developing digital competencies. The necessity of integrating modern shipbuilding technologies into the educational process is substantiated. A comprehensive model for the digitalization of the professional training of future shipbuilding engineers is developed, combining educational, technological, and industrial components. Finally, the key challenges and prospects for the digital transformation of shipbuilding education are identified.

Keywords: digitalization of higher education; digital transformation; shipbuilding; engineering training; digital competencies.

УДК 629.525:72.012

ОРГАНІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОСТОРУ ФОРДЕКУ НА ЯХТАХ РІЗНОГО РОЗМІРУ: ТЕНДЕНЦІЇ СУЧАСНОГО

Сергієнко О.М.,
старший викладач кафедри дизайну
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна.
vvs64728@gmail.com

Анотація. У статті аналізуються принципи раціональної організації функціонального простору фордека (носової палуби) на яхтах різного розміру з позиції ергономіки, комфорту та сучасного дизайнерського підходу. Досліджується трансформація функцій фордека залежно від довжини судна: від компактної зони пасивного відпочинку до багатофункціонального рекреаційного простору. Досліджено рішення, які забезпечують високий рівень комфорту користувачів: всесезонні модулі, гнучке зонування, інтеграцію джакузі, лаунджів, соляріїв та вертолітних майданчиків без втрати безпеки й ергономічної ефективності.

Ключові слова: фордек, яхта, ергономіка, комфорт, раціональне зонування, палубний простір, лаундж-зона, суперяхта.

Вступ. Функціональна організація простору яхти є складним поєднанням інженерії, естетики та ергономіки. Однією з ключових зон у цьому контексті є фордек – носова зона палуби, розташована перед надбудовою. Традиційно ця частина яхти виконувала переважно утилітарні функції: тут розміщували якірне та швартувальне обладнання, а також зберігали вітрила й супутній інвентар. У сучасному яхтовому дизайні її функціональне призначення суттєво трансформувалося. Завдяки раціональному переосмисленню простору фордек перетворюється на повноцінну зону відпочинку та дозвілля, що поєднує комфорт пасажирів із ефективним використанням доступної площі. Саме баланс між технічною доцільністю, ергономікою та рекреаційною цінністю стає одним із визначальних критеріїв якісного проєктування.

Мета роботи. Дослідити особливості раціональної організації функціонального простору фордека на яхтах різного розміру, оцінити трансформацію його функцій з утилітарних на комфортно-рекреаційні та виявити сучасні тенденції проєктування, що забезпечують ергономічне використання простору та високий рівень комфорту.

Основна частина. На яхтах довжиною до 2 м фордек вирішується мінімалістично й раціонально. Простір використовується переважно для пасивного відпочинку та засмаги. Компактні дивани, трансформовані лежаки зі столиками та тенти забезпечують необхідний рівень комфорту при збереженні свободи проходу та безпеки під час хитавиці. Прикладами такого зонування є фордек на яхтах: *Beneteau Swift Trawler 54* (17,1 м), *Sirena 58* (17,8 м) та *Majesty 62* (18,7 м), де дивани з рундуками під сидіннями та сонячні лежаки утворюють компактну зону відпочинку й прийому їжі, не перекриваючи бортові проходи і водночас передбачають місця для зберігання речей [9; 8; 5].

Зі збільшенням довжини яхт до 20-4 м зростає функціональна складність носового простору. Крім стандартних лежаків, тут з’являються диванні групи, трансформовані зони для засмаги та обіду, джакузі, кінотеатри, а також місця зберігання тендерів і гідроциклів з кранами для їх спуску. Ергономічні завдання ускладнюються: потрібне продумане зонування, плавні переходи між рівнями та забезпечення безпеки. На *Azimut Grande Trideck* (38,2м) фордек демонструє багаторівневу організацію: джакузі, зони відпочинку та солярію, що дозволяє поєднати різні функції відкритої палуби й водночас зберегти комфорт і безпеку переміщення [2]. На яхті *Sunseeker 40M* (4 м) фордек поєднує рекреаційну функцію з технологічною. Простір використовується для зберігання (інтегровано вбудовані морозильні камери та холодильні бокси) і технічного обслуговування, зокрема передбачено кран для спуску тендера на воду [6].

На яхтах завдовжки 40–5 м фордек проєктується за багаторівневим принципом, що дозволяє раціонально раціоналізувати його структуру: зони відпочинку біля рубки, центральний спа-басейн та носові барні й диванні групи. Така архітектура забезпечує розвинену інфраструктуру зручностей (водні об’єкти, бари, модульні дивани, лаунджі) і водночас зберігає можливість використання цієї локації як вертолітного майданчика чи палуби для тендерів. Прикладом такого підходу є яхта *Mengi Yay Aquarius* (45, м) із багаторівневим фордеком, що поєднує спа-басейн із гідромасажем та зону відпочинку з шезлонгами [1]. У свою чергу, на *Wider 165 Project Cecilia* (49,9 м) носова палуба містить джакузі й лаундж-зону, а вертолітний майданчик за потреби трансформується на танцпол, забезпечуючи максимальну гнучкість зонування [11].

На суперяхтах понад 5 м фордек стає архітектурно складним і раціонально організованим простором, що може включати вертолітні майданчики, спортивні зони, танцполи, зимові сади та трансформовані лаундж-зони. Головним завданням такого рішення є забезпечення багатофункціональності простору без

втрати комфорту та безпеки. Так на фордеці яхти *Sarissa* (59, м) розміщено джакузі, а двері тендерного гаража інтегровано зі скелелазною конструкцією (скеледромом), як поєднання зон відпочинку та активного дозвілля [7]. На яхті *Synthesis* (7 м) приватний фордек поєднує джакузі з солярієм та вертолітний майданчик, який трансформується в зону відпочинку без втрати комфорту [10]. Фордек на *Kismet* (95, м) організовано на кількох рівнях: на нижньому рівні носова зона з вертолітним майданчиком може використовуватися як баскетбольний майданчик [4]. А на суперяхті *Kismet* (122м, *Lürssen*, 2024 р.) багатофункціональна спортивна зона трансформується з повноцінного корту для піклболу (ракеткової гри) в баскетбольний майданчик половинного формату (half-court) [12].

Сучасною тенденцією є створення всесезонних рішень. Частково або повністю закритий фордек функціонує як екстер'єрний або інтер'єрний простір залежно від погодних умов, що суттєво підвищує рівень комфорут. Прикладом є *Ferretti Infynito 80* (23, м), де носова зона розвиває концепцію всесезонної тераси: захищений простір може використовуватися як лаундж-зона і легко адаптуватися до різних погодних умов [3] .

При формуванні багатофункціонального простору фордека необхідно поєднувати ергономічні вимоги до безпеки й комфорту з естетичними та дизайнерськими рішеннями. Раціональність такого підходу полягає в оптимальному використанні кожного квадратного метра, а комфорт – у створенні гнучких, зручних і приємних сценаріїв перебування.

Висновки. Організація простору фордека в сучасному яхтовому дизайні є динамічним процесом, у якому технічна раціональність поєднується з прагненням до високого рівня зручності. Ця зона перестала бути виключно технічною та перетворилася на ключовий рекреаційний осередок, що суттєво впливає на загальну архітектурну концепцію судна. Залежно від його габаритів, фордек може виконувати як базісні задачі для відпочинку, так і слугувати автономним багатофункціональним майданчиком. Грамотне зонування, гнучкі сценарії використання та врахування принципів ергономіки дозволяють значно підвищити практичну ефективність цієї локації, створюючи умови для тривалого перебування на борту з якісно організованим дозвіллям.

Література

[1] Aquarius Yacht. *YachtBuyer*. URL: https://www.yachtbuyer.com/en-gb/fleet/aquarius-147-mengi-yay (дата звернення: 18.08.2026).

[2] Azimut Grande Trideck. *Azimut Yachts*. URL: https://azimutyachts.com/en/grande-series/grande-trideck/(датазвернення: 18.08.2026).

[3] Ferretti Yachts Infynito 80. Простір, що немає меж. *Yachts Review*. 2024. 08. URL: https://yachtsreview.com/article/ferretti-yachts-infynito-80/ (дата звернення: 10.09.2026).

[4] Kismet: The story of Shahid Khan's 95m superyacht. *BOAT International*. – URL: https://www.boatinternational.com/yachts/editorial-features/kismet-95m-superyacht (дата звернення: 10.09.2026).

[5] Majesty 62. Majesty Yachts. URL: https://majesty-yachts.com/majesty-62 (дата звернення: 28.08.2026).

[6] Model Review: 2012 Sunseeker 40M. *TWW Yachts.* URL: https://www.twwyachts.com/news/ model-review-2012-sunseeker-40m/ (дата звернення: 18.08.2026).

[7] SARISSA *Piet Brouwer*. 2023. URL: https://www.pietbrouwer.nl/en/references/sy-sarissa-2/ (дата звернення: 18.08.2026).

[8] Sirena 58. *Sirena Yachts*. URL: https://www.sirenayachts.com/ (дата звернення: 02.09.2026).

[9] Swift Trawler 54. *BENETEAU*. URL: https://www.beneteau.com/swift-trawler/swift-trawler-54 (дата звернення: 02.09.2026).

[10] SYNTHESIS Motor yacht for sale. *Burgess*. URL: https://www.burgessyachts.com/en/buy-a-yacht/yachts-for-sale/synthesis-10000180 (дата звернення: 8.09.2026).

[11] White, Caroline. More is more: Inside the Wider 165 Cecilia. *BOAT International*. 25 June 2019. URL: https://www.boatinternational.com/yachts/editorial-features/more-is-more-inside-the-wider-165-cecilia--40891 (дата звернення: 10.09.2026).

[12] Exclusive: On board Lürssen's 122m superyacht Kismet. *BOAT International*. 2024.URL:https://s3.euwest1.amazonaws.com/shorthand.boatinternational.com/exclusive-on-board-l-rssens-122m-superyacht-kismet/index.html(дата звернення: 08.09.2026).

ORGANIZATION OF FOREDECK FUNCTIONAL SPACE ON YACHTS OF VARIOUS SIZES: MODERN DESIGN TRENDS

Serhiienko O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article analyzes the principles of rational organization of the functional space of the foredeck (bow deck) on yachts of different sizes from the standpoint of ergonomics, comfort and a modern design approach.

The transformation of the functions of the foredeck depending on the length of the vessel is studied: from a compact zone of passive relaxation to a multifunctional recreational space. Solutions that provide a high level of user comfort have been studied: all-season modules, flexible zoning, integration of jacuzzis, lounges, solariums and helipads without losing safety and ergonomic efficiency.

Keywords: foredeck, yacht, ergonomics, comfort, rational zoning, deck space, lounge area, superyacht.

УДК 7.012:629.5

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ МЕБЛІ ТА ТРАНСФОРМОВАНЕ ОБЛАДНАННЯ В ДИЗАЙНІ ІНТЕР'ЄРІВ СУДЕН ЯК ЗАСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТОРОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Соколов В.А.,
Фахівець першої категорії
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
email: vladyslav.sokolov@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто особливості використання багатофункціональних меблів та трансформованого обладнання в інтер'єрах суден в умовах обмеженого простору. Визначено основні проблеми організації суднових приміщень та проаналізовано способи їх вирішення шляхом застосування трансформованих, вбудованих і багатофункціональних елементів. Обґрунтовано доцільність поєднання ергономічного проєктування, конструктивної інтеграції меблів та цифрового моделювання для підвищення комфорту, безпеки й ефективності суднового середовища.

Ключові слова: судновий інтер'єр, багатофункціональні меблі, трансформоване обладнання, ергономіка, оптимізація простору.

Сучасне проєктування інтер'єрів суден характеризується необхідністю одночасного забезпечення функціональності, безпеки та комфорту користувачів на кораблі. На відміну від більшості наземних споруд, внутрішній простір судна безпосередньо залежить від конструктивних особливостей корпусу, його габаритів, призначення та вимог до безпеки. Тому організація інтер'єру передбачає максимально раціональне використання кожної ділянки простору. Дослідження організації житлових приміщень судна показує, що під час розроблення інтер'єру необхідно одночасно враховувати комфорт, безпеку, функціональність та економічну доцільність прийнятих рішень [1]. Водночас історія проєктування пасажирських суден демонструє, що меблі є невід'ємною складовою архітектури інтер'єру та формують його функціональний і візуальний характер [2].

Однією з основних проблем проєктування суднових інтер'єрів є **обмеженість площі приміщень**. Особливо це стосується кают, санітарних приміщень, кухонних зон, кают-компаній та інших просторів, у яких необхідно розмістити значну кількість функціональних елементів. При цьому меблі не повинні перешкоджати пересуванню людини, доступу до обладнання та евакуаційних шляхів. Традиційне розміщення окремих предметів меблів може призводити до нераціонального використання площі та зменшення вільного простору. Тому під час проєктування приміщень потрібно розглядати декілька альтернативних варіантів планування для ефективного вирішення проблеми з простором[1].

Додатковою проблемою є необхідність поєднання в одному приміщенні декількох функцій. Наприклад, каюта повинна забезпечувати можливість відпочинку, зберігання особистих речей, роботи та пересування, однак постійне розміщення всіх необхідних предметів у розгорнутому стані значно зменшує площу. Саме тому доцільним є використання багатофункціональних та трансформованих елементів обладнання, які можуть змінювати своє положення або функціональне призначення залежно від потреб користувача. Такий підхід дозволяє розглядати меблі не як сукупність окремих предметів, а як **динамічну систему організації простору**.

Раціональним рішенням є використання меблів, здатних виконувати декілька функцій або змінювати конфігурацію. У судновому інтер'єрі можуть застосовуватися такі типи трансформації:

- відкидні та складні столи, які у неробочому стані звільняють простір для пересування;
- ліжка, що складаються або трансформуються у диван чи іншу функціональну поверхню;
- висувні та розкладні елементи зберігання;
- вбудовані шафи та ніші, інтегровані в конструкцію стін;
- меблі з комбінованим функціональним призначенням;

- мобільні або трансформовані перегородки для зміни конфігурації приміщення.

Застосування таких рішень дає можливість змінювати просторову організацію приміщення відповідно до призначення використовуваного простору. Наприклад, робоча поверхня може бути розкладена лише під час роботи, а після завершення – прибрана, звільняючи простір для відпочинку або пересування. Аналогічно спальне місце може бути інтегроване в систему зберігання або змінювати своє положення протягом дня. Таким чином, одна й та сама площа може послідовно використовуватися для різних функціональних процесів.

Важливим аспектом є також конструктивна інтеграція меблів з архітектурою судна. В історії пасажирського суднобудування меблеві елементи розглядалися у взаємозв'язку з архітектурою приміщення, його композицією та функціональним призначенням [2]. У сучасному дизайні цей принцип може бути доповнений цифровим моделюванням, яке дозволяє перевіряти просторові рішення ще до початку виробництва. Використання технологій віртуальної реальності під час проєктування суден дає можливість оцінювати майбутній інтер'єр у масштабі людини, аналізувати розташування меблів, проходи, доступність окремих елементів та загальну організацію простору [3]. Це особливо важливо для трансформованих меблів, оскільки необхідно перевірити не лише їхнє положення у складеному стані, а й траєкторію та простір, необхідний для трансформації.

Отже, багатофункціональні меблі та трансформоване обладнання можуть розглядатися як один із перспективних засобів оптимізації інтер'єрів суден. Їх використання дозволяє компенсувати обмеженість площі шляхом поєднання декількох функцій в одному елементі та забезпечення можливості зміни просторової конфігурації відповідно до потреб користувача. Поєднання ергономічного проєктування, конструктивної інтеграції меблів та сучасних технологій цифрового моделювання створює передумови для формування більш комфортного, безпечного й ефективного предметно-просторового середовища судна [1–3].

Література

[1] Mustain, A. D. K., Wahidin, A., Soelistijono, R. T., Nugroho, P. N. A., & Ashari, A. N. S. (2024). Applying design alternative approach to optimize comfort, safety, and cost-effectiveness in the redesign of accommodation rooms on the ship KM Tarex 2. *Journal of Marine-Energy and Technology, 5* (1). https://doi.org/10.12962/j27745449.v5i1.1067

[2] Peter, B. (2019). Danish modernist architecture and furniture design in passenger ship interiors 1935–1965. *The Mariner's Mirror, 105* (3), 297–317. https://doi.org/10.1080/00253359.2019.1615778

[3] Helle, S., Nyyssönen, T., Heimo, O., Sakari, L., & Lehtonen, T. (2025). Virtual reality applied to design reviews in shipbuilding. Multimodal Technologies and Interaction, 9 (7), 72. https://doi.org/10.3390/mti9070072

MULTIFUNCTIONAL FURNITURE AND CONVERTIBLE FURNISHINGS IN SHIP INTERIOR DESIGN AS A MEANS OF OPTIMIZING THE OBJECT-SPATIAL ENVIRONMENT

Sokolov V. A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, Mykolaiv.

Abstract. This paper examines the characteristics of using multifunctional furniture and convertible equipment in ship interiors under conditions of limited space. It identifies the main challenges in organizing ship spaces and analyzes ways to address them through the use of convertible, built-in, and multifunctional elements. The paper justifies the benefits of combining ergonomic design, structural integration of furniture, and digital modeling to enhance the comfort, safety, and efficiency of the shipboard environment.

Keywords: ship interior, multifunctional furniture, convertible equipment, ergonomics, space optimization.

УДК 629.58

ЩОДО ВИБОРУ ФОРМИ КОРПУСУ ПІДВОДНОГО АПАРАТА ПЛАНЕРНОГО ТИПУ

Бабенко В.В.,
д.т.н., професор, vvb938@gmail.com
Кочін В.О.,
к.т.н., KochinVO@nas.gov.ua
Мороз В.В.,
к.т.н., с.н.с., MorozVV@nas.gov.ua
Старовєров Д.М.,
аспірант, daniil.staroverov123@gmail.com
Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. Розроблено гідродинамічну схему підводного апарата планерного типу, в якій в якості формоутворюючого профілю корпусу використано хвилясте веретеноподібне тіло. Працездатність розробленої гідродинамічної схеми була перевірена шляхом проведення модельного експерименту в дослідному басейні. Результати можуть бути використані при проєктуванні підводних апаратів планерного типу.

Ключові слова: підводний планер, форма корпусу, гідродинамічні характеристики, оптимізація

Підводні апарати планерного типу є відносно новим типом підводних апаратів великого радіуса дії, які зараз активно розвиваються [1]. Принцип дії підводних апаратів планерного типу ґрунтується на різно-спрямованій зміні їх плавучості за рахунок деформації повітряного міхура. Завдяки одночасному зміщенню центра ваги підводні апарати планерного типу здатні здійснювати циклічні рухи (занурення-спливання) за пилко- чи спіралеподібною траєкторією. При цьому висока гідродинамічна якість (співвідношення між підіймальною силою та гідродинамічною силою опору) є запорукою ефективності такого підводного апарата.

Традиційно підводний апарат планерного типу складається з корпусу, крил і хвостового оперення. Якщо стосовно крил та хвостового оперення сформувалася досить стійка уява про їх форму та профіль, то для корпусу притаманне широке розмаїття. Аналіз гідродинамічних характеристик існуючих традиційних підводних апаратів планерного типу показав, що основним конструктивним елементом, який створює гідродинамічний опір і веде до зменшення гідродинамічної якості є корпус апарата. Тому пошук форми корпусу підводних апаратів планерного з мінімальним гідродинамічним опором типу є **актуальною задачею**.

Метою роботи є формування гідродинамічної схеми підводного апарату планерного типу для досягнення високої гідродинамічної якості.

В методах удосконалення форм корпусів підводних планерів нині активно використовуються біонічні підходи. Поставлена мета досягається шляхом аналізу особливостей форми корпусу морських птахів родини *альбатросові (Diomedeidae)* ряду *буревісникоподібних (Procellariiformes)* [2]. Це одні з найкращих «планеристів» у світі птахів, аеродинамічна якість яких в режимі похилого ширяння може досягати 22…23.

На рис. 1 наведено зовнішній вигляд альбатроса *(а)* та апроксимацію форми його тіла *(б)*. Контур тіла альбатроса апроксимується трьома сферами: перша сфера радіусом R_1 відображає носову частину дзьоба, яка сполучається з конусоподібною частиною дзьоба [3].

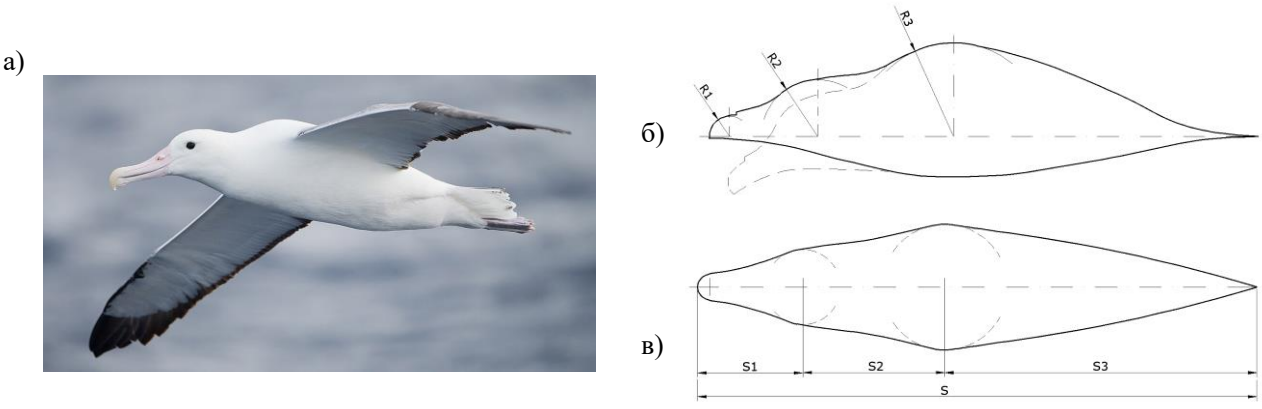


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд альбатроса (а), апроксимація його форми тіла (б) та контур еквівалентного хвилястого веретеноподібного корпусу (в)

Друга сфера радіусом R_2 відображає ділянку голови, а третя сфера радіусом R_3 співпадає з початковою областю тулуба, який має конічну форму. Між собою ці три частини тіла альбатроса спряжені увігнутою поверхнею. Шляхом опрацювання численних фотографічних зображень альбатроса вдалося встановити, що якщо прийняти радіус R_1 за одиницю, то радіус R_2 становитиме приблизно $3R_1$, радіус R_3 – приблизно $5R_1$. Положення центрів сфер уздовж поздовжньої осі від початку тіла у розмірах першого радіусу склали приблизно відповідно $1R_1$, $5{,}7R_1$ та $12{,}9R_1$. Величини радіусів спряження увігнутості між сферами становили приблизно $12{,}4R_1$. За результатами цих досліджень було згенеровано контур еквівалентного хвилястого веретеноподібного корпусу (рис.1-*в*). Схожого результату було досягнуто в роботі [4] шляхом опрацювання профілів тіла пінгвінів.

Крім цього, в роботі [5] в результаті опрацювання і узагальнення великої кількості експериментальних даних щодо побудови багатоланкових систем в біоніці з'ясовано, що структурна організація побудови триланкових систем інваріантна. У відповідності до цього підходу, первинними елементами кожного триланкового об'єкта–системи загальною довжиною s – є три ланки довжиною s_1, s_2 *і* s_3 (див. рис. 1-*в*). Так що $s_1 + s_2 + s_3 = s$. У вигляді простих співвідношень отримано $\bar{s}_1 = s_1/s$, $\bar{s}_2 = s_2/s$, $\bar{s}_3 = s_3/s$. Єдність взаємозв'язку ланок системи визначається безрозмірним рівнянням $\bar{s}_1 + \bar{s}_2 + \bar{s}_3 = 1$.

В якості умови, що встановлює єдність взаємозв'язків в системі прийнято подвійне співвідношення ланок, відоме в математичній теорії груп та проєктивній геометрії як інваріант W:

$$W = \frac{(s_1 + s_2)(s_2 + s_3)}{s_2 s}.$$

З цього виразу видно, що для інваріанта W особливе значення має друга середня ланка s_2, яка сполучає в триланкових системах дві інші передню та задню ланки. Сукупність опрацьованих експериментальних даних свідчить, що відносна довжина другої ланки зазвичай коливається в діапазоні $\bar{s}_2$ =0,25…0,41. В середньому $\bar{s}_2 \approx 1/3$. Ланки $\bar{s}_1$ і $\bar{s}_3$ коливаються в більш широкому діапазоні 0,1…0,55. Зазвичай $\bar{s}_1 < \bar{s}_3$. Аналіз опрацьованих експериментальних даних засвідчив, що найбільш стійке числове значення має інваріант проєктивного подвійного співвідношення ланок на рівні W≈1,31.

Керуючись наведеними вище результатами досліджень було розроблено гідродинамічну схему підводного апарата планерного типу, в якій в якості формоутворюючого профілю корпусу використано хвилясте веретеноподібне тіло (рис. 2-*а*). На поверхні корпусу підводного апарата в носовій частині спостерігається дві хвилі.

а) б)

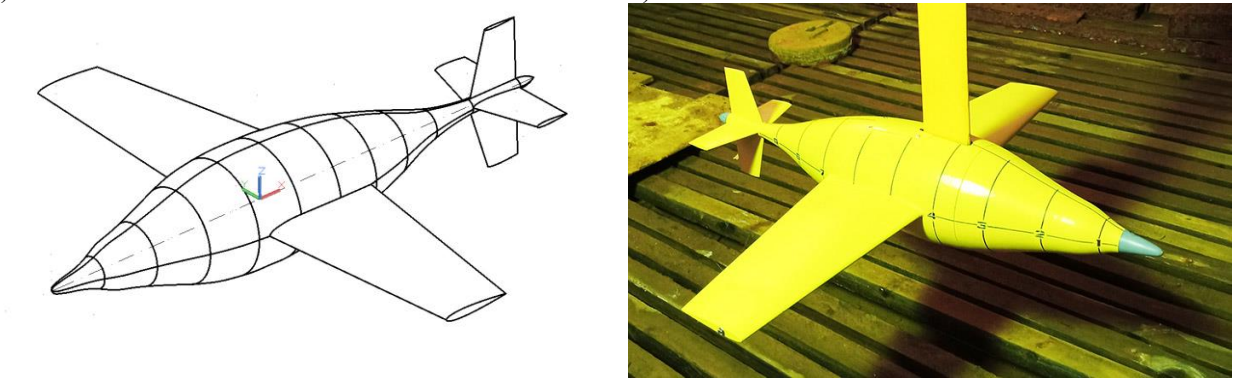


Рисунок 2 – Гідродинамічна схема (а) та модель підводного апарата планерного типу в дослідному басейні (б).

Для перевірки працездатності розробленої гідродинамічної схеми була виготовлена та випробувана в дослідному басейні модель підводного апарата (рис. 2-*б*). Модель мала діаметр корпусу 16 мм при довжині 70 мм. Випробування проводилися при швидкостях буксирування 1,06 та 1,4 м/с при різних кутах атаки. Реєстрація сили гідродинамічного опору F_d та підйомна сила F_l здійснювалася за допомогою вбудованого в модель тензометричного динамометра в швидкісній системі координат. Коефіцієнт гідродинамічного опору C_d визначався за формулою $C_d = 2F_d/(\rho U^2 A_{кр})$, а коефіцієнт підйомної сили C_l відповідно по формулі $C_l = 2F_l/(\rho U^2 A_{кр})$ (тут ρ – масова густина води; U – швидкість буксировки; $A_{кр}$ – площа крила в плані). Результати випробувань показано на рис. 3.

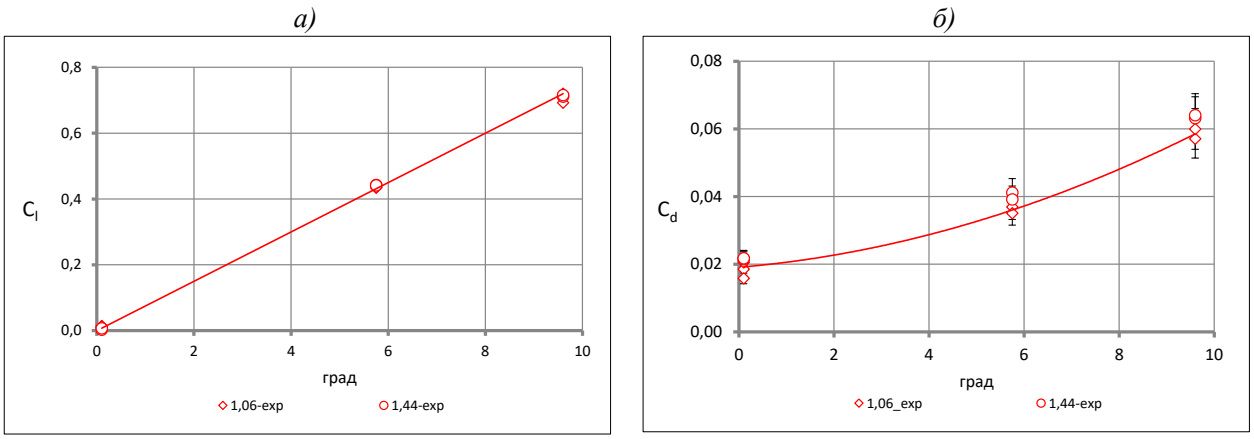


Рисунок 3 – Гідродинамічні характеристики підводного апарата планерного типу: (а)- коефіцієнт гідродинамічного опору; (б)- коефіцієнт підйомної сили.

Аналіз гідродинамічних характеристик гідродинамічних характеристик показав, що підводний апарат має низький гідродинамічний опір а його гідродинамічна якість досягає 12.

Висновки

1. Використовуючи біонічний підхід розроблено і експериментально обгрунтовано гідродинамічну схему підводного апарату з корпусом у вигляді хвилястого веретеноподібного тіла.

Література

[1] Wang J., Wu Z. X., Dong H. J., Tan M. and Yu J. Z. (2022) Development and control of underwater gliding robots: A review. *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*. Vol. 9, No. 9,P. 1543–1560, https://doi.org/10.1109/jas.2022.105671

[2] Albatross. https://en.wikipedia.org/wiki/Albatross

[3] Бабенко В.В., Мороз В.В. Экспериментальное исследование влияния формы тела на его интегральные характеристики. *Прикладна гідромеханіка*. 2013 Том. 15. № 3. С. 3–24. https://hydromech.org.ua/content/pdf/ph/ph-15-3(03-24).pdf

[4] Bannasch R. Widerstandsarme Strömungskörper – Optimal formen nach Patenten der Natur // BIONA-report 10, 3. Bionik-kongress – Mannheim, 1996. P. 151–176.

[5] Першин С.В. Инвариант и симметрия структурной организации многозвенных пространственно-временных систем. *Бионика*. 1998. Вып. 27–28. С. 136–143.

ON THE CHOICE OF THE HULL SHAPE OF A GLIDER-TYPE UNDERWATER VEHICLE

Viktor Babenko, Viktor Kochin, Volodymyr Moroz, Daniil Staroverov

Institute of Hydromechanics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. A hydrodynamic scheme of a glider-type underwater vehicle has been developed, in which a wavy spindle-shaped body is used as the body shape-forming profile. The performance of the developed hydrodynamic scheme was tested by conducting a model experiment in a research pool. The results can be used in the design of glider-type underwater vehicles.

Keywords: underwater glider, hull shape, hydrodynamic characteristics, optimization

УДК 629.58

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНИКИ

Бабкін Г.В.,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

gvbabkin@gmail.com

Анотація. Створення засобів морської робототехніки є наукоємний процес, якій включає в себе значний об’єм робіт та залучення великої кількості фахівців, багатьох науково-технічних напрямів. При цьому основне навантаження приходиться на початкові етапи проєктних робіт, та на предпроєктні етап, оскільки низький рівень застосування даного типу технічних засобів призводить до формування

суперечливих вимог у технічному завданні на проєктні роботи. Використання BIM технології передбачає повний перехід від фізичного та «гібридного» моделювання до математичного, об'єднання розрізнених математичних моделей елементів засобів морської робототехніки в єдину комплексну модель. Дана технологія дозволяє всім напрямкам проєкту працювати одночасно, що дає змогу оперативного вистежування будь-яких змін та швидко отримувати актуальну інформацію по створенню засобів морської робототехніки. Застосування сучасних інформаційних технологій під час проєктування засобів морської робототехніки робіть процес більш ефективним та скорочує час проєктно-конструкторських робіт порівняно з традиційними способами проєктування.

Ключові слова: засіб морської робототехніки; проєктування; математичне моделювання; інформаційні технологій; BIM технологія

Вступна частина. Зростаючі воєнні і терористичні загрози з морських акваторій вимагають створення адекватних технічних засобів оборонного призначення. Доступ до морських комунікаційних шляхів, будь якої країни, що веде активну торгівельну діяльність, має важливе значення для розвитку національної економіки і безпеки в цілому.

У відповідності до Військової Доктрини України, на ВМС ЗС України покладається завдання щодо захисту країни, забезпечення контролю морської обстановки в прибережних водах і забезпечення національних інтересів в межах виключної економічної зони [1].

Створення засобів морської робототехніки (ЗМР) є наукоємний процес, якій включає в себе значну розрахункову складову, шо пов'язана з значним об'ємом робіт пов'язаних з математичним моделюванням складових ЗМР та залучення великої кількості фахівців, багатьох науково-технічних напрямів. При цьому основне навантаження розрахункових робіт приходиться на початкові етапи проєктних робіт, та на предпроєктні етап, оскільки низький рівень застосування даного типу технічних засобів призводить до формування суперечливих вимог у технічному завданні на проєктні роботи. Наслідком чого є надвеликі терміни початкових етапів проєктних робіт або взагалі неможливість створення ЗМР з заявленими характеристиками.

Скорочення термінів виконання цих етапів та витрат на їх проведення можливо за умов поширеного використання BIM технології.

Мета роботи. Сформулювати наукову проблему серійного створення засобів морської робототехніки в Україні, та технологічне забезпечення її реалізації.

Основна частина. Використання BIM технології передбачає повний перехід від фізичного та «гібридного» моделювання до математичного, об'єднання розрізнених математичних моделей елементів ЗМР в єдину комплексну модель з використанням: віртуальних прототипів, чисельного моделювання та результатів натурних випробувань, комплексні бази даних елементів ЗМР зі всіма відомими характеристиками елементів, поєднаних загальним програмним забезпеченням з елементами штучного інтелекту. Тобто створити інформаційно-моделюючий програмний комплекс (ІМПК).

Дана технологія дозволяє всім напрямкам проєкту працювати одночасно, що дає змогу оперативного вистежування будь-яких змін та швидко отримувати актуальну інформацію по створенню ЗМР. Наприклад, якщо в результаті проєктування з'являється необхідність внести зміни до якогось елемента в проєкті, вони миттєво отримають оновлену інформацію [2].

Побудова BIM моделі ЗМР полегшує роботу з ним і має масу переваг перед традиційними формами проєктування:

- скорочення загальних термінів реалізації проєкту;
- значне зниження числа помилок і нестиковок під час проєктування всіх систем;
- швидке створення кошторисної документації;
- економія бюджету проєкту.

Для створення ефективного ІМПК який вирішує проєктні завдання необхідно сформулювати систему критеріїв, за допомогою яких ІМПК буде приймати рішення по формуванню складу ЗМР, а головний конструктор оцінювати результат його роботи.

Застосування сучасних інформаційних технологій під час проєктування ЗМР робіть процес більш ефективним та скорочує час проєктно-конструкторських робіт порівняно з традиційними способами проєктування. Досягається це за рахунок того, що такий спосіб передбачає не роботу з документацією, а з комплексами програм, які генерують модель і всі необхідні для виробництва на верстатах з ЧПК файли. Завдяки чому на першому етапі проєктування є можливість отримати орієнтовну, не оптимізовану конструкцію майбутнього ЗМР і заощадити час та інші ресурси проєкту.

У різних джерелах дані про результати впровадження BIM технології можуть відрізнятися, але в середньому вони свідчать про те, що це підвищує економічну ефективність інвестиційно-будівельного проєкту за всіма показниками:

- зниження кількості колізій, нестиковок у проєктній документації – до 40 %;

– прискорення процесу проєктування – до 30 %;
– скорочення втрат часу на погодження – до 80 %;
– скорочення терміну створення об'єкта – до 10 %;
– збільшення рентабельності проєкту – до 15 %;
– зниження собівартості будівництва – до 30 %.

Практична робота щодо впровадження інформаційного моделювання включає кілька етапів. Більшість компаній, які вже уявляють, що таке BIM технології в будівництві, використовують її тільки на стадії проєктування (близько 80 %), ще 15 % застосовують при будівництві і лише близько 5 % забудовників передають BIM-модель будівлі експлуатуючої організації. У цілому нині процес моделювання носить етапний характер.

BIM проєктування – це створення архітектурної 3D моделі будівлі, включаючи всі плани, розрізи та види, передбачені нормативною документацією для розділу архітектурних рішень. 3D-візуалізація – очевидна і найбільша перевага моделі BIM. Принципова відмінність нової технології від раніше використовуваних САПР: тривимірне моделювання конструкцій та поєднання графічної та неграфічної інформації.

Очевидно, що така ефективність інформаційного моделювання ЗМР привертає увагу будівельних інвесторів, генеральних підрядників, технічних замовників.

Це дає змогу ставити на порядок денний питання щодо започаткування галузевої програми розробки і створення ЗМР в інтересах організацій України та інших міністерств України, які проводять активну виробничу діяльність на морі.

Висновки. Сформульовані концептуальні шляхи впровадження цифрових інформаційних технологій як реалізації гіпотези для успішного розв'язку наукової проблеми створення конкурентоздатних ЗМР.

Література

[1] Воєнна доктрина України. Затверджено Указом Президент України від 24 вересня 2015 року № 555/2015.

[2] Управління інноваційною діяльністю підприємств та організацій морегосподарського комплексу : монографія / С.І. Бай, В.С. Блінцов, С.Д. Бушуєв, О.М. Возний, А.Ю. Гайда, І.М. Запорожець, Б.Ю. Козирь, А.В. Косенко, К.В. Кошкін, М.В. Маслак, П.Г. Перерва, І.П. Покотилов, С.С. Рижков, М.В. Фатєєв, С.К. Чернов, Л.С. Чернова, В.С. Шовкалюк, Х. Танака. Миколаїв : видавець Торубара О.С, 2013. 44 с.

TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF MARINE ROBOTICS DESIGN

Babkin H.V.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Abstract. The development of marine robotics systems is a knowledge-intensive process involving a substantial volume of work and the engagement of numerous specialists across various scientific and technical disciplines. The primary workload falls on the pre-design and initial design stages, as the limited prior application of such systems often leads to conflicting requirements in the design specifications. The use of BIM technology entails a complete shift from physical and "hybrid" modeling to mathematical modeling, integrating disparate mathematical models of individual components into a unified, comprehensive model. This technology enables simultaneous collaboration across all project disciplines, facilitating the real-time tracking of changes and the rapid retrieval of up-to-date information regarding the development process. Employing modern information technologies in the design of marine robotics systems enhances efficiency and reduces the time required for design and engineering compared to traditional design methods.

Keywords: marine robotics system; design; mathematical modeling; information technologies; BIM technology

УДК 629.58:514.752

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НОСОВИХ ОБВОДІВ КОРПУСІВ ПІДВОДНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ГАУСМОДИФІКОВАНИХ ЦИКЛОЇДАЛЬНИХ КРИВИХ

Котляр Д.В.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна
yardnight@gmail.com

Анотація. Розглянуто метод активного параметричного синтезу геометрії носових крайніх частин корпусів підводних засобів на основі гаусмодифікованих циклоїдальних кривих. Для забезпечення точності цільових габаритних розмірів корпусу (довжини c та осесиметричної ширини профілю h) застосовано компенсаційний оператор нормалізації $N = a(\pi)$, що гарантує інваріантність термінальних точок профілю. Обґрунтовано умови забезпечення класу гладкості C^3, суворої монотонності кривини та усунення розривів вищих похідних у точці спряження носового блока з циліндричною частиною міцного корпусу. Визначено вимоги до чисельно-символьного контролю валідного простору керуючих параметрів (α, σ, μ) для запобігання виникненню прихованої втрати монотонності кривини.

Ключові слова: підводні засоби, носові обводи, активний параметричний синтез, гаусмодифікована циклоїда, оператор нормалізації, кривина, клас гладкості.

Вступ. Проєктування обводів носових частин засобів підводної техніки (автономних та безпілотних підводних апаратів, глибоководних модулів, підводних суден) вимагає узгодження вимог мінімізації гідродинамічного опору руху, рівномірного розподілу зовнішнього гідростатичного тиску та раціонального розміщення внутрішнього обладнання. Традиційні канонічні геометрії (огівальні, параболічні, еліптичні обводи та криві Кармана) мають жорстко визначену залежність геометричних параметрів, що унеможливлює локальну корекцію форми без зміни загальної довжини носової частини c або осесиметричної ширини борту $R = h/2$ (радіуса міцного корпусу). Крім того, на межі спряження з циліндричною вставкою корпусу в багатьох канонічних кривих виникають стрибки кривини або розриви вищих похідних, що призводить до виникнення локальних концентраторів напружень в оболонці та стимулює передчасний відрив прикордонного шару рідини.

Мета роботи – підвищення гідродинамічної ефективності формоутворення носових обводів підводних апаратів шляхом розробки математичної моделі гаусмодифікованої циклоїдальної кривої, яка забезпечує дотримання термінальних умов у заданих габаритах, C^3-гладкість спряження з циліндричною частиною корпусу та сувору монотонність розподілу кривини.

Основна частина

Математична модель. Для досягнення мети та подолання зазначених недоліків запропоновано застосування сімейства гаусмодифікованих циклоїдальних кривих. Параметричні рівняння твірної носового обводу підводного засобу мають вигляд:

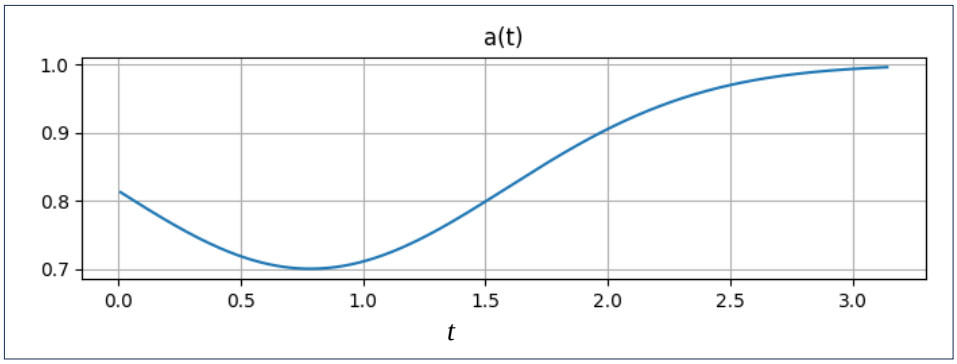
$$x(t) = \frac{c}{\pi}\frac{a(t)}{N}(t - \sin t),\ y(t) = \frac{h}{2}\frac{a(t)}{N}(1 - \cos t),\ t \in [0, \pi],$$

де c – довжина носової крайньої частини; $h = 2R$ – діаметр міцного корпусу; $a(t) = 1 + g(t) = 1 + \alpha \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$ – локальний гаусівський модифікатор (α – амплітуда, σ – ширина локалізації, μ – положення піку модифікації) [2–4]. Для збереження фіксованих термінальних габаритів корпусу при довільних значеннях параметрів Гауса (α, σ, μ) введено оператор нормалізації:

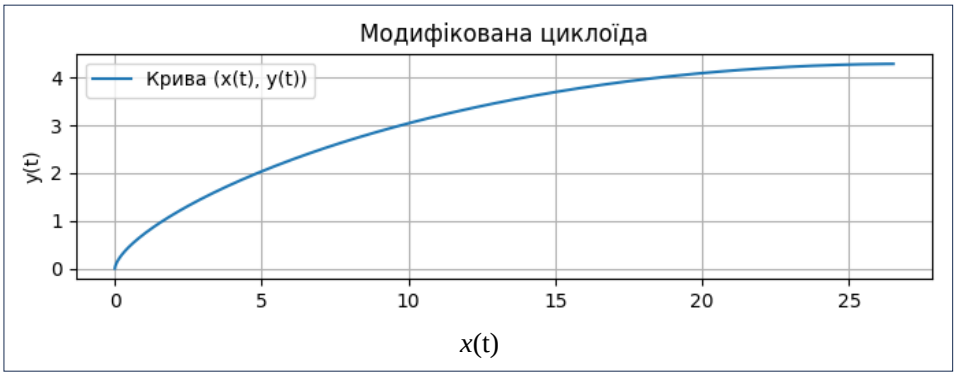
$$N = a(\pi) = 1 + \alpha \exp\left(-\frac{(\pi-\mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

Завдяки оператору N суворо виконуються термінальні граничні умови: початкова точка на осисиметричній вісі (в діаметральній площині) у початку координат $x(0) = 0$, $y(0) = 0$, тоді як кінцева точка стику $x(\pi) = c$, $y(\pi) = h/2 = R$, що забезпечує інваріантність зовнішнього габариту корпусу [1].

Диференціально-геометричний аналіз гладкості та кривини. Для забезпечення високих гідродинамічних та міцнісних характеристик носового обводу досліджено диференціальні параметри твірної. Встановлено, що за умови безперервності функції модифікатора $a(t)$ на інтервалі $[0, \pi]$ (рис. 1, *а*), отриманий профіль забезпечує гладкість класу C^3 вздовж всієї твірної обводу корпусу (рис. 1, *б*).



а)



б)

Рисунок 1 – Геометричні характеристики модифікованої циклоїди при $\alpha = -0.3$; $\sigma = 0.8$; $\mu = \pi/4$
а) – функція гаусівського модифікатора $a(t)$*; б) – крива обводу корпусу в параметричних координатах*

Аналіз першої похідної отриманої кривої обводу $\dot{y}(t)$, графік якої зображено на рис. 2, гарантує дотримання умови неспадності ординати $\dot{y}(t) \geq 0$, що виключає появу зворотних заломів та западин на корпусі [5].

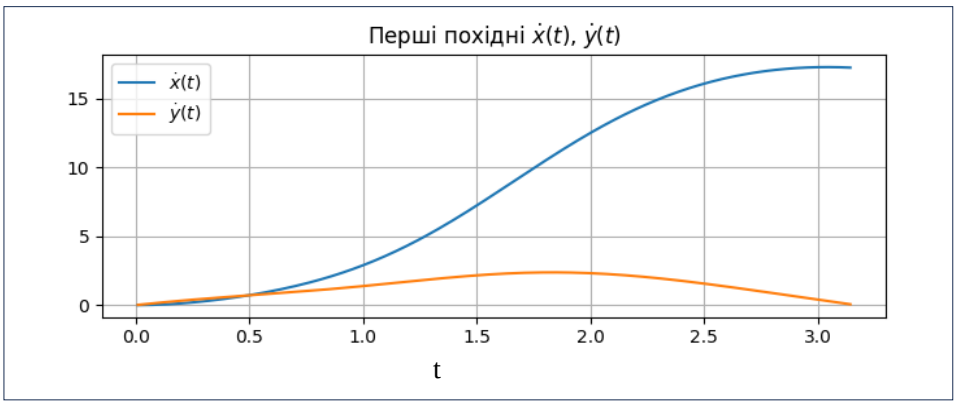


Рисунок 2 – Похідні параметричної кривої обводу корпусу

Кут нахилу дотичної на носовому штевні $t \to 0+$ прямує до заданого загострення, а у точці спряження з циліндром $t = \pi$ кут нахилу дотичної дорівнює нулю ($\dot{y}(t) = 0$) або заданому значенню, що гарантує гладкий беззламний перехід до циліндричної частини корпусу. Для усунення локальних зон підвищених напружень в оболонці під дією зовнішнього тиску та запобігання хвильовим обуренням рідини висунуто вимогу суворої монотонності кривини $\dot{k}(t) \leq 0$ на інтервалі $t \in (0, \pi)$ (рис. 3).

Порушення цієї умови призводить до виникнення прихованої втрати монотонності, що вимагає чисельно-символьного контролю меж валідного простору параметрів модифікації (α, σ, μ), встановлення якого буде висвітлено у наступних роботах автора.

Висновки

1. Сформовано параметричну математичну модель твірної носового обводу підводного апарата на основі гаусмодифікованої циклоїди із застосуванням компенсаційного оператора нормалізації $N = a(\pi)$, що аналітично гарантує суворе дотримання цільових габаритних розмірів (довжини c та ширини обводу борту h) незалежно від варіації конфігураційних параметрів Гауса (α, σ, μ).

2. Обґрунтовано умови забезпечення C^3 – класу гладкості профілю, що усуває розриви вищих похідних і стрибки кривини на межі спряження носового блока з циліндричною частиною міцного корпусу (де $\dot{y}(t) = 0$), запобігаючи появі локальних концентраторів напружень в оболонці та передчасному відриву прикордонного шару рідини.

3. Визначено диференціально-геометричні критерії неспадності ординати ($\dot{y}(t) \le 0$) та суворої монотонності розподілу кривини ($\dot{k}(t) \le 0$) для чисельно-символьного контролю валідного простору параметрів (α, σ, μ), що унеможливлює виникнення ефекту прихованої втрати монотонності та забезпечує сприятливий градієнт тиску вздовж обводу.

Література

[1] Котляр Д.В. Нормалізація параметричних рівнянь гаусівсько-модифікованих циклоїдальних кривих. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2026. Вип. 110. С. 128–138. DOI: https://doi.org/10.32347/0131-579X.2026.110.128-138.

[2] Аушева Н.М., Каленюк О.В., Сидоренко Ю.В. Побудова замкнених гладких кривих інтерполяційним поліномом Гауса. *Сучасні проблеми моделювання*. 2024. Вип. 26. С. 21–28. https://doi.org/10.33842/2313125X-2024-26-21-28 .

[3] Al-Nahhal, I., Dobre, O.A., Basar, E., Moloney, C., & Ikki, S. (2019). A Fast, Accurate, and Separable Method for Fitting a Gaussian Function. *IEEE Signal Processing Magazine*, 36 (6), 157–163. https://doi.org/10.1109/MSP.2019.2927685.

[4] Liu, W., & Wang, B. (2019). A modified approximate method based on Gaussian radial basis functions. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 100, 256–264. https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2018.05.012.

[5] Котляр Д.В., Козловський А. В. Параметричне керування градієнтом радіуса гаусівсько-модифікованих циклоїдальних профілів. *Сучасні проблеми моделювання*. 2026. Вип. 29. С. 175–183. https://doi.org/10.33842/2313-125X-2026-29-175-183.

PARAMETRIC SYNTHESIS OF BOW CONTOURS FOR UNDERWATER VEHICLE HULLS BASED ON GAUSSIAN-MODIFIED CYCLOIDAL CURVES

D. V. Kotliar

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A method of active parametric synthesis of the bow extremity geometry for underwater vehicle hulls based on Gaussian-modified cycloidal curves is considered. To ensure the accuracy of the target overall dimensions of the hull (length c and breadth h), a compensatory normalization operator N = a(π) is introduced, guaranteeing the invariance of the profile terminal points. The conditions for providing a C^3 smoothness class, strict curvature monotonicity, and the elimination of higher derivative discontinuities at the junction point of the bow block with the cylindrical section of the pressure hull are substantiated. Requirements for numerical-symbolic control of the valid parameter space (α, σ, μ) to prevent the occurrence of hidden loss of curvature monotonicity are established.

Keywords: underwater vehicles, bow contours, active parametric synthesis, Gaussian-modified cycloid, normalization operator, curvature, smoothness class.

УДК 629.5.01

АНАЛІЗ ШВИДКІСНИХ ЧОВНІВ ДЛЯ ВНУТРІШНІХ ВОДОЙМ І РОЗРОБКА СТАТИСТИЧНОЇ МЕТОДИКИ ДЛЯ ПОЧАТКОВОЇ РОЗРОБКИ ЇХ ПРОЄКТІВ

Кротов О.І.,
кандидат технічних наук, доцент
krotoff2015@gmail.com
Костюк О.В.,
аспірант
Oleksiy.kostiuk@gmail.com
Астахова А.О.,
старший викладач
alina.astakhova@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проведено аналіз проєктних характеристик швидкісних прогулянкових човнів для внутрішніх водойм продукції сучасних зарубіжних верфів, отримані статистичні залежності, які можуть бути покладені в основу методики визначення водотоннажності, головних розмірів та інших характеристик таких човнів.

Ключові слова: швидкісні прогулянкові човни, обмежена осадка, головні розміри і характеристики.

Вступна частина Попит на створення швидкісних прогулянкових човнів з обмеженою осадкою, здатних використовуватися на внутрішніх водоймах нашої держави для відпочинку, туризму та інших цілей, у наш час є незмінним. Тому створення методики початкового проєктування суден такого типу залишається актуальною задачею.

Мета роботи. Проведення аналізу головних розмірів і характеристик сучасних швидкісних прогулянкових човнів та розробка на основі статистичних даних по цим суднам методики проєктних розрахунків на початковій стадії.

Основна частина. При розробці проєктів швидкісних прогулянкових човнів для внутрішніх водойм ключову роль відіграє аналіз базових моделей, які є статистичною основою для проєктних розрахунків. Основними критеріями вибору у даному випадку таких човнів є мінімальна осадка, достатня остійність, стійкість і плавність ходу при русі у мілководних руслах, мала вага і технологічність корпусу, забезпечення комфортних умов під час прогулянки, економічність енергетичної установки.

Нижче наведено аналіз характеристик так званих “skiff”-човнів верфі Hell’s Bay Boatworks (США), яка випускає швидкісні човни з малою осадкою [1].

1. Модель Waterman 18: довжина 18 ft (≈ 5, м), вага 610 lb (≈ 277 кг) повністю споряджена, осадка 4½″ (~11 мм) (рис. 1).



Рисунок 1 – Вид збоку катера

2. Модель Glades Skiff: довжина 17'8″ (≈ 5, м), вага 440 lb (≈ 200 кг),
корпус із Carbon/Innegra, вакуумна інфузія, 100 % Vinyl ester resin.

Перевагами таких човнів є надзвичайно мала осадка при експлуатації в річках, мілководних каналах. Крім того, вони мають дуже легку конструкцію корпусу (вага ~200 кг).

Катери верфі Beavertail Skiffs (США) [2].

1. Модель Elite 17: довжина 17'8″ (~5, м), ширина 72″ (~1,8 м), осадка 7+ in (~17 мм), потужність 70-90 HP (рис. 2).



Рисунок 2 – Вид збоку катера

2. Модель Vengeance 18: довжина 18' (~5, м), ширина 82″ (~2,0 м), осадка 7+ in, потужність до 115 HP [3] (рис.3). Корпус цих моделей ширший з підвищеною остійністю, з Carbon Kevlar (вакуумна інфузія) [3,4] .



Рисунок 3 – Вид збоку катера та на ніс

На основі проведеного аналізу по сучасних глісуючих човнах класу *skiff* та інших моделей, призначених для експлуатації на внутрішніх водоймах і мілководді, було розглянуто сім моделей зазначених виробників (табл. 1).

Таблиця 1 – Статистичні дані по швидкохідним човнам

	Найменування	**Довжина, м**	**Ширина, м**	**Висота борту, м**	**Маса (Gross weight), кг**	**Пасажиромісткість, осіб**	**Вантажопідйом-ність, кг**	**Потужність двигуна, HP**	**Висота трання**	**Кілеватість на транці, град**	**Кілеватість на міделеі, град**	**Осадка, м**	**Паливний бак, л**	**Максимальна швидкість, вуз**
1	Hell’s Bay *Waterman 18*	5,5	1,73	0,35	277	3	200	70	0,30	2	5	0,11	50	40
2	Hell’s Bay Glades Skiff 17	5,0	1,47	0,36	200	3	150	30	0,33	8	12	0,1	45	30
3	Beavertail Skiffs Elite 17	5,38	1,83	0,51	272	4	160	70	0,50	0	2	0,18	75,7	40
4	Beavertail Skiffs Vengeance 18	5,49	2,08	0,66	340	4	200	115	0,51	10	12	0,18	75,7	40
5	East Cape *EVO 17*	4,97	1,77	0,61	318	4	150	90	0,51	14	14	0,23	150	43
6	Drake Nomad 2.0	5,49	1,88	0,52	150	4	200	40	0,51	4	4	0,2	79,5	30
7	Drake *Outlaw*	5,26	1,50	0,41	150	3	200	40	0,38	2	2	0,15	57	28

Порівняння технічних характеристик і конструктивних особливостей моделей човнів в табл.1 дало можливість визначити переваги та недоліки кожної моделі з точки зору їх придатності до умов річкової експлуатації в Україні і обрати конструкцію корпусу типу «Глибоке V».

Наведені в табл. 2 дані дають можливість отримати статистичні залежності, які можуть бути покладені в основу методики визначення водотоннажності, головних розмірів, коефіцієнта загальної повноти та інших характеристик човнів.

Таблиця 2 – Головні розміри і характеристики швидкісних човнів

№ з/п	Проєкт	East Cape *EVO* 17	Hells Bay Glades Skiff 17	Drake *Outlaw*	Beavertail Skiffs *Elite* 17	Beavertail Skiffs Vengeance 18	Drake *Nomad* 2.0	Hells Bay *Waterman* 18
1	Довжина найбільша, $L_н$,м	4.97	5.0	5.26	5.38	5.49	5.49	5.5
2	Ширина найбільша, $B_н$,м	1.77	1.47	1.50	1.83	2.08	1.88	1.73
3	Відношення $L_н/B_н$	2.81	3.40	3.51	2.94	2.64	2.92	3.18
4	Висота борту на міделі, $D_м$, м	0.41	0.36	0.41	0.51	0.66	0.52	0.35
5	Довжина по КВЛ, $L_{квл}$, м	3.93	3.95	4.05	4.14	4.23	4.23	4.35
6	Відношення $L_н/L_{квл}$	1.265	1.266	1.300	1.300	1.300	1,300	1,279
7	Ширина по КВЛ, $B_{квл}$, м	1.55	1.29	1.32	1.61	1.83	1.65	1.52
8	Відношення $L_{квл}/B_{квл}$	2.53	3.06	3.07	2,57	2.31	2.56	2.86
9	Осадка, d, м	0,15	0,10	0,10	0,12	0,14	0,12	0,115
10	Відношення $B_{квл}/d$	10.33	12,9	13.2	13.4	13.1	13.75	13.22
11	Добуток $L_{квл}\cdot B_{квл}\cdot d$, м^3	0.914	0.510	0.535	0.800	1.084	0.838	0.760
12	К-т загальної повноти C_B	0.51	0.65	0.65	0.54	0.50	0.42	0.63
13	Водотоннажність об'ємна $V=\gamma\ L_{квл}\cdot B_{квл}\cdot d\ C_B$, γ=1, м^3	0.468	0.350	0.350	0.432	0.540	0.350	0.477
14	Водотоннажність, Δ, т	0.468	0.350	0.350	0.432	0.540	0.350	0.477
15	Маса корпусу з обладнанням, $P_{коб}$, кг	277	200	150	272	340	150	277
16	Відношення $\eta_{об} = P_{коб}/\Delta$	0,592	0,571	0,429	0,630	0,63	0,430	0,581
17	Корисний вантаж, $P_к$, кг	200	150	200	160	200	200	200
18	Відношення $\eta_к = P_к/\Delta$	0,427	0,428	0,570	0,370	0,370	0,570	0,419
19	Пасажиромісткість, осіб	4	3	3	4	4	4	3
20	Потужність ПМ, к.с.	90	30	40	70	115	40	70
21	Максимальна швидкість, вуз	43	30	28	40	40	30	40

Характеристикою зазначеної методики, яка задається, є корисний вантаж $P_к$.

1. Визначається водотоннажність катера за залежністю

$$\Delta = P_к/\eta_к,$$

де – коефіцієнт «корисного вантажу», $\eta_к = P_к/\Delta$, який отриманий статистичною обробкою даних в табл.2:

$$\eta_к = -2E\text{-}07\ P_к^3 + 0.0001\ P_к^2 - 0.0298\ P_к + 2.916\ R^2 = 1 \quad (1)$$

Маса корпусу з обладнанням, кг, визначиться як $P_{коб} = \Delta\cdot(1 - \eta_к)$.

2. Визначається довжина найбільша $L_н$ катера через водотоннажність Δ по формулі

$$L_н = -10.686\ \Delta^2 + 11.405\ \Delta + 2.4473.\ R^2 = 0.75 \quad (2)$$

3. Визначається ширина найбільша катера

$$B_н = L_н/(L_н/B_н),$$

де $L_н/B_н$ – відношення довжини найбільшої до ширини найбільшої, яке визначається по отриманій формулі:

$$L_н/B_н = -4.2622\ L_н^2 + 43.517\ L_н - 107.61\ldots R^2 = 0.75 \quad (3)$$

4. Висота борту на міделі визначається по формулі:

$$D_м = 0.314\ L_н^2 - 2.9356\ L_н + 7.1856\ R^2 = 0.92 \quad (4)$$

5. Визначається довжина катера по КВЛ :

$$L_{квл} = L_н/(L_н/L_{квл}),$$

де $L_н/L_{квл}$ – отримане відношення довжини найбільшої до довжини по КВЛ

$$L_н/L_{квл} = -0.2233\ L_н^2 + 2.4055\ L_н - 5.1767\ R^2 = 0.999 \quad (5)$$

6. Ширина катера по КВЛ визначається по формулі

$$B_{квл} = L_{квл}/(L_{квл}/B_{квл}),$$

де $L_{квл}/B_{квл}$ – отримане відношення довжини по КВЛ до ширини по КВЛ:

$$L_{квл}/B_{квл} = 66.873L_{квл}^{3}-824.64L_{квл}^{2} + 3386.1L_{квл} – 4627.1\ R^2 = 0.894 \quad (6)$$

7. Визначається осадка катера за залежністю

$$d = B_{квл}/(B_{квл}/d),$$

де $B_{квл}/d$ – відношення ширини по КВЛ до осадки:

$$B_{квл}/d = -5.2746\ B_{квл}^{2} + 16.629\ B_{квл} + 0.3254\ R^2 = 0.820 \quad (7)$$

8. Визначення коефіцієнта загальної повноти по формулі

$$C_B = \Delta/(\Delta/C_B),$$

де Δ/C_B – відношення водотоннажності до коефіцієнта загальної повноти

$$\Delta/C_B = 2.8392\ \Delta – 0.4452…R^2 = 0.9964 \quad (8)$$

Висновки. Наведені статистичні залежності (1–8) для розрахунку основних розмірів і коефіцієнта загальної швидкохідних човнів можуть бути використані при розробці їх проєктів у першому наближенні.

Література

[1] Офіційний сайт компанії Hell’s Bay Boatworks. [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.hellsbayboatworks.com/skiffs/

[2] Офіційний сайт компанії Beavertail Skiffs. [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.beavertailskiffs.com/models/

[3] Офіційний сайт компанії East Cape Boats [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://eastcapeboats.com/model/17-evo/

[4] Офіційний сайт компанії Drake Boatworks [Електронний ресурс]:. Режим доступу: https://www.drakeboatworks.com/nomad/

ANALYSIS OF HIGH-SPEED BOATS FOR INLAND WATERS AND DEVELOPMENT OF A STATISTICAL METHODOLOGY FOR THEIR PRELIMINARY DESIGN.

Krotov O. I., Kostiuk O. V., Astakhova A. O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An analysis of the design characteristics of high-speed recreational boats for inland waters produced by modern foreign shipyards was conducted. Statistical relationships were derived that can serve as the basis for a methodology to determine the displacement, principal dimensions, and other characteristics of such boats.

Keywords: high-speed recreational boats, inland waters, restricted draft, principal dimensions and characteristics.

УДК 629.5.012

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ МАЛИХ ГЛІСУЮЧИХ КАТЕРІВ

Пікуш Ю.С.,
аспірант
pikushyuriy@gmail.com

Пащенко Ю.М.,
к.т.н., доцент
yurii.pashchenko@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна, м. Миколаїв

Анотація. Розглянуто актуальні проблеми концептуального проєктування малих глісуючих катерів довжиною від 6 до 1 метрів. Сформульовано мету та визначено послідовність етапів наукового дослідження, спрямованого на розробку методу оптимізації головних елементів та характеристик із урахуванням показників функціональної та економічної ефективності катера.

Мета дослідження. Розробка науково обґрунтованого методу визначення оптимальних основних елементів і характеристик катера на початкових стадіях його проєктування з урахуванням максимізації комбінації показників функціональної та економічної ефективності.

Ключові слова: концептуальне проєктування; глісуючий катер; ходовість; аналітичне дослідження.

Основна частина.

За останній час виникла необхідність у створенні високошвидкісного катера який міг би використаний для потреб прикордонної служби, рибоохорони, поліції, ДСНС, Державного агентства водних ресурсів, як службовий та ін.

Вибір форми корпусу таких катерів являє собою дуже складну задачу, пов'язану з забезпеченням необхідної ходовості і мореплавності судна при високих швидкостях руху, а також безпеки мореплавання [1].

Об'єктом дослідження є вдосконалення способів вибору оптимальних основних елементів та показників малих суден, а **предметом** – визначення оптимальних головних елементів катера на початкових стадіях його проєктування з урахуванням максимізації функціональної та економічної ефективності.

За останній час в розвитку інженерії з'явилось нове явище – концептуальне проєктування – вид творчої діяльності, задача якого – створення електронної моделі судна і на її основі реалізація життєвого циклу створеного судна.

Методи концептуального проєктування розроблені професором В.О. Нєкрасовим [3] на основі ймовірнісного підходу до вирішення задач функціонального призначення суден, оптимізації їх характеристик з метою подальшого ефективного використання на часових інтервалах створення та функціонування.

Залежно від типу функціональних операцій на етапах виробництва суден та їх цільового використання вводяться концепції продукт-орієнтованого та системно-орієнтованого проєктування.

У першому напрямі увага приділяється розгляду операцій, пов'язаних із створенням судна та підтримкою його життєвого періоду як продукту виробництва, його сервісному обслуговуванню, ремонту та утилізації судна.

У другому – дослідженню операцій функціонування судна як складної системи, що реалізує своє призначення на інтервалах продуктивної частини життєвого періоду судна.

Аналіз стану та формування бази даних. Аналіз первинних статистичних даних по катерам останніх років будови дає уявлення про співвідношення між їх головними елементами [2, с. 4]. Результати такого аналізу наведені нижче.

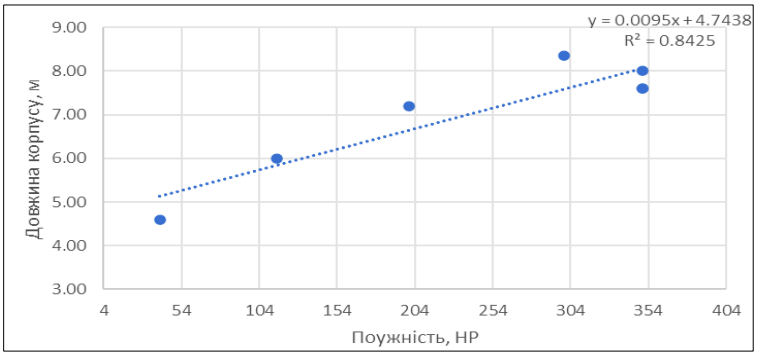


Рисунок 1 – Залежність довжини від потужності двигуна катера

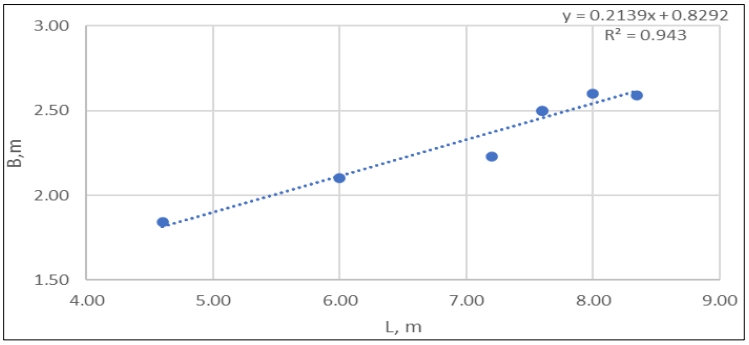


Рисунок 2 – Залежність ширини B від довжини L

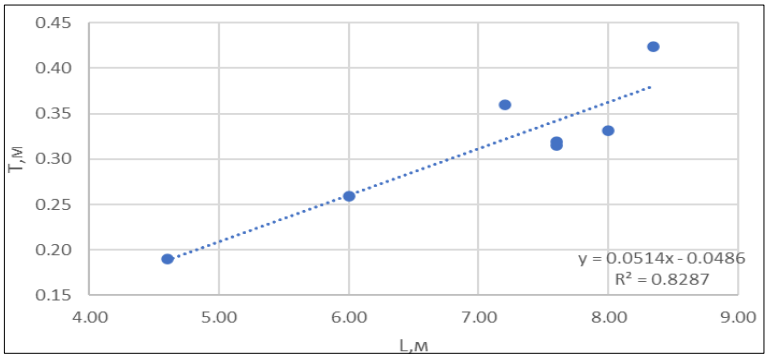


Рисунок 3 – Залежність осадки T катеру від довжини L

Для досягнення поставленої мети планується вирішити такі завдання.

Продукт-орієнтоване проєктування. На етапах продукт-орієнтованого проєктування основна увага приділяєть-ся оцінці вартості матеріальних та виробничих затрат, що приймають участь у будівництві. Вони більш детально визначаються за допомогою співвідношень для оцінки їх вартості які допомагає побудувати система структурного підрозділу суднобудівних робіт ESWBS [4].

Система ESWBS (Extended Ship Work Break down Structure), що використовується у США для стандартизації робіт на суднобудівних верфях, поділяє масу судна на категорії.

Для визначення обсягу проєктних робіт та планування виробництва використовується система ECER (Empirical Cost Estimation Relationships) – система емпіричних залежностей для оцінки вартості робіт. ECER дозволяє спрогнозувати вартість будівництва нового судна на основі попереднього досвіду будівництва та експлуатації однотипних суден. Вона створюється за допомогою статистичного аналізу та спирається на систему розбиття маси судна на групи ESWBS. Для каждої групи розробляються регресивні рівняння.

На рівні концептуального проєкту вартість прогулянкового катера визначається як [3]:

$$P = CF \cdot A \cdot D^b \cdot v^c_s,$$

де A, b, c – коефіцієнти, що визначаються за допомогою регресійного аналізу продукції верфей; ці показники залежать від водотоннажності катера; CF – це коефіцієнт складності будівництва $CF = TF \cdot DF$, $CF = 2$.

$DF = 32{,}47D^{-0{,}3792}$ – коефіцієнт розміру, D – водотоннажність катера,

Систем-орієнтоване проєктування катеру на інтервалах часу його ефективного використання. Тут розглядаються операції, пов'язани із використанням судна за призначенням. Вони розосереджуються по областям, які називаються умовними просторами функціонування або віртуальними просторами.

Моделі віртуальних просторів експлуатації катера. Віртуальний простір експлуатації судна під час використання та призначення формується географічним середовищем експлуатації і середовищами погодних умов району експлуатації та виробничо-фінансових зв'язків процесів створення та експлуатації.

Географічний простір операцій катера. Середовище експлуатації визначається районом дії судна і відстанню між портами призначення.

Простір погодних умов району експлуатації. Основними характеристиками простору є погодні умови: інтенсивність морських течій, вітру та хвиль. Вони є випадковими функціями часу і положення катеру під час транспортних операцій. Їх аналіз виконується в класі стаціонарних випадкових функцій.

Зміна інтенсивностей вітрового і хвильового впливів на інтервалі часу виз начається за допомогою довготривалих (режимних) розподілів. Зазвичай використовують закон Вейбулла і Логнормальний розподіл інтенсивностей впливів вітру, vв і хвиль, h3 %, які будуються на основі статистичних даних.

Простір виробничих відносин робочого процесу. Цей віртуальний простір визначається типами основних функціональних операцій катера і портових служб. Головною функціональною операцією є службовий (круговий) рейс.

Модель інженерно-навігаційних якостей катера. Вона визначає особливості його функціонування як комплексної системи. Ці якості, у свою чергу, представлені набором характеристик, які залежать від основних елементів.

До інженерних якостей катера відносяться якості місткості та міцності. До навігаційних – такі морехідні якості катера, як плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість та морехідність.

Модель функціональних операцій катера. У зв'язку з випадковим характером вітрохвильових впливів на катер під час його експлуатації, а також випадковим характером реалізації основної функції катера необхідно використовувати інструменти теорії ймовірності.

При ймовірнісному підході до дослідження операцій, характеристики операцій можуть бути знайдені за допомогою теорії випадкових подій та за допомогою теорії випадкових функцій.

Теорія випадкових подій дає змогу знайти характеристики надійності. При цьому використовуються теореми додавання та множення ймовірних випадкових подій, що супроводжуються функціональними операціями катера.

Характеристики ефективності визначаються за теорією випадкових функцій, що дає змогу побудувати перетворення випадкових функцій, що представляють людські, матеріальні та фінансові ресурси операцій та час їх реалізацій.

Комплексні показники ефективності та надійності катера. Інтегровані характеристики ефективності та надійності представлено формулою, яка характеризує прибуток від експлуатації катера протягом його життєвого періоду і є також цільовою функцією оптимізаційної задачі, що максимізується.

Формулювання оптимізаційної проблеми визначення головних:

розмірів катера. Основною задачею при проєктуванні катера є вибір головних розмірів та коефіцієнту повноти δ. їх необхідно визначити таким чином, щоб спроєктований катер задовольняв проєктному завданню.

Оптимізаційні критерії – це екстремальні значення цільової функції.

У процесі пошуку оптимального проєктного рішення рухомий морський об’єкт зазнає серію «занурень» в середовище його існування протягом періоду його життя, виконаних за допомогою імітаційного моделювання, де реалізовані основні операції експлуатації об’єкту. Протягом «занурення» показники ефективності та надійності визначають рівні адаптації об’єкту до середовища існування і здатність ефективно виконувати базовий набір функціональних операцій.

Висновки

Реалізація запланованого комплексу досліджень дозволить суттєво знизити невизначеність на ранніх етапах проєктування, підвищити техніко-економіч-ну ефективність малих глісуючих катерів та забезпечити їхню адаптацію до реальних умов експлуатації.

Література

[1] Пащенко Ю.М., Пікуш Ю.С. Про розробку концептуального проєкту універсальної глісуючої платформи. *Сучасні технології проєктування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд* : Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. 17–18 травня 2023 р. Миколаїв, НУК, 2023. С. 59–64.

[2] Норов Д.В., Пащенко Ю.М. Про розробку проєкту прогулянкового глісуючого катеру. *Сучасні технології проєктування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд* : Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. 15–16 травня 2024 р. Миколаїв, НУК, 2024. С. 31–38.

[3] Nekrasov V. (2019) Conceptual Designing of Ships: monograph (2019) / Valeriy Nekrasov. Kyiv-Kherson : Oldi-Plus. 112 p. (in English). ISBN 978-966-289-342-7

[4] Naval Ship Engineering Center, Ship Work Breakdown Structure. Washington, D.C. : Naval Sea Systems Command. Document No. NAVSEA 0900-LP-039-9010, 1977.

TITLE OF THE REPORT- PROBLEM FORMULATION FOR THE CONCEPTUAL DESIGN OF SMALL PLANING BOATS

Yuriy S. Pikush, Yuriy M. Pashchenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,

Abstract. Current issues regarding the conceptual design of small planing boats ranging from 6 to 1 meters in length are examined. The objective is formulated, and the sequence of stages for a research study aimed at developing a method to optimize key elements and characteristics–while accounting for functional and economic efficiency metrics–is defined.

Keywords: conceptual design; planing boat; running performance; analytical study.

УДК 629.5.012

ПРО КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЗЕРНОВОЗУ

Ратуш А.Ю.,
магістрантка
annaratush85@gmail.com
Пащенко Ю.М.,
к.т.н., доцент
yurii.pashchenko@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна.

Анотація. Розглянуто актуальні проблеми концептуального проєктування середньотоннажного зерновозу. Сформульовано мету та визначено послідовність етапів наукового дослідження, спрямованого на оптимізацію головних елементів та характеристик із урахуванням показників функціональної та економічної ефективності судна.

Мета дослідження. Вдосконалення процесу проєктування балкерів за допомогою принципово нової методики визначення їх головних елементів на початкових стадіях проєктування, а саме

– розгляд всього комплексу функціональних операцій балкера за схемою послідовних рейсів;
– визначення характеристик цих операцій на основі використання сучасних ймовірнісних методів дослідження операцій;
– здійснення вибору необхідного критерію ефективності функціональних операцій балкера для подальшого успішного вирішення завдань вибору його головних розмірів і характеристик.

Ключові слова: Mini-Bulk / Small Handysize, концептуальне проєктування; зерновіз; аналітичне дослідження.

Основна частина. Вибір проєктного рішення судна складає основні дослідження сукупності операцій, що реалізуються у процесі проєктування, будівництва, обслуговування та використання судна за призначенням.

Процеси створення та використання судна за призначенням називають процесами його функціонування, а операції, що це супроводжують, функціональними операціями. Вони організовуються таким чином, щоб призначення судна було досягнуто з найбільшим позитивним ефектом.

Ухвалення рішень при проєктуванні судна стає тим успішнішим, чим докладніше досліджуються його функціональні операції і на цій основі формують- ся критерії ефективності функціональних операцій, за допомогою яких приймаються рішення про вибір головних розмірів створюваних суден.

З сукупності величин, що підлягають визначенню при розробці проєкту судна, виділяються – головні розміри L, B, T, H і коефіцієнти повноти α, β, δ.

Їх значення визначаються на ранніх етапах проєктування. Інші елементи і судна: водотоннажність D, потужність СЕУ N, вантажомісткість Wв, залежать від основних елементів і можуть бути знайдені на наступних стадіях.

За останній час в розвитку інженерії з’явилось нове явище – концептуаль-не проєктування – вид творчої діяльності, задача якого – створення електронної моделі судна і на її основі реалізація життєвого циклу створеного судна.

Методи концептуального проєктування розроблені професором В.О. Нєк-расовим [1] на основі ймовірнісного підходу до вирішення задач функціонального призначення суден, оптимізації їх характеристик з метою подальшого ефективного використання на часових інтервалах створення та функціонування.

Залежно від типу функціональних операцій на етапах виробництва суден та їх цільового використання вводяться концепції продукт-орієнтованого та системно-орієнтованого проєктування.

У першому напрямі увага приділяється розгляду операцій, пов’язаних із створенням судна та підтримкою його життєвого періоду як продукту виробництва, його сервісному обслуговуванню, ремонту та утилізації судна.

У другому – дослідженню операцій функціонування судна як складної системи, що реалізує своє призначення на інтервалах продуктивної частини життєвого періоду судна.

3D модель судна. Вона отримана шляхом двох-етапної трансформації 3D моделі прототипу балкера в розміри: L=127. м, B=23. м, d=7. м, D = 9. м,

Cb = 0.745, Cm =0.98.

Продукт-орієнтоване проєктування. На етапах продукт-орієнтованого проєктування оцініються вартість матеріальних та виробничих затрат у будівництві. Вони визначаються за допомогою співвідношень для їх оцінки які визначає система структурного підрозділу суднобудівних робіт ESWBS [2].

Система ESWBS (Extended Ship Work Break down Structure), що використовується у США для стандартизації робіт на суднобудівних верфях, поділяє масу судна на категорії.

Для визначення обсягу проєктних робіт та планування виробництва використовується система ECER (Empirical Cost Estimation Relationships) – система емпіричних залежностей для оцінки вартості робіт. ECER дозволяє спрогнозу- вати вартість будівництва нового судна на основі попереднього досвіду будівництва та експлуатації однотипних суден. Вона створюється за допомогою статистичного аналізу та спирається на систему розбиття маси судна на групи ESWBS. Для каждої групи розробляються регресивні рівняння.

На рівні концептуального проєкту вартість визначається як [1]: $P = CF \cdot A \cdot D^b \cdot v^c_s$ де A, b, c, C – коефіцієнти, що визначаються за допомогою регресійного аналізу продукції верфей; ці показники залежать від водотоннажності; CF – це коефіцієнт складності будівництва $CF = TF \cdot DF$, $TF = 2$. DF = 32,47 × (Weightfull)^(– 0.3792).– коефіцієнт розміру, Weighti00 – маса розділу SWBS, що визначається за статистичними даними у % по відношенню до водотоннажності судна в повному вантажі Weightfull

Систем-орієнтоване проєктування балкеру на інтервалах часу його ефективного використання. Операції, пов’язані із використанням судна за призначенням, розосереджуються по областям, які називаються умовними просторами функціонування або віртуальними просторами.

Моделі віртуальних просторів експлуатації. Віртуальний простір експлуатації судна формується географічним середовищем експлуатації і середовищами погодних умов району експлуатації та виробничо-фінансових зв’язків процесів створення та експлуатації.

Географічний простір операцій. Середовище експлуатації визначається районом дії судна і відстанню між портами.

Судно призначено для перевозки пшениці з порту Південний, до порту Александрія (Єгіпет). Відстань між портами не перевищує 106 миль.

Простір погодних умов району експлуатації. Основними характеристиками простору є погодні умови: інтенсивність морських течій, вітру та хвиль. Вони є випадковими функціями часу і положення судна під час транспортних операцій. Їх аналіз виконується в класі стаціонарних випадкових функцій.

Зміна інтенсивностей вітрового і хвильового впливів на інтервалі часу визначається за допомогою довготривалих (режимних) розподілів. Зазвичай використовують закон Вейбулла і Логнормальний розподіл інтенсивностей впливів вітру, vв і хвиль, h3 %, які будуються на основі статистичних даних.

Результати розрахунку додаткового хвильового опору зроблені в Maxsurf Motion (Havelok) [3]. свідчать про те, що на хвилюванні інтенсивністю до 6 балів включно судно може здійснювати хід і в граничному випадку утримуватися назустріч вітру і хвилюванню, не дрейфуючи у бік берегової межі.

Простір виробничих відносин робочого процесу. Цей віртуальний простір визначається типами основних функціональних операцій катера і портових служб. Головною функціональною операцією є службовий (круговий) рейс.

Модель інженерно-навігаційних якостей судна. Ці якості представлені набором характеристик, які залежать від основних елементів. До інженерних якостей відносяться – місткість та міцність. До навігаційних – плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість та морехідність.

Модель функціональних операцій. При ймовірнісному підході до дослідження операцій, характеристики операцій можуть бути знайдені за допомогою теорії випадкових подій та за допомогою теорії випадкових функцій.

Теорія випадкових подій дає змогу знайти характеристики надійності. При цьому використовуються теореми додавання та множення ймовірних випадкових подій, що супроводжуються функціональними операціями.

Характеристики ефективності визначаються за теорією випадкових функцій,

що дає змогу побудувати перетворення випадкових функцій, що представляють людські, матеріальні та фінансові ресурси операцій та час їх реалізацій.

Комплексні показники ефективності та надійності. Інтегровані характеристики ефективності та надійності характеризують прибуток від експлуатації судна протягом його життєвого періоду і є також цільовою функцією оптимізаційної задачі, що максимізується.

Формулювання оптимізаційної проблеми визначення головних

розмірів балкера. У процесі пошуку оптимального проєктного рішення рухомий морський об’єкт зазнає серію «занурень» в середовище його існування протягом періоду його життя, виконаних за допомогою імітаційного моделювання, де реалізовані основні операції експлуатації об’єкту. Протягом

«занурення» показники ефективності та надійності визначають рівні адаптації об'єкту до середовища існування і здатність ефективно виконувати базовий набір функціональних операцій.

Висновки. Заплановані подальші дослідження дозволять суттєво знизити невизначеність на ранніх етапах проєктування, підвищити техніко-економічну ефективність балкерів та забезпечити їхню адаптацію до реальних умов експлуатації.

Література

[1] Nekrasov V. (2019) Conceptual Designing of Ships: monograph (2019) / Valeriy Nekrasov. Kyiv-Kherson: Oldi-Plus. 112 p. (in English). ISBN 978-966-289-342-7

[2] Naval Ship Engineering Center, Ship Work Breakdown Structure. Washington, D.C.: Naval Sea Systems Command. Doc. No. NAVSEA 0900-LP-039-9010, 1977.

[3] Maxsurf Enterprise V8i, Bentley Engineering, 2013.

TITLE OF THE REPORT – ON THE CONCEPTUAL DESIGN OF A GRAIN CARRIER

Anna Yuriivna Ratush, Yuriy Mykolayovich Pashchenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,

Abstract. Current issues regarding the conceptual design of a medium-tonnage grain carrier are examined. The objective is formulated, and the sequence of stages for the scientific research–aimed at optimizing key elements and characteristics while considering the vessel's functional and economic efficiency–is outlined.

Keywords: Mini-Bulk / Small Handysize, conceptual design; Grain Carrier; analytical study.

УДК 629.5.023

ВПЛИВ ПОЛЕГШЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НА ВІТРОВЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ ПОНТОНА ПЛАВУЧОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ПОНТОННОГО ТИПУ

Ніруманд М.М.,
аспірантка, mn.niroumand@gmail.com
Зайцев В.В.,
доктор технічних наук, професор, Zvv1949@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджено вплив зменшення власної ваги понтонної плавучої фотоелектричної платформи на її запас проти аеродинамічного підйому. Для базової та полегшеної конфігурацій поєднано стаціонарні коефіцієнти тиску для PV-поля з кутом нахилу 15° з квазістатичною моделлю поперечної рівноваги. Показано, що полегшення, сприятливе для гідростатичної остійності у спокійній воді, одночасно знижує критичний швидкісний тиск початку розвантаження навітряного понтона. Як розрахунковий критерій запропоновано умову Rw = 0, що безпосередньо пов'язує аеродинамічну дію PV-поля з реакціями плавучості.

Ключові слова: плавуча фотоелектрична система, FPV, аеродинамічна підйомна сила, розвантаження понтона, гідростатична остійність, полегшена конструкція.

Вступна частина. Плавучі фотоелектричні системи поєднують значну відкриту для вітру площу модулів із плавучою несучою системою. Для похилого PV-поля результуюча аеродинамічна сила діє приблизно нормально до поверхні модулів і має як горизонтальну, так і значну вертикальну складову. Вертикальна складова зменшує навантаження, що врівноважується силами плавучості, а при поперечному ексцентриситеті результуючої додатково створює перекидальний момент. Тому зменшення маси несучої конструкції не можна оцінювати лише за показниками остійності у спокійній воді: одночасно зменшується власна вага, яка протидіє аеродинамічному підйому.

Для двопонтонної FPV-платформи сила плавучості може створювати лише додатну реакцію при зануренні понтона і не може забезпечувати утримувальну реакцію вниз. За достатньої величини та асиметрії підйомної дії реакція навітряного понтона зменшується до нуля. У роботі цю межу прийнято як початок статичного розвантаження понтона; вона не ототожнюється з повним фізичним відривом понтона від води.

Мета роботи. Метою є визначення впливу полегшення несучої конструкції на початок розвантаження навітряного понтона під дією аеродинамічної підйомної сили та формулювання фізично обґрунтованого критерію попередньої оцінки остійності, специфічного для плавучих фотоелектричних систем.

Основна частина. Розглянуто дві існуючі конфігурації платформи однакових габаритів у плані: L = 19,33 м, B = 8,45 м, ширина кожного понтона 2,00 м, відстань від діаметральної площини до осі понтона YDP = 3,22 м. Фотоелектричне поле нахилене під кутом α = 15°. Вага базової конфігурації становить W = 383,5 кН при водотоннажності 39,09 т, а полегшеної – W = 200,8 кН при водотоннажності 20,48 т. Відповідні осадки у спокійній воді дорівнюють 0,506 та 0,26 м.

Для аеродинамічної попередньої оцінки використано стаціонарні коефіцієнти тиску з випробувань PV-масивів при α = 15°. Для найбільш несприятливого крайового розподілу модуль усередненого за площею коефіцієнта визначено як $\bar{c}p = 0{,}4 \cdot 1{,}55 + 0{,}6 \cdot 0{,}90 = 1{,}16$. Таке перенесення використовується як консервативна аеродинамічна огинаюча і не означає тотожності поля тиску наземного масиву та повної плавучої платформи [1].

За повного покриття площі у плані Aplan = L·B = 163,5 м², а площа похилого PV-поля A = Aplan/cosα = 169,2 м². Для швидкісного тиску пориву q результуючу нормальну силу та її складові визначено за залежностями:

$$Fn = q \cdot \bar{c}p \cdot A;\ Fz = Fn \cdot \cos\alpha;\ Fx = Fn \cdot \sin\alpha.$$

Для дослідженої геометрії отримано Fz/q = 189,67 кН/(кН/м²) та Fx/q = 50,82 кН/(кН/м²). Розглянуто чотири положення результуючої за шириною платформи: e = 0, B/8, B/4 та 3B/8. Такий підхід дозволяє оцінити чутливість системи до поперечної асиметрії підйомного поля, не фіксуючи наперед точне положення центра тиску.

До початку розвантаження вертикальні реакції плавучості навітряного Rw і підвітряного Rl понтонів визначаються з умов вертикальної та моментної рівноваги:

$$Rw + Rl = W - Fz;\ Rw,l = (W - Fz)/2 \mp Mw/(2YDP);\ Mw = Fz \cdot e + Fx \cdot zcp.$$

Початок розвантаження навітряного понтона задається умовою Rw = 0. Розв'язання цього рівняння відносно q дає критичний швидкісний тиск пориву qcrit. Модель є квазістатичною та лінійною до досягнення межі Rw = 0; після її переходу потрібні нелінійний гідростатичний перерахунок, урахування хвильових дій і взаємодії зі швартовною системою.

Таблиця 1 – Критичний швидкісний тиск початку розвантаження навітряного понтона

Конфігурація	**e**	**qcrit, кН/м²**
Базова	0	1,891
Базова	B/8	1,447
Базова	B/4	1,173
Базова	3B/8	0,985
Полегшена	0	0,994
Полегшена	B/8	0,761
Полегшена	B/4	0,616
Полегшена	3B/8	0,517

При e = B/4 критичний тиск зменшується з 1,173 кН/м² для базової платформи до 0,616 кН/м² для полегшеної, тобто до приблизно 52 % від базового значення. За наведеного у вихідному аеродинамічному дослідженні значення WZ3 q = 0,611 кН/м² базова конфігурація при e = B/4 зберігає реакцію навітряного понтона близько 91,8 кН, тоді як полегшена – лише близько 0,8 кН. При e = 3B/8 для полегшеної конфігурації межу Rw = 0 вже перетнуто.

Отримані результати показують, що гідростатична остійність у спокійній воді та опір вітровому підйому є конкуруючими критеріями проєктування. Полегшена конфігурація має меншу водотоннажність і більшу початкову метацентричну висоту, однак той самий процес зменшення власної ваги скорочує вертикальний запас проти підйомної сили. Визначальним параметром стає також поперечне положення центра тиску: для полегшеної конфігурації qcrit зменшується від 0,994 кН/м² при e = 0 до 0,517 кН/м² при e = 3B/8.

Висновки

1. Полегшення FPV-конструкції, сприятливе для гідростатичної остійності у спокійній воді, може істотно зменшувати запас проти аеродинамічної підйомної сили через зменшення власної ваги.
2. Для дослідженої геометрії при α = 15° та $\bar{c}p = 1{,}16$ критичний швидкісний тиск при e = B/4 становить 1,173 кН/м² для базової та 0,616 кН/м² для полегшеної конфігурації.
3. Умова Rw = може використовуватися як ранній розрахунковий критерій, що безпосередньо пов'язує аеродинамічну підйомну дію PV-поля з рівновагою сил плавучості.
4. Для остаточної проєктної верифікації необхідно визначити фактичний просторовий розподіл тиску та положення його результуючої для повної плавучої геометрії шляхом спеціалізованих випробувань в аеродинамічній трубі або валідованого CFD-моделювання.

Література

[1] Ruscheweyh Consult GmbH. Windlasten an einer Musterkonfiguration für PV-Freiland-Anlagen in Süd-Aufständerung für die Firma SL Rack GmbH. Bericht RC 2627/0420. Aachen, 2020.

[2] Biran A. Ship Hydrostatics and Stability. Oxford: Butterworth-Heinemann.

[3] Sahu A., Yadav N., Sudhakar K. Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2016. Vol. 66. P. 815–824.

EFFECT OF STRUCTURAL LIGHTWEIGHTING ON WIND-INDUCED PONTOON UNLOADING OF A PONTOON-TYPE FLOATING PHOTOVOLTAIC PLATFORM

Margarita Mykolaivna Niroumand, Vladimir Vasylovych Zaitsev

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The effect of structural lightweighting on the resistance of a pontoon-type floating photovoltaic platform to aerodynamic uplift is investigated. Two existing configurations are compared using stationary pressure coefficients for a 15° inclined PV field and a quasi-static transverse equilibrium model. The critical gust pressure for windward-pontoon unloading is shown to decrease substantially as structural weight is reduced. The condition Rw = 0 is proposed as an FPV-specific screening criterion linking aerodynamic uplift to buoyancy reactions.

Keywords: floating photovoltaic, FPV, aerodynamic uplift, pontoon unloading, hydrostatic stability, lightweight design.

УДК 532.528

ДО ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ТЕЧІЙ З РОЗВИТОЮ КАВІТАЦІЄЮ

Сєрєбряков В.В.,

Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Інститут гідромеханіки національної Академії Наук, Київ, Україна

serebrvv@gmail.com

Анотація: Наведено дані аналізу можливостей розрахунку течій з розвиненою кавітацією стосовно початкових етапів розробки нових технологій на цій основі.

Ключові слова: суперкавітація, кавітатор, каверна

Вступ. Основною перевагою застосування суперкавітації є можливість, уникаючи контакту більшої частини тіла з рідиною досягати дуже малих коефіцієнтів опору C_D. Метою і основним змістом статті є уявлення та аналіз найбільш простих ефективних методів розрахунку розвинених кавітаційних течій.

1. Елементарна модель каітаційної течії

Найпростішою моделлю утворення подовженої осесиметричної каверни полягає в наступному: рухомий кавітатор, проходячи через нерухомий переріз рідини, розштовхує рідину в сторони. При цьому робота з подолання опір кавітатора перетворюється на кінетичну енергію радіального течії, що утворився, в поперечному перерізі біля каверни. Далі круговий елемент рідини біля каверни починає розширюватися при дії різниці тисків $\Delta P = (P_\infty - P_c)$ P_∞ – – у потоці P_c – в каверні. У перерізі з максимальним радіусом R_k розширення перерізу припиняється і вся енергія стає потенційною. Відомі залежності для опору руху D, найбільшого радіусу каверни та коефіцієнта опору руху R_k можуть бути представлені в наступному вигляді:

$$D = c_d \pi R_n^2 \frac{\rho U_\infty^2}{2} = k \pi R_k^2 \Delta P$$

$$R_k = \sqrt{\frac{D}{k\pi\Delta P}} \quad C_D = \frac{k\Delta P}{\rho U_\infty^2 / 2} = k\sigma \quad (1)$$

Тут: U_∞ – швидкість руху, R_n, c_d – радіус і коефіцієнт опору кавітатора, ρ – масова щільність, $k \sim 0.95 \div 1$ [1]. Фізика найбільш важливих залежностей (1), починаючи з відомих робіт Рейхардта, така:

для утворення каверни з максимальним радіусом R_k при різниці ΔP тисків в рідині, що не стискається, необхідно витрачати на одиницю довжини шляху величину енергії D. Мінімальні значення C_D досягаються саме для тонких $\lambda \gg 1$ каверн $C_D = k\sigma \sim \left(\ln \lambda^2\right)/\lambda^2$, $\lambda = L_k / R_k$ – подовження, L_k – напівдовжина стаціонарної каверни) і для $\lambda \approx 15 \div 25$ реальних є $C_D \approx 0.05 \div 0.001$

2. До проблеми розрахунку кавітаційного обтікання

Основи класичної теорії розвивалися на основі моделі ідеальної стисливої рідини. Центральним моментом теорії була можливість надійного передбачення форми та основних розмірів каверни. Найбільш ефективними виявилося застосування простих евристичних моделей, інтегральних законів збереження, починаючи з відомих робіт: H. Reihardt, G. Birkhoff, P. Garabedian, Г. Логвінович [1] та інших авторів, при розвитку надалі асимптотичної теорії тонких осесиметричних каверн [2–4]. Досить добре розвинені також методи нелінійного чисельного розрахунку переважно стаціонарного обтікання – C. Brennen, Л. Гузевський та інших. Найбільш ефективні практичні методи розрахунку розроблені саме для визначення форми тонких, близьких до осесиметричних каверн. Система найпростішого рівняння, спільно початковими умовами, для практичних розрахунків форми нестаціонарної осесиметричної каверни, визначаються у вигляді (2) [2; 3]:

$$\mu \frac{\partial R^2}{\partial t^2} + 2\frac{\left(P_\infty - P_k\right)}{\rho} = 0;$$

$$R^2\Big|_{t=t_n(x)} = R_n^2;\ \frac{\partial R^2}{\partial t^2}\Big|_{t=t_n(x)} = 2\sqrt{\frac{D(x)}{k\pi\mu\rho}} \qquad (2)$$

Система залежностей (2) визначають форму нестаціонарної каверни в нерухомому перерізі x при проходженні через нього в момент $t = t_n(x)$ кавітатора, при опорі $D(x)$. Ці рівняння фактично є математичним формулюванням відомого принципу незалежності розширення каверни [1] при визначенні, що входять до цих рівнянь коефіцієнтів μ і $\boldsymbol{k}$ на основі даних асимптотичної теорії 2го порядку [3, 4] у вигляді (3) для стаціонарної каверни:

$$\mu \gg \ln\sqrt{\frac{1}{e\sigma}\ln\left(\frac{2}{\sigma}+10\right)},\ k \approx 1 - \frac{2\ln\left(2/\sqrt{e}\right)}{\ln\left(4/\sigma\ +18\right)} \qquad (3)$$

У стаціонарному випадку рішення визначає еліпсоїдальну каверну та її розміри, включаючи відому формулу для R_k:

$$R^2 = R_n\sqrt{\frac{2c_d}{k\mu}x} - \frac{\sigma}{2\mu}x^2;\ R_k = R_n\sqrt{\frac{2c_x}{k\sigma}};\ L_k = R_n\sqrt{\frac{2c_x\mu/k}{\sigma}}, \qquad (4)$$

де R_n, c_d – радіус, коефіцієнт опору кавітатора. Фізично величина може розглядатися як інерційний коефіцієнт розтину, що розширюється – характеризує зміну енергії перерізів в процесі розширення перерізів каверни. Ці рівняння виражають відомий «Принцип незалежності розширення каверни» Г. Логвиновича [1] і вперше дали можливість передбачити практичні типи нестаціонарних каверн при змінних швидкості та тиску. Рівняння типу (2) можуть ефективно замінювати трудомісткі нелінійні чисельні методи для практичних розрахунків стаціонарних і нестаціонарних каверн. Результати розрахунку з цих рівнянь неодноразово детально перевірялися з урахуванням експериментальних даних [5].

3. Нестаціонарні каверни зі штучним піддувом

Застосування штучного піддуву газу в каверну дозволяє значно збільшити розміри та подовження каверн і, відповідно, ефективність застосування суперкавітації. При цьому визначальний вплив на розміри та форму каверн надають процеси винесення газу з задньої частини. Є механізми винесення газу з каверни, включаючи винесення газу по вихрових шнурах і хаотичним перебігом рідини в хвостовій частині каверни при дуже високих швидкостях руху. Прикордонна умова між цим типом винесення газу та винесенням газу вихровими трубками визначається відомою експериментальною залежністю (4) у разі каверни за диском, Campbell and Hilborne [6].

$$\sigma Fr_d = \sigma\frac{U}{\sqrt{gd}} < 1. \qquad (4)$$

Ця умова відповідає появі досить інтенсивної вихрової системи з утворенням порожнистих вихрових трубок.

Вирішення проблеми визначення інтенсивності винесення газу хаотичним перебігом рідини в хвості каверни було отримано J Spurk [7], виходячи з ідеї винесення газу прикордонним шаром на поверхні каверни. у вигляді залежності (5) для об'ємної витрати газу Q_v:

$$Q_v = U_\infty d^2 k_{sp} \frac{c_d}{\sigma} \sqrt{\frac{1}{\sigma} \ln \frac{1}{\sigma}} \quad k_{sp} \sim 0.013 \tag{5}$$

4. До проблеми стійкості процесів розвиненій кавітації.

З одного боку, каверна, заповнена пружним газом, є типовою коливальною системою з можливістю втрати її стійкості. Умови збереження стійкості стаціонарної каверни визначено у роботі Є. Паришев [8]. З іншого боку, навіть за збереження стійкості форми каверни, нестійким може бути процес руху тіла на каверні, глиссирующего її поверхні. У цій галузі є велика кількість досліджень, але вирішення цієї проблеми в цілому досі є актуальним.

Висновки. Значна частина розрахунків розробки технологій на основі розвиненої кавітації може бути зроблено шляхом застосування простих інженерних залежностей. Незважаючи на широке застосування обчислювальної техніки, можна вважати, що подальша розробка досить простих, фізично зрозумілих методів розрахунку в галузі течій з розвиненою кавітацією залишається досить важливою чвістю досліджень у цій галузі.

Література

[1] Логвинович Г. В. Гидродинамика течений со свободными границами. Киев: Наук. думка, 1969. 21 с.

[2] Серебряков В. В. Кольцевая модель для расчета осесимметричных течений с развитой кавитацией. *Гидромеханика*. 1974. Вып. 27. С. 25–29.

[3] Логвинович Г.В., Серебряков В.В. О методах расчета формы тонких осесимметричных каверн. *Гидромеханика*. 1975. Вып. 32. С. 47–54.

[4] Серебряков В.В. Асимптотические решения задач осесиммертричных течений с развитой кавитацией в приближении теории тонких тел. *Гидромеханика*. 1994. Вып. 68. С. 62–74.

[5] Serebryakov V.V., Moroz V.V., Kochin V.V., Dzielski J. E. Experimental Study on Planing Motion of a Cylinder at Angle of Attack in the Cavity Formed behind an Axisymmetric Cavitator. *Journal of Ship Research.* 2020. P. 139–153.

[6] Campbell I. J. and Hilborne D.V. "Entrainment behind artificially initiated cavities," Proceedings of Scecond symposium of Naval Hydrodynamics, Washington, 1958.

[7] Spurk J.H. On the gas loss from ventilated supercavities. *J. Acta Mechanics*. 2002, No. 155 (3–4). P. 125–135.

[8] Paryshev E.V. Approximate mathematical models in high-speed hydrodynamics. *Journal Engineering Mathematics*. 2006. No. 55. P. 41–64.

ON THE DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL RESEARCH INTO FULLY DEVELOPED CAVITATION FLOWS

Volodymyr Veniaminovych Serebryakov

Institute of Hydromechanics of National Academy of Sciences

Abstract. The paper presents an analysis of capabilities for calculating fully developed cavitating flows, with a focus on the initial stages of developing new technologies based on this phenomenon.

Keywords: supercavitation, cavitator, cavity

УДК 629.5.02:658.527

АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЙ “ADVANCED OUTFITTING” НА СКОРОЧЕННЯ СТАПЕЛЬНОГО ПЕРІОДУ В СУДНОБУДУВАННІ

Щедролосєв О.В.,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Суднобудування та ремонту суден
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
Соценко В.В.,
старший викладач кафедри Суднобудування та ремонту суден,
sotsenkovladyslav@gmail.com
Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Роботу присвячено комплексному науковому та статистичному аналізу ефективності впровадження технологій випереджаючого насичення (Advanced Outfitting) та модульного складання (Modular Shipbuilding) у сучасному суднобудівному виробництві. Базуючись на принципах групової технології (Group Technology) та орієнтованої на продукт ієрархії робіт (PWBS), розроблено аналітичну модель перерозподілу трудовитрат. Доведено, що перехід від послідовного формування корпусу до паралельного складання насичених блоків дозволяє скоротити стапельний період великотоннажних суден. Наведено математичні залежності для розрахунку технологічних циклів та обґрунтовано економічну доцільність перенесення монтажних робіт у контрольовані цехові умови.

Ключові слова: модульне суднобудування, випереджаюче насичення, стапельний період, Product Work Breakdown Structure, суднобудівне виробництво, трудовитрати, енергозбереження.

Вступ. Традиційний (послідовний) підхід до суднобудування історично базувався на системно-орієнтованому методі: спочатку на стапелі або в сухому доці повністю формувався металевий корпус, після чого починався тривалий етап монтажу суднових систем, механізмів та облаштування приміщень. Згідно з дослідженнями, такий підхід генерує масштабні втрати робочого часу через обмежений доступ до відсіків, просторові конфлікти між підрядниками та залежність від погодних умов на відкритому стапелі [1].

Сучасні виклики світового ринку та жорстка конкуренція вимагають кардинального зменшення виробничого циклу. Це робить безальтернативним перехід до концепції Product Work Breakdown Structure (PWBS) та модульно-агрегатного методу, коли судно розглядається не як набір систем, а як сукупність проміжних продуктів (Interim Products) – повністю оснащених просторових блоків, які виготовляються паралельно [2, 3].

Мета роботи. Метою роботи є комплексне наукове обґрунтування ефективності інтеграції модульно-агрегатного методу та технологій випереджаючого насичення (Advanced Outfitting) у сучасний суднобудівний процес. Головне завдання полягає у розробці аналітичної моделі перерозподілу трудовитрат та енергоспоживання на базі концепції PWBS (Product Work Breakdown Structure) для математичного доведення можливості оптимізації виробничих циклів і радикального скорочення стапельного періоду при будівництві великотоннажного флоту.

Основна частина. Методологія випереджаючого насичення (Advanced Outfitting). Основою модульного суднобудування є технологія випереджаючого насичення, що передбачає виконання максимального обсягу монтажних робіт на ранніх стадіях створення судна (до моменту формування корпусу на стапелі). Ця методологія поділяє процес насичення на три фундаментальні рівні [4]:

- On-unit outfitting (агрегатне насичення): Монтаж обладнання, трубопроводів, арматури та решіток на єдину металеву фундаментну раму, створюючи автономний модуль (Outfitting Unit) поза межами корпусної секції;
- On-block outfitting (блочне насичення): Встановлення механізмів, зібраних агрегатів (Units), кабельних трас та вентиляційних каналів безпосередньо в об’ємні секції після завершення їх зварювання та фарбування у цеху, але до подачі на стапель;
- On-board outfitting (стапельне насичення): Зводиться до мінімуму та обмежується виключно стикуванням магістралей між блоками та завантаженням надгабаритного обладнання (наприклад, головного двигуна).

Як зазначають дослідники [4], цілі випереджаючого насичення включають мінімізацію робіт на борту, скорочення часу насичення, спрощення планування та уникнення конфліктів між різними фахівцями.

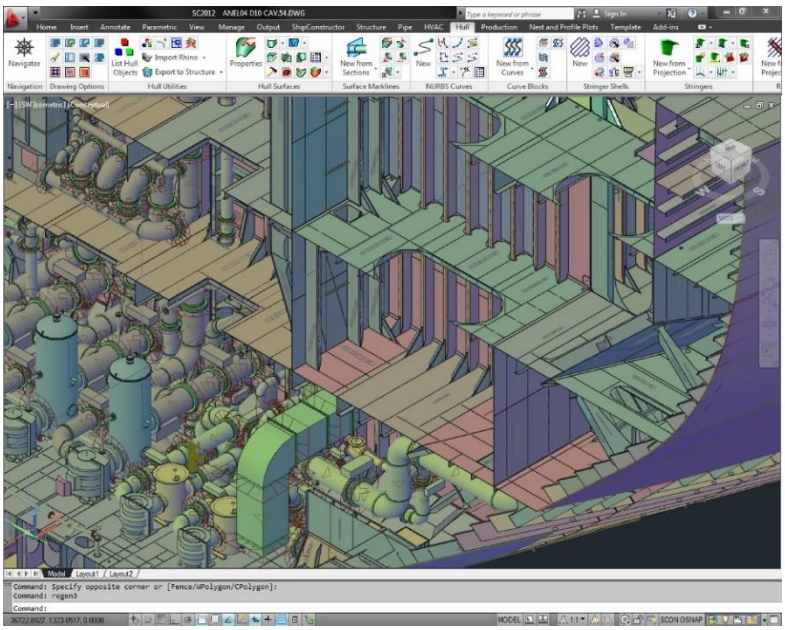


Рисунок 1 – Насичений блок в Ship Constructor [7]

Аналітична модель технологічного процесу та скорочення циклу. Перенесення монтажних робіт у контрольоване цехове середовище (завдяки PWBS та Advanced Outfitting) має безпосередній вплив на загальні енерговитрати. Як продемонстровано у дослідженні [5], споживання електроенергії під час процесу насичення та будівництва судна (EECDT) може бути змодельоване наступним чином:

$$EECDT = WH \times K_{arc} \times PWA + [(PLBL + PFBL) \times V \times DBL] \times K_{NBBL} + (PLBO + PFBO) \times V \times DBO \times K_{IBO} \times K_{CBO}$$

де *WH* – загальна кількість годин зварювання; K_{arc} – коефіцієнт ефективної роботи електричної дуги; *PWA* – електрична потужність зварювального апарату; *PLBL та PFBL* – потужності освітлення та інших потреб на етапі збирання блоку; *V* – загальний об'єм простору судна; *DBL* – тривалість етапу збирання блоку; K_{NBBL}, K_{IBO}, K_{CBO} – емпіричні коефіцієнти інтенсивності та залучення обладнання *PLBO та PFBO* – потужності на етапі стапельного насичення (on-board); *DBO* – тривалість етапу стапельного насичення [5].

Застосування цифрових двійників (Digital Twins) та оптимізованого модульного підходу, згідно з [5], дозволяє суттєво зменшити різницю в споживанні енергії, забезпечуючи економію енергоресурсів до 20 % порівняно з традиційним проєктуванням.

Крім того, загальна ефективність впровадження випереджаючого насичення безпосередньо впливає на час стапельного періоду. При паралельному виготовленні насичених секцій (modular scheduling), загальний цикл будівництва значно скорочується, оскільки уникається обмеження єдиного критичного шляху на стапелі [6].

Порівняльний аналіз розподілу трудовитрат. Аналіз емпіричних даних провідних світових верфей демонструє кардинальний зсув трудовитрат у бік ранніх (цехових) етапів. Перенесення робіт у цеха не лише скорочує час, а й підвищує якість монтажу за рахунок використання позиціонерів та автоматизованого зварювання трубопроводів.

Таблиця 1 – Порівняльний наліз розподілу трудовитрат

Етап виробничого процесу	**Традиційний метод (послідовний)**	**Модульний метод**	**Зміна показників**
Обробка металу та збирання вузлів	15 %	15 %	Незмінно
Цехове зварювання плоских та об'ємних секцій	20 %	25 %	Збільшення за рахунок ускладнення блоків
Цехове насичення	5 %	45 %	Зростання у 9 разів
Роботи на стапелі	60 %	15 %	Скорочення в 4 рази

Висновки. Математичний та емпіричний аналіз підтверджує, що імплементація методів Product Work Breakdown Structure (PWBS) та Advanced Outfitting є критично важливою для сучасного суднобудування. Перенесення значної частини монтажних робіт у цехові умови (on-unit та on-block outfitting) дозволяє суттєво зменшити загальний стапельний період. Оптимізація технологічного процесу за допомогою цифрових прототипів та модульного проєктування призводить до відчутного зниження трудовитрат та загального енергоспоживання (до 20 %), що підвищує конкурентоспроможність верфі. Успішне застосування цих методологій вимагає високого рівня деталізації на етапі проєктування, паралельної розробки продукту та технології, а також високої кваліфікації робітників.

Література

[1] Storch R. L., Hammon C. P., Bunch H. M., Moore R. C. Ship Production (2nd ed.). Jersey City, New Jersey: Cornell Maritime Press, 1995. 45 c.

[2] Okayama Y., Chirillo L. D. Product Work Breakdown Structure. National Shipbuilding Research Program (NSRP), 1982.

[3] Papanikolaou A. Ship Design: Methodologies of Preliminary Design. Springer, 2014. 615 p. DOI https://doi.org/10.1007/978-94-017-8751-2

[4] Advanced Ship Outfitting Techniques | PDF | Shipbuilding – Scribd. Режим доступу: https://www.scribd.com/presentation/47349282/Advanced-Outfitting

[5] Using Digital Twin in a Shipbuilding Project. ProQuest. Режим доступу: https://www.proquest.com/scholarly-journals/using-digital-twin-shipbuilding-project/docview/2756661348/se-2

[6] A Strategy-Group Evolution Algorithm for Planning of Multi-Stage Activities in Modular Shipbuilding Considering Uncertainty Duration. MDPI. Режим доступу: https://www.mdpi.com/2077-1312/13/11/2130

[7] Engineering.com. Режим доступу: https://www.engineering.com/2012-version-of-shipconstructor-cadcam-program-released/

ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF “ADVANCED OUTFITTING” TECHNOLOGIES ON REDUCING THE BUILDING BERTH PERIOD IN SHIPBUILDING

Shchedrolosiev Oleksandr Viktorovych, Sotsenko Vladyslav Valeriiovych, Konovalova Hanna Vasylivna

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper provides a comprehensive scientific and statistical analysis of the effectiveness of implementing Advanced Outfitting and Modular Shipbuilding technologies in modern shipyard production. Based on the principles of Group Technology and Product Work Breakdown Structure (PWBS), an analytical model of labor redistribution is developed. It is proven that the transition from sequential hull formation to the parallel assembly of fully outfitted blocks allows reducing the slipway period of large-tonnage vessels. Mathematical dependencies for calculating technological cycle times and energy consumption are presented, and the economic feasibility of transferring outfitting works into controlled workshop environments is justified.

Keywords: modular shipbuilding, advanced outfitting, slipway period, Product Work Breakdown Structure, production technology, labor cost, energy saving.

УДК 629.5.02:658.527

ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЦИФРОВОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА В СУДНОРЕМОНТІ

Щедролосєв О.В.,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Суднобудування та ремонту суден
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
Соценко В.В.,
старший викладач кафедри Суднобудування та ремонту суден,
sotsenkovladyslav@gmail.com
Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розкрито науково-технічні та практичні аспекти застосування методів металевого 3D-друку (WAAM, SLM, LMD) і комп'ютерного моделювання кристалізації металу (ICME) в судноремонтному виробництві. Сформовано концепцію цифрового складського репозиторію (Digital Warehouse) запчастин On-Demand згідно зі стандартами DNV та ISO/ASTM.

Ключові слова: Адитивне виробництво (AM), 3D-друк металом, дугове адитивне виробництво (WAAM), лазерне сплавлення (SLM), цифрове матеріалознавство (ICME), цифровий склад (Digital Warehouse), виробництво за вимогою (On-Demand), стандарти DNV (DNV-ST-B203), судноремонт, анізотропія механічних властивостей.

Вступ. Традиційна парадигма забезпечення судноремонтного виробництва та виготовлення суднових машинобудівних компонентів базується на технологіях лиття, кування та субтрактивної механічної обробки. В умовах глобальної нестабільності ланцюгів постачання тривалість очікування специфічних виливків або поковко-заготовок (лопатей гребних гвинтів, балерів стерневого пристрою, корпусів насосів, елементів арматури) може сягати від 6 до 1 місяців. Це призводить до тривалих вимушених простоїв суден у сухих доках та суттєвих фінансових збитків судноплавних компаній.

Впровадження адитивних технологій (Additive Manufacturing, AM), зокрема дугового адитивного виробництва (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM), лазерного сплавлення у шарі порошку (Selective Laser Melting, SLM) та лазерного прямого наплавлення металу (Laser Metal Deposition, LMD), дозволяє перейти до концепції розподіленого виробництва «за вимогою» (On-Demand Manufacturing / Digital Warehouse). Інтеграція цифрового матеріалознавства (Integrated Computational Materials Engineering, ICME) забезпечує прогнозування мікроструктури, фазового складу та залишкових напружень у процесі кристалізації металу, що є вирішальним фактором забезпечення надійності за вимогами міжнародних стандартів DNV-ST-B203 та DNV-CG-0197.

Мета роботи. Науково-технічне обґрунтування та систематизація методології застосування металевого 3D-друку й комп'ютерного моделювання матеріалів для виготовлення і відновлення високонавантажених суднових деталей із забезпеченням відповідності вимогам класифікаційних товариств.

Основна частина. Дослідження спирається на комплексний методологічний підхід, що включає чисельне термомеханічне моделювання методом скінченних елементів (МКЕ/FEA) динамічних температурних полів та температурних напружень при багатошаровому наплавленні; кристалізаційний аналіз мікроструктури методом цифрового матеріалознавства; оцінку механічної анізотропії (розтяг, ударна в'язкість, втома) вздовж та поперек напрямку вирощування шар-за-шаром; методологію неруйнівного контролю (ультразвуковий контроль, радіографія) та вимоги класифікаційних стандартів DNV-CG-0197, DNV-ST-B203 і ISO/ASTM 52920.

На основі проведеного систематичного аналізу встановлено раціональні області застосування різних методів адитивного виготовлення металевих суднових деталей залежно від геометричних габаритів та вимог до механічних властивостей.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів адитивного виробництва для металевих суднових компонентів

Метод AM	Джерело енергії та сировини	Продуктивність (кг/год)	Точність та шорсткість	Типові суднові компоненти	Стандарт кваліфікації
WAAM (Wire arc)	Електрична дуга	1.5–8.0	Низька	Великогабаритні лопаті гвинтів, кронштейни валопроводів, вузли корпусних конструкцій	DNV-ST-B203
SLM (PBF-LB)	Металевий порошок	0.05–3.0	Висока	Форсунки паливних систем, імпелери насосів, теплообмінники	DNV-GG-0197/ ISO 52900
LMD (DED-CL)	Порошок або дріт	0.5–2.5	Середня	Наплавлення та наплавлюваний ремонт шийок гребних і колінчастих валів	DNV-CP-0267

Таблиця 2 – Порівняння механічних властивостей WAAM-виробів із суднобудівної сталі / аустенітних сплавів у порівнянні з традиційним прокатом

Матеріал / метод	Напрямок випробування	Границя плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Відносне подовження, %	Статус відповідності
ER70S-6 (WAAM)	Поздовжній (X-У)	385	510	26.5	Перевищує норматив
ER70S-6 (WAAM)	Вертикальний (Z)	345	480	22.0	Задовольняє вимогам
316L Stainless (WAAM)	Поздовжній (X-У)	320	580	42.0	Висока пластичність
316L Прокат (традиційний)	Ізотропний	290	560	40.0	Базовий норматив



Рисунок 1 – Концептуальна схема цифрового репозиторію та сертифікованого 3D-виробництва On-Demand

Висновки. Аналітичний та техніко-економічний аналіз підтверджує, що імплементація адитивних технологій (WAAM, SLM, LMD) та методів цифрового матеріалознавства (ICME) є критично важливою для трансформації суднoремонтного виробництва. Перенесення процесів виготовлення та відновлення машинобудівних компонентів у формат розподіленого виробництва «за вимогою» (On-Demand Manufacturing) дозволяє скоротити терміни постачання критичних запчастин, суттєво зменшуючи вимушені простої суден у сухих доках. Оптимізація технологічного процесу за допомогою комп'ютерного моделювання кристалізації та термодеформацій призводить до мінімізації анізотропії механічних властивостей, зменшення коефіцієнта використання матеріалу та зниження загальних енерговитрат, що підвищує конкурентоспроможність суднoремонтних підприємств.

Література

[1] DNV. *Additive manufacturing of metallic parts*. DNV Standard DNV-ST-B203. DNV AS. 2020. Режим доступу: https://www.dnv.com/energy/services/additive-manufacturing/standards-guidelines/

[2] DNV. *Additive manufacturing – qualification and certification process for materials and components*. Class Guideline DNV-CG-0197. 2021. Режим доступу: https://standards.globalspec.com/std/10191711/dnvgl-cg-0197

[3] ISO/ASTM International. Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary. ISO/ASTM 52900:2021.

[4] MDPI. Enhancing Wire Arc Additive Manufacturing for Maritime Applications: Overcoming Operational Challenges in Marine and Offshore Environments. Applied Sciences, 15 (16), 9070. 2025. Режим доступу: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/16/9070

[5] DEEP Manufacturing / MX3D. *WAAM Manufacturing for Maritime and Shipbuilding: Standards and Large-Format Production*. Technical Marine Report. 2024. Режим доступу: https://www.deepmanufacturing.com/ sectors/maritime/

APPLICATION OF ADDITIVE MANUFACTURING (3D PRINTING) AND COMPUTATIONAL MATERIALS SCIENCE IN SHIP REPAIR

Shchedrolosiev Oleksandr Viktorovych, Sotsenko Vladyslav Valeriiovych, Konovalova Hanna Vasylivna

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper reveals the scientific, technical, and practical aspects of applying metal 3D printing methods (WAAM, SLM, LMD) and Integrated Computational Materials Engineering (ICME) in ship repair production. A digital spare parts repository concept (Digital Warehouse) for On-Demand manufacturing according to DNV and ISO/ASTM standards is formed. Analytical and technical-economic evaluation confirms that replacing conventional supply chains with additive technology reduces critical spare part lead times from 6–1 months down to 3–7 days, significantly minimizing vessel dry-dock downtime and material waste. Process optimization via thermal stress finite element modeling (FEM) minimizes mechanical anisotropy and enhances the operational reliability of heavy-loaded marine components.

Keywords: Additive Manufacturing (AM), metal 3D printing, Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), Selective Laser Melting (SLM), Integrated Computational Materials Engineering (ICME), Digital Warehouse, On-Demand manufacturing, DNV standards, ship repair, mechanical anisotropy.

УДК 629.5.02:658.527

ФОРМАЛІЗОВАНА ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ТА КОНЦЕПЦІЯ GOAL-BASED STANDARDS У СУЧАСНОМУ РИЗИКООРІЄНТОВАНОМУ ПРОЄКТУВАННІ СУДЕН

Щедролосєв О.В.,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Суднобудування та ремонту суден
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
Соценко В.В.,
старший викладач кафедри Суднобудування та ремонту суден,
sotsenkovladyslav@gmail.com
Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розглянуто методологічні засади ризикоорієнтованого проєктування суден (Risk-Based Ship Design, RBD) на основі інтеграції п’ятикрокової процедури формалізованої оцінки безпеки (FSA) та цільових стандартів спорудження суден (Goal-Based Standards, GBS) IMO. Запропоновано розрахункову модель оцінки альтернативних проєктних рішень із використанням критерію NCAF та принципу ALARP.

Ключові слова: формалізована оцінка безпеки (FSA), цільові стандарти спорудження суден (GBS), ризикоорієнтоване проєктування суден (RBD), Міжнародна морська організація (IMO), критерій NCAF, принцип ALARP, опції контролю ризиків (RCO), оцінка ризиків (QRA), морська безпека, Regulation SOLAS II-1/55.

Вступ. Традиційна нормативна база суднобудування тривалий час спиралася на прескриптивний (передписувальний) підхід, що характеризується жорстко регламентованими геометричними та конструктивними параметрами. Проте стрімкий розвиток інноваційних типів суден (суден на альтернативних видах палива, автономних плавучих комплексів, двокорпусних спеціалізованих платформ) виявив обмеженість прескриптивних правил. Сучасна парадигма Міжнародної морської організації (IMO) передбачає перехід до ризикоорієнтованого проєктування (Risk-Based Ship Design, RBD), в основі якого лежить поетапна формалізована оцінка безпеки (Formal Safety Assessment, FSA) та концепція цільових стандартів спорудження суден (Goal-Based Standards, GBS, Резолюції MSC.287 (87), MSC.296 (87)). Інтеграція даних інструментів забезпечує баланс між високим рівнем морської безпеки, екологічністю та економічною ефективністю.

Мета роботи. Розробка цілісної системно-методологічної моделі ризикоорієнтованого проєктування суден на основі синергії п’ятикрокової процедури FSA та п’ятирівневої ієрархічної структури GBS для обґрунтування альтернативних проєктних рішень згідно з інструкціями IMO MSC.1/Circ.1455.

Основна частина. Методологічна основа дослідження базується на системній комбінації якісних та кількісних методів оцінки ризиків (Quantitative Risk Assessment, QRA). Для ідентифікації сценаріїв аварійних подій застосовуються сесії HAZID/HAZOP та матриці ризиків. Імовірнісна оцінка розвитку аварійних ланцюгів здійснюється шляхом побудови дерев відмов (Fault Tree Analysis, FTA) та дерев подій (Event Tree Analysis, ETA). Економічне обґрунтування заходів з підвищення безпеки виконується на основі методології аналізу «витрати–прибуток» (Cost-Benefit Assessment, CBA) згідно з регламентом IMO MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2.

У результаті проведеного аналізу побудовано двосторонню матрицю інтеграції цільових стандартів GBS та процедури FSA. Концепція GBS визначає «що має бути досягнуто» (Goals & Functional Requirements), тоді як методологія FSA забезпечує кількісний інструментарій доведення відповідності («як це оцінити та підтвердити»).

Таблиця 1 – Ієрархічна структура Goal-Based Standards (GBS) та її зв'язок з етапами FSA

Рівень GBS (Tier)	**Зміст рівню GBS**	**Інтегровані етапи FSA (IMO MSC-MEPC.2/Circ.12)**
Tier I	Мета: Безпечна та екологічна експлуатація судна протягом 25 років	Формулювання вихідних умов та межі дослідження
Tier II	Функціональні вимоги: міцність, остійність, непотоплюваність, захист від корозії	Ідентифікація небезпек (HAZID/FTA/ETA)
Tier III	Підтвердження відповідності: аудит правил класифікаційних товариств	Оцінка ризиків
Tier IV	Правила класифікаційних товариств та класифікаційні норми	Опції контролю ризиків (Risk Control Options – RCO)
Tier V	Проєктна, технологічна та експлуатаційна документація	Аналіз «витрати-прибуток»

Таблиця 2 – Розрахункова матриця оцінки опцій контролю ризиків (RCO) за критерієм NCAF

Категорія RCO	**Захід із зменшення ризиків**	**Зниження ризику, люд/рік**	**Вартість впровадження, $**	**NCAF ($/запобігнуте життя)**	**Статус прийняття (ALARP)**
RCO-1 (конструктивна)	Подвоєння перебірок	$1.5*10^{-3}$	180 000	4 200 000	Прийнятно
RCO-2 (активна безпека)	Автоматизована система моніторингу напружень корпусу	$8.0*10^{-4}$	65 000	2 850 000	Високоефективно
RCO-3 (організаційна)	Додатковий тренажерний вишкіл екіпажу	$3.0*10^{-4}$	120 000	14 000 000	Економічно недоцільно



Рисунок 1 – Схема класифікації зон ризику за критерієм NCAF

Висновки. Запропонована методологічна модель надає проєктно-конструкторським бюро та суднобудівним верфям чіткий інструментарій для погодження альтернативних проєктних рішень з Морськими адміністраціями та Класифікаційними товариствами відповідно до Regulation SOLAS II-1/55 та MSC.1/Circ.1455. Це дозволяє впроваджувати інноваційні легкі матеріали, нові типи рушійних установок та оптимізовані форми корпусів із гарантованим дотриманням нормативного рівня безпеки мореплавства.

Література

[1] International Maritime Organization (IMO). *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process*. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2. IMO, London. 2018.

[2] International Maritime Organization (IMO). *International Goal-Based Ship Construction Standards for Bulk Carriers and Oil Tankers*. Resolution MSC.287 (87) and Resolution MSC.296 (87). 2010.

[3] International Maritime Organization (IMO). Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments. MSC.1/Circ.1455. 2013.

[4] Vassalos D., Papanikolaou A. Risk-based ship design. In *Risk-Based Ship Design: Methods, Tools and Applications* (pp. 17–97). Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89042-3_2

[5] Papanikolaou A. *Risk-Based Ship Design: Methods, Tools and Applications*. Springer Science & Business Media. (2009). Режим доступу: https://doi.org/10.1007/978-3-540-89042-3

[6] Papanikolaou A., Zaraphonitis G., Bitner-Gregersen E., Eliopoulou E. Safety of ships in extreme conditions and formal safety assessment. *Ocean Engineering*, 2014. 86, pp. 17–28. Режим доступу: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.04.019

FORMAL SAFETY ASSESSMENT AND THE GOAL-BASED STANDARDS CONCEPT IN MODERN RISK-BASED SHIP DESIGN

Shchedrolosiev Oleksandr Viktorovych, Sotsenko Vladyslav Valeriiovych, Konovalova Hanna Vasylivna

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper considers the methodological foundations of Risk-Based Ship Design (RBD) based on the integration of the IMO five-step Formal Safety Assessment (FSA) procedure and Goal-Based Standards (GBS) for ship construction. A calculation model for evaluating alternative design solutions using the Net Cost of Averting a Fatality (NCAF) criterion and the As Low As Reasonably Practicable (ALARP) principle is proposed. A two-way matrix linking GBS functional requirements (Tier I–V) with FSA risk assessment steps is established, demonstrating high cost-effectiveness of structural and active Risk Control Options (RCOs) for alternative hull configurations and marine engineering systems under SOLAS Regulation II-1/55 and MSC.1/Circ.1455 guidelines.

Keywords: Formal Safety Assessment (FSA), Goal-Based Standards (GBS), Risk-Based Ship Design (RBD), International Maritime Organization (IMO), Net Cost of Averting a Fatality (NCAF), ALARP principle, Risk Control Options (RCO), Quantitative Risk Assessment (QRA), maritime safety, SOLAS Regulation II-1/55.

УДК 532.526

ГІДРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИЛА, ЩО КОЛИВАЄТЬСЯ, З ГНУЧКОЮ ХВОСТОВОЮ ЧАСТИНОЮ

Воропаєв Г.О.,
доктор фізико-математичних наук, професор, ORCID: 0009-0001-8178-9028
Коробов В.І.,
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, ORCID: 0009-0004-2534-4835
vita.korobov@gmail.com
Інститут гідромеханіки НАНУ, Київ, Україна

Анотація. Крило з хордою 0.120 м та подовженням 1.5 коливалося в гідродинамічній трубі за гармонічним законом в діапазоні частот 0.2-2.5 Гц. Гідродинамічні характеристики крила представлені у вигляді коефіцієнтів підйомної сили та опору – тяги залежно від миттєвого значення кута тангажу. Динамічне навантаження на крилі з пружно деформованою задньою частиною істотно перевищує параметри для жорсткого крила.

Ключові слова: гнучке крило, миттєві гідродинамічні характеристики, підйомна сила, сила опору-тяги.

Вступ. У більшості пристроїв, які робочим елементом використовують криловий профіль, реалізується нестаціонарне обтікання. Це характерно, наприклад, для гвинта під час роботи в косому потоці, для гідротурбіни з вертикальною віссю (ротор Дар'є).

Вивченню гідродинамічних характеристик крила, що коливається в потоці, присвячено багато робіт. Здебільшого це теоретичні та чисельні дослідження [1; 2]. Частина експериментальних робіт в основному спрямована на оцінку пропульсивних характеристик крил, що коливається [3].

Системний аналіз характеристик жорстких профілів, що коливаються, наведено в експериментальній роботі [4], проте там представлені тільки посередні за період характеристики крила, що робить ці результати практично непридатними для турбіни.

Введення гнучкості в конструкцію крила, що вертикально махає, є ефективним способом підвищення його аеро-гідродинамічних характеристик. Значна частина досліджень присвячена вивченню інтегральних гідродинамічних характеристик гнучкого профілю, або крила з гнучким закрилком, переважно спрямованих на підвищення тяги при коливанні тільки в поперечному до потоку напрямку, тобто при зануренні.

У дослідженнях [5] показано, що підвищення ефективності переважно зумовлене пасивним коливальним рухом, а не деформацією кривизни. Гнучкість конструкції впливає на моменти виникнення та відриву вихорів, що утворюються біля передньої кромки. Існує оптимальний рівень гнучкості [6; 7], що призводить до посилення вихрової циркуляції на задній кромці та створює сильнішу зворотну вихрову доріжку Кармана. При певних частотах коливань це призводить до розширення усередненого в часі реактивного сліду і значного збільшення тяги, або зниження лобового опору. Хоча задовільного пояснення, чому існує оптимальна амплітуда закрилка, досі немає [5].

Крім інтегральних параметрів, необхідно мати інформацію про розподіл динамічного навантаження в межах одного періоду коливань гнучкого крила. Тому доцільно повернутися до аналізу нестаціонарного обтікання одиночного гнучкого профілю при його кутовому коливальному русі в потоці, що натікає.

Постановка задачі. Дана робота поставлена з метою визначення миттєвих значень гідродинамічних характеристик крила з пружно деформованою задньою частиною, що коливається в потоці по куту тангажу, та порівняння з відповідними параметрами жорсткого крила. В основу методики досліджень покладено експеримент у гідродинамічній трубі.

Як об’єкт досліджень використано крило малого подовження прямокутної форми в плані з невеликими торцевими шайбами. Профіль крила симетричний, хорда $b = 0.12$ *м*, подовження $\lambda = 1.5$ ($\lambda = l / b$, де l – розмах крила), відносна товщина профілю $c = 20$ %. Крило частково гнучке: передня частина – тверда; задня частина – гнучка ($b_{Flex} = 0.63\, b$). Задня частина виконана з 2-х тонких пружних металевих пластин, які стуляються на задній кромці і жорстко не пов’язані. Під дією поперечного навантаження пластинки згинаються, при цьому задня кромка однієї пластинки ковзає по внутрішній поверхні іншої пластини. Це відбувається попеременно у межах напівперіоду коливань (рис. 1).

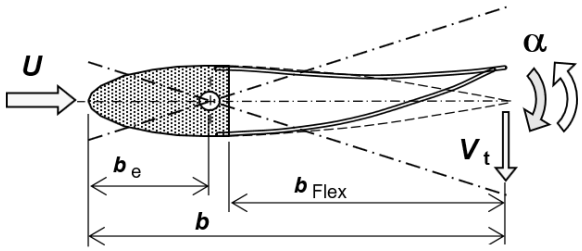


Рисунок 1 – Схема профілю крила, що коливається

Експерименти проводились у гідродинамічній трубі (ГДТ) у діапазоні швидкостей $U = 0.2$–2.0 м/с.

Крило кріпилося в робочій ділянці (РД) ГДТ до 2-х компонентного тензометра [8]. Перетин РД ГДТ квадратний 0.4 м × 0.4 м. Зовнішній вигляд установки показано у роботі [9]. Вісь обертання крила щодо трансверсальної осі Z зміщена від носика профілю крила на відстань $b_e = 0.3\, b$. Електромеханізм забезпечував перекладку крила в такий спосіб, що кут повороту крила α у часі t змінювався за гармонійним законом:

$$\alpha\,(t) = A \sin \omega t\,,$$

де ω – кругова частота коливань, **Помилка! Помилка зв'язку.** – амплітуда кутових коливань.

В експерименті розглянуті режими нестаціонарного обтікання при фіксованій амплітуді $A = 30°$. Частота коливань крила f регулювалася в межах 0.2÷2.0 Гц**.**

В процесі експерименту при кожній заданій частоті перекладки крила f і швидкості потоку U реєструвалися миттєві значення поздовжньої (F_x) та поперечної (F_y) компонент гідродинамічної сили, а також поточний кут відхилення крила α.

Результати та обговорення

Результати експериментів представлені у вигляді гідродинамічних коефіцієнтів C_y та C_x, які пов’язані із силами відомими співвідношеннями:

$$C_x = F_x / S\, q,\; C_y = F_y / S\, q,$$

де $q = (1/2)\, \rho\, U^2$ – швидкісний натиск, U – швидкість потоку у ГДТ, S – площа крила.

При коливаннях крила в потоці важливо знати як інтегральні гідродинамічні характеристики, так і величину миттєвих значень динамічного навантаження.

Характерні гідродинамічні параметри крила, що коливається по куту тангажу α, на різних частотах f в межах одного періоду коливань, представлені на рис. 2.

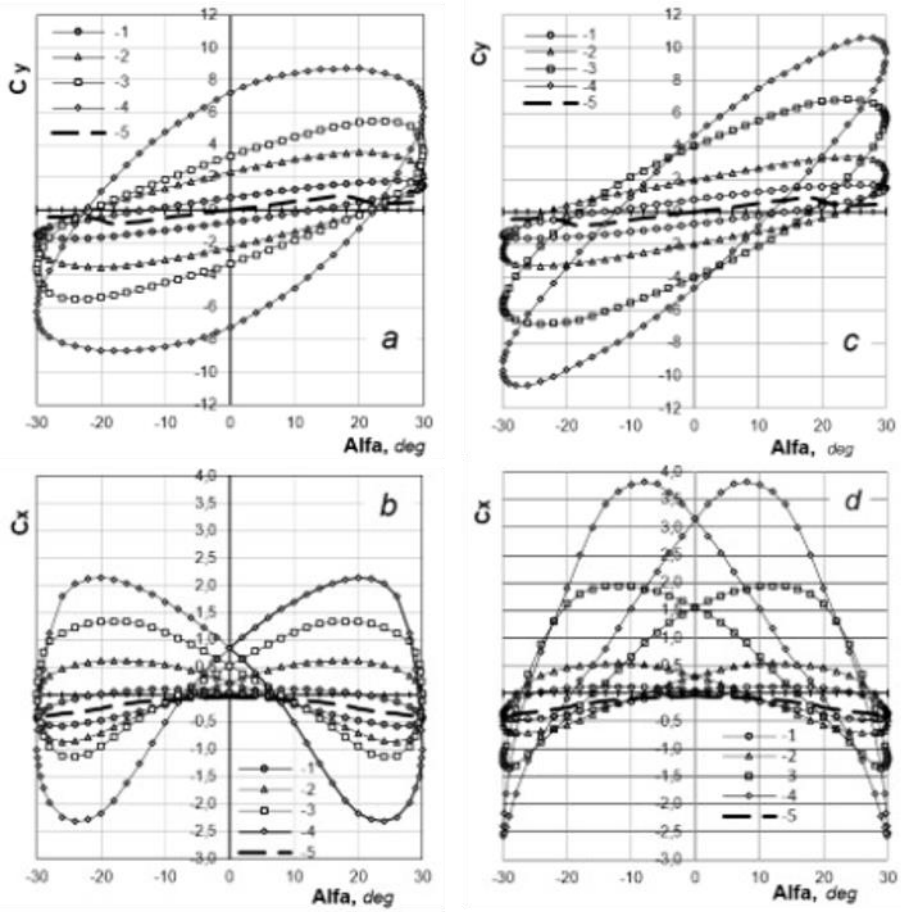


Рисунок 2 – Зміна коефіцієнтів поперечної C_y (a,c) і повздовжньої C_x (b,d) компонент гідродинамічної сили в межах одного періоду коливань залежно від миттєвого кута тангажу ***α*** *для жорсткого (a,b) і гнучкого (c,d) крила при різних частотах* ***f*** *коливання крила в потоці (U = 0.31 m/s, A = 30°).*
1 *– f = 0.5 Hz, V_t /U = 0.43;* ***2*** *– 1.02, −0.88;* ***3*** *– 1.5, −1.29;* ***4*** *– 2.1,−1.79;* ***5*** *– 0,−0*

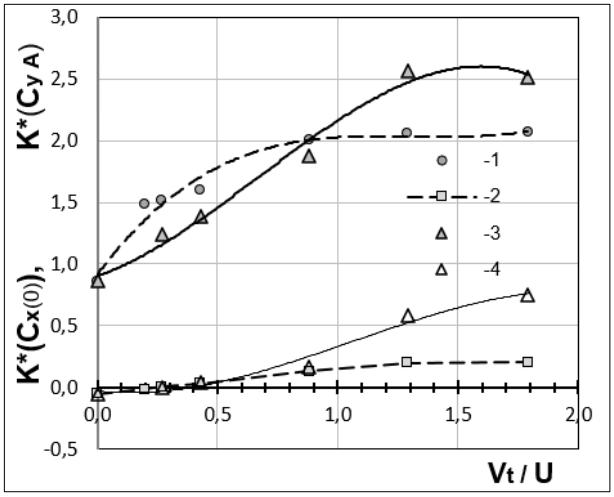


Рис.3*. Максимальні значення коефіцієнта підйомної сили $C_{y\,A}$ (1,3) та значення поздовжньої сили C_x (0) (тяга-опір) (2,4), у момент проходження крилом нульового значення кута тангажу (α = 0), залежно від числа Струхаля V_t / U з урахуванням нормуючого параметра K. Крило жорстке (1,2); крило гнучке (3,4). Частота коливань крила* ***f*** *= 0, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.1 Hz. (U = 0.31 m/s, A = 30°).*

Також вказані величини безрозмірного параметра V_t / U (число Струхаля Sh), де U – швидкість потоку в РЧ ГДТ, $V_t = \omega r$ -максимальне значення швидкості задньої кромки жорсткого крила за період коливань (Рис.1), $r = b - b_e$ – відстань від задньої кромки крила до осі коливання.

Кінематичний параметр V_t / U є оберненою величиною відносної швидкості λ_p, який аналогічний відносному ходу гребного гвинта.

Експериментальні дані для пружного крила (нис. 2-*c,d*) істотно відрізняються від динамічних характеристик жорсткого крила (Рис. 2-*a,b*), як формою кривих, так і за чисельними значеннями в екстремальних точках, при однакових кінематичних параметрах коливання. Так, величина тяги на частоті *f* = 2 Гц для гнучкого профілю майже вдвічі більша, ніж у жорсткого крила, і досягає цього значення при меншому значенні кута перекладки (8° проти 20°).

При заданому гармонічному законі перекладки крила по куту тангажу кутова швидкість досягає максимуму при проходженні профілем нейтрального положення ($\alpha = 0$), тоді як максимальне прискорення реалізується при відхиленні крила до амплітудного значення ($\alpha = A$), що визначають інерційні складові сил.

При використанні нормуючого параметра $K = 1 / (1+Sh^2)$ результати динамічних випробувань крила, що коливається в потоці, можуть бути представлені в більш компактній формі (Рис.3). Зі зростанням числа Струхаля параметри $K*C_x$ та $K*C_y$ виходять на автомодельність.

Такий режим спостерігається для жорсткого крила при значеннях $Sh > 1$, тоді як для гнучкого крила при більших числах Струхаля – $Sh > 1,5$. Причому відповідні параметри для гнучкого крила перевищують значення жорсткого крила по $K*C_y$ у 1,3 рази, а по К*Сх в 3 рази.

Очевидно, що при $Sh \rightarrow 0$ 0 результати повинні відповідати стаціонарному обтіканню профілю при відповідних кутах атаки, як коефіцієнта підйомної сили C_y, так і коефіцієнта опору C_x. Однак на закритичних кутах, при амплітуді коливання профілю $A = 30°$, вже за малих величинах параметра $Sh = 0.21$ немає провалу гідродинамічних коефіцієнтів зі зростанням кута атаки, тобто відсутня зона відривного обтікання. Значення коефіцієнта підйомної сили істотно вище відповідного параметра при стаціонарному обтіканні профілю, що говорить про прояв інерційної складової вже при малих частотах коливання профілю.

Слід зазначити, що із зростанням частоти коливань, у межах періоду, спостерігається переважання сили тяги над силою опору. На таких режимах обтікання крило, що коливається по куту тангажу, виконує роль гідродинамічного рушія. Однак гідродинамічна ефективність жорсткого крила в цьому випадку нижче, ніж у крила, що коливається, з двома ступенями свободи [4]. У крила з гнучкою задньою частиною вона зростає**.**

Висновки. Експериментально визначене динамічне навантаження на крило, що коливається в потоці, для досить великого діапазону зміни частоти коливання дозволили сформулювати наступні положення:

– миттєві значення коефіцієнтів сили опору-тяги та підйомної сили залежать від частоти коливання крила та у багато разів перевищують значення гідродинамічного навантаження при відповідному куті атаки у стаціонарному потоці.

Режим нестаціонарного обтікання крила призводить до значних динамічних навантажень конструкції. Дані натурних випробувань та результатів лабораторних експериментів показує, що визначення змінної сили, що виникає на лопаті гвинта при роботі в косому потоці, по кривим дії, призводить до меншого значення розрахункового змінного навантаження порівняно з її реальною величиною. А це, у свою чергу, призводить до недооцінки циклічної міцності гвинтів під час роботи за корпусом (наприклад) судна на підводних крилах;

– нормуючий множник $1 / (1+Sh^2)$ дозволяє уніфікувати коефіцієнти підйомної сили та сили опору при нестаціонарному русі профілю;

– динамічні характеристики крила, що коливається, з пружно деформованою задньою частиною істотно перевищують параметри жорсткого крила;

– дане дослідження містить корисні відомості для проєктування рушіїв та підрулюючих пристроїв автономних апаратів.

Література

[1] Nekrasov A.I. (1947) *Teoriya kryla v nestatsionarnom potoke* [The theory of the wing in unsteady flow]. Moscow-Leningrad, *USSR Acad. Scien. Publ*., 258 p. (In Russian).

[2] Belotserkovsky S.M., Skripach B.K., Tabachnikov V.G. (1971) *Krylo v nestatsionarnom potoke gaza* [The wing in unsteady flow of gas]. Moscow, *Nauka Publ*., 767 p. (In Russian).

[3] De Lourier J.D., Harris J.M. (1982) Experimental study of oscillating – wing propulsion. *J. Aircraft*, No. 5, pp. 368–373.

[4] Grebeshov E.P., Saghoyan O.A. (1976) *Gidrodinamicheskiye kharakteristiki koleblyushchegosya kryla, vypolnyayushchego funktsii nesushchego elementa i dvizhitelya* [Hydrodynamic characteristics of oscillating wing performing the functions of the carrier element and the propeller]. Moscow, *Proc. TsAGI*, No. 1725, P. 3–30 (In Russian).

[5] Zhou Ch., Zhang Y., Wu J. (2020) Effect of flexibility on unsteady aerodynamics forces of a purely plunging airfoil. *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 33 (1), pp. 88–101. DOI: 10.1016/j.cja.2019.08.002

[6] Cleaver D.J., Gursul I., Wang Z. (2014) Thrust enhancement due to flexible trailing-edge of plunging foils. *J. of Fluids and Structures*, vol. 51, (No . 0), pp. 401–412.

DOI: 10.1016/j.jfluidstructs.2014.09.006.

[7] David M.J., Govardhan R.N., Arakeri J.H. (2018) Thrust generation from pitching foils with flexible trailing edge flaps. *J. Fluid Mech*., vol. 828, pp. 70–103. DOI:10.1017/jfm.2017.491.

[8] Коробов В.И. (2014) Гидродинамические характеристики колеблющегося крыла по углу атаки. *Экспериментальные методы теории корабля* : материалы 3-й международной научно-технич. конференции . Николаев: *НУК*, С. 9–11. web-site: conference.nuos.edu.ua

[9] Blintsov V., Babkin H., Kostenko D., Moroz V., Korobov V., Tarchuk A. (2025) Design and Application of Marine Robotics with a Communication Buoy. *Polish Maritime Research*, No. 4 (128), vol. 32; pp. 142–149. DOI:10.2478/pomr-2025-0057.

[10] Korobov V.I. (2017) Hydrodynamics of oscillating wing on the pitch angle. *Proceedings of the National Aviation University*, No. 2 (71), pp. 70–75. DOI: 10.18372/2306-1472.71.11749.

HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AN OSCILLATING WING WITH A FLEXIBLE TRAILING EDGE

Voropaiev G.O., Korobov V.I.

Institute of Hydromechanics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. A wing with a chord of 0.1 m and an extension of 1.5 oscillated in a hydrodynamic tunnel according to the harmonic law in the frequency range of 0.2-2.5 Hz. The hydrodynamics of the wing is presented in the form of coefficients of lifting force and resistance – thrust depending on the instantaneous value of the pitch angle. The dynamic load on a wing with an elastically deformable rear part significantly exceeds the parameters for a rigid wing.

Keywords: flexible wing, instantaneous hydrodynamic characteristics, lift, drag-thrust force.

УДК 629.5.01:629.584

ВИБІР СКЛАДУ СПОЛУЧНИКА ДЛЯ 3D-ДРУКУ БЛОКІВ ПЛАВУЧОСТІ ЗІ СФЕРОПЛАСТИКУ

Соломонюк Н.С.,
кандидат технічних наук, доцент, natalysolomoniuk@nuos.edu.ua
Юреско Т.А.,
кандидат технічних наук, доцент, tyuresko@gmail.com
Яковенко С.В.,
Національний університет кораблебудування імені адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. В роботі експериментально обирається склад сполучника для блоку плавучості зі сферопластику, для друку блоків на 3D-принтері за безвідходною технологією. Для цього в епоксидному сполучнику обирається композиція твердників (ПЕПА + МОСА) при оптимальній температурі твердіння.

Ключові слова: сферопластик, блок плавучості, епоксидний сполучник, 3D-друк.

Вступна частина. Ефективність підводної техніки визначається характеристиками блоків плавучості [1] зі сферопластиків (syntactic foam) густиною 450–700 кг/м³, які забезпечують нульову плавучість та міцність на глибинах до 1000 м [2].

Мета роботи – вибір складу епоксидного сполучника для безвідходного 3D-друку блоків плавучості. Для цього обґрунтовано фактори впливу, експериментально досліджено процеси гельутворення й твердіння залежно від вмісту твердників та визначено можливі режими 3D-друку.

Основний текст.

Для виготовлення блоків плавучості найчастіше застосовують епоксидні смоли, що характеризуються високою механічною міцністю, хімічною та водостійкістю, а також відмінними ізоляційними властивостями. Формування стабільних характеристик епоксидних сполучників забезпечується використанням амінних твердників: аліфатичних (зокрема поліетиленполіаміну, ПЕПА, до 14 ваг. ч.) для холодного твердіння за кімнатної температури або ароматичних (найчастіше МОСА – 4,4’-метилен-біс(2-хлоранілін), до 31 ваг. ч.) для гарячого твердіння при $T_{тв}$. = 105 °С.

Після виготовлення блоку, який має вигляд паралелепіпеда, він випилюється згідно з формою, що визначена кресленням та конструкторськими розрахунками, з цільного шматка сферопластику, при цьому відходи становлять до 50 %.

Для мінімізації відходів і оптимізації виготовлення складних блоків плавучості запропоновано технологію 3D-друку зі сферопластику [3] за FDM/DIW-принципом [4]. Для стабільного екструдування через сопло 3D-принтера термореактивний сполучник повинен зберігати текучість за кімнатної температури та не твердіти завчасно, але забезпечувати швидке гельутворення під дією локального нагріву безпосередньо в насадці та на робочій поверхні.

Кінетику гельутворення й твердіння сполучника досліджено методом крутильного маятника за зміною в’язкопружних властивостей просоченої скляної нитки (довжиною від 15 мм) та періоду її коливань

при відхиленні на 90° [5]. Експеримент сплановано за наднасиченою матрицею латинських квадратів [6], де функціями відгуку обрано час гельутворення, час твердіння та міцність епоксидного сполучника при стисканні, що дозволило суттєво зменшити кількість дослідів порівняно з повним факторним експериментом.

Основними факторами дослідження є комбінація твердників та температура твердіння (трифакторний експеримент). Оскільки стандартний твердник гарячого типу МОСА має тривалий час гельутворення (понад 1 год при T = 103 – 105°C), для запобігання розтіканню композиції додано аліфатичний твердник холодного типу – поліетиленполіамін (ПЕПА), який істотно прискорює процес при нагріванні. План експерименту побудовано за методом латинських квадратів, у якому кожен рівень факторів зустрічається тільки один раз у кожному рядку та стовпці матриці (таблиця 1).

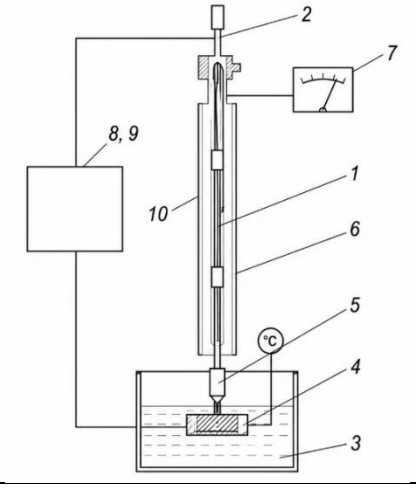


Рисунок 2 – Схема крутильного маятника:
1 – скляна нитка,
2 – верхній подовжувач маятнику,
3 –ємність з електролітом (розчин NaCl),
4 – диск з голкою,
5 – нижній подовжувач маятнику,
6 – термопара,
7 – мілівольтметр,
8 – стабілізатор,
9 – лабораторний трансформатор,
10 – скляна трубка

Таблиця 1 – План-матриця методу латинських квадратів для трифакторного експерименту по визначенню оптимальної композиції сполучника і умов її отримання

ПЕПА, ваг. част.	**МОСА, ваг. част**		
	b_1**=0**	b_2**=15**	b_3**=30**
a_1=0	T_1=20 °C	T_2=85 °C	T_3=120 °C
a_2=7	T_2=85 °C	T_3=120 °C	T_1=20 °C
a_3=14	T_3=120 °C	T_1=20 °C	T_2=85 °C

Для підвищення точності результатів паралельних випробувань виконано статистичну обробку вибірок, а для вилучення грубих помилок (викидів) застосовано критерій Груббса [6].

Побудовано графіки залежності відносної жорсткості ΔG від часу існування композиції $lg\ t$ та апроксимовано їх логістичним розподілом (1).

$$\Delta G(lg\ t) = \frac{k}{e^{\frac{m-lg\ t}{n}}+1} \quad (1)$$

коефіцієнти k, m, n визначаються для кожного складу композиції. Час твердіння композиції визначається за графіком (це точка переходу лінії логістичного розподілу в горизонтальну лінію $\Delta G_{max} = k$).

Умовна жорсткість при часі гельутворення композиції є другою похідною від функції (2) за умови, що вона дорівнює 0.

$$\Delta G_г(lg\ t) = \left(\frac{k}{e^{m-lg\ t}+1}\right)^n + 1, t_г = 10^m \quad (2)$$

За середніми значеннями визначено час гельутворення та твердіння композицій. Оскільки матеріал блоків плавучості працює в умовах гідростатичного стискання, у цих же точках експерименту оцінено міцність на стискання циліндричних зразків сполучника ($d/h = 1 - 1{,}5$). Дисперсійний аналіз підтвердив статистичну значущість усіх трьох факторів для кожної з обраних функцій відгуку.

Отже, вимогам відповідають 3 композиції, що представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Варіанти композицій твердників епоксидного сполучника для 3D-друку блоків плавучості

№ з/п	ПЕПА, ваг.част.	МОСА, ваг.част.	Температура твердіння, °С	Час дії температури, хв	Міцність на стискання, МПа
1	7	15	120	до 2,4	140
2	14	31	85	до 2,5	138
3	7	0	85	до 0,28	115

Висновки

1. На основі планування експерименту методом латинських квадратів обґрунтовано фактори впливу та експериментально досліджено кінетику гельутворення, твердіння й міцність на стискання епоксидного сполучника.
2. Встановлено, що склади № 1 та № 2 забезпечують максимальну міцність (138–140 МПа), а склад № 3 – надшвидке гельутворення (20 с), яке запобігає стіканню, проте створює ризик забивання нозла 3D-принтера.
3. Доведено доцільність короткотривалого нагріву в соплі принтера для прискорення полімеризації та підвищення міцності матеріалу.
4. Визначено оптимальні склади сполучників для безвідходного 3D-друку блоків плавучості; подальші дослідження будуть спрямовані на їх апробацію у композиції з мікросферами.

References

[1] Копійка С.В., Захарова І.О., Єгоров О.Г. Шляхи вдосконалення сферопластиків. *Збірник наукових праць НУК*. 2017. № 2. С. 28–32. DOI: 10.15589/jnn20170204.

[2] Bharath H.S., Bonthu D., Prabhakar P., Doddamani M. Three-Dimensional Printed Lightweight Composite Foams. *ACS Omega*. 2020. Vol. 5, No. 35. P. 22282–22291. DOI: 10.1021/acsomega.0c03174.

[3] Bharath H. S., Sawardekar A., Waddar S., Jeyaraj P., Doddamani M. Mechanical behavior of 3D printed syntactic foam composites. *Composite Structures*. 2020. Vol. 254. 112832. DOI: 10.1016/j.compstruct. 2020.112832.

[4] Galvagnini F., Fredi G., Dorigato A., Fambri L., Pegoretti A. Mechanical Behaviour of Multifunctional Epoxy/Hollow Glass Microspheres/Paraffin Microcapsules Syntactic Foams for Thermal Management. *Polymers*. 2021. Vol. 13, No. 17. 2896. DOI: 10.3390/polym13172896.

[5] Ziaee M., Johnson J. W., Yourdkhani M. 3D Printing of Short-Carbon-Fiber-Reinforced Thermoset Polymer Composites via Frontal Polymerization. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2022. Vol. 14, No. 14. P. 16694–16702. DOI: 10.1021/acsami.2c02076.

[6] Пукас А. В. Методи планування експериментів для оптимізації математичних моделей на основі інтервальних даних : дис. … канд. техн. наук. Тернопіль, 2007.

SELECTION OF BINDER COMPOSITION FOR 3D PRINTING OF SYNTACTIC FOAM BUOYANCY BLOCKS

Solomoniuk Natalia, Yuresko Tetiana, Yakovenko Serhiy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. In this work, the binder composition for a syntactic foam buoyancy block is experimentally selected for 3D printing of blocks using zero-waste technology. For this purpose, a curing agent composition (TETA + MOCA) in an epoxy binder is selected at the optimal curing temperature.

Keywords: syntactic foam, buoyancy block, epoxy binder, 3D printing.

УДК 629.5:534.1

ВПЛИВ ПООКРЕМО ЗСУВУ І ІНЕРЦІЇ ОБЕРТАННЯ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ НА ВЛАСНІ ЧАСТОТИ КОРПУСУ МАЛОГО СУДНА

Соков В.М.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
valeriy.sokov@nuos.edu.ua,

Анотація. Представлено аналіз впливу поокремо зсуву і інерції обертання поперечних перерізів на власні частоти загальної вібрації корпусу малого судна при вертикальних згинальних коливаннях. Дослідження виконані енергетичними методами для тонів головних вільних коливань від 1-го до 3-го. Вплив зсуву досліджувався в залежності від тону і коефіцієнту форми, а вплив інерції обертання лише від тону. Вказані дослідження необхідні для розуміння вкладу вказаних факторів на значення власних частот корпусу судна (КС) при розробці математичних моделей для розрахунку загальної вібрації корпусів малих суден.

Ключові слова: власні частоти, загальні вібрація, зсув, інерція обертання.

Вступ. Якомога точніший розрахунок власних частот головних вільних коливань корпусів суден, зокрема і малих є дуже важливою задачею в суднобудуванні. Це необхідно для запобігання резонансу корпусу судна з частотами збуджуючих чинників. Наразі розрахунок власних частот загальної вібрації спряжений з рядом труднощів, пов'язаних в основному з якісною підготовкою вихідної інформації для розрахунку, а також врахуванням впливу забортної води та іншими факторами. Більш того, існуючі емпіричні формули оцінки власних частот загальної вібрації, залежності для розрахунку впливу забортної води тощо застосовні в основному для великих транспортних суден з консервативними співвідношеннями головних розмірів. А тому застосувати ці формули і залежності до малих спеціалізованих суден проблематично за причини нестандартних співвідношень їх головних розмірів. Більш того, виникає питання, чи можливо взагалі мале судно вважати балкою, і якщо ні, то яку модель для розрахунку загальної вібрації необхідно застосовувати у цьому випадку. Звичайно ці питання неможливо охопити в рамках одного дослідження. Одним словом, в питаннях розрахунку загальної вібрації малих суден маються прогалини, які досі не заповнені. Звісно маються дослідження в напрямі розрахунків вібрації малих суден, огляд яких вартий об'єму статті. Вібрацію малих суден досліджують в основному з використанням комерційних програм, які реалізують метод скінченних елементів (МСЕ). Проте вартість цих програм є високою, що спонукає до розробки математичних моделей і програмного забезпечення, які даватимуть надійні результати розрахунку загальної вібрації і будуть більш доступними для використання.

Мета. Метою дослідження є вивчення впливу зсуву і інерції обертання поперечних перерізів на власні частоти корпусу малого судна при вертикальних згинальних коливаннях. Це потрібно для того, щоб розуміти вплив цих факторів на власні частоти корпусів малих суден при розробці математичних моделей для розрахунку загальної вібрації.

Основна частина. Об'єктом дослідження є буксир водотоннажністю близько 600 тонн. Для вказаного судна були визначені закони геометричних і масових характеристик для певного розрахункового стану вздовж довжини судна, які потім застосовувалися в розрахунках власних частот енергетичними методами. Враховувався вплив забортної води. Спочатку були розраховані власні частоти чисто згинальних вертикальних коливань без врахування будь-яких додаткових факторів, таких як зсув та інерція обертання. Результати вказаного розрахунку представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Власні частоти згинальних вертикальних коливань КС без врахування будь-яких додаткових факторів

№ тону	**1**	**2**	**3**
Частота *f*, Гц, КС	23,7	58,2	105,8

Вплив зсуву. Загальна форма коливань і потенціальна енергія представлені сумами згинальної і зсувної складових. Додатково досліджувався вплив коефіцієнту форми k_s поперечного перерізу, який тримався в якості змінного параметру. Такий підхід щодо k_s викликаний, по-перше, необхідністю прослідкувати характер впливу k_s на власні частоти КС; а по-друге, високою трудомісткістю обчислення k_s для поперечних перерізів малих суден, які характеризуються ряснотою похилих тонкостінних елементів навіть для простих перерізів. Найменше значення, яке може приймати k_s є 1. Найбільше значення k_s не регламентоване і потребує додаткових досліджень для малих суден і для суден взагалі.

В табл. 2 представлені обрані результати розрахунків згинальних вертикальних коливань з врахуванням зсуву.

Таблиця 2 – Власні частоти згинальних вертикальних коливань КС з врахуванням лише зсуву

Величина	**k_s**	**№ тону**		
		1	**2**	**3**
Власна частота f, Гц, КС	1	20,4	41,2	62,4
	2	18,2	33,6	48,5

Вплив інерції обертання. В цьому випадку потенціальна енергія представлена лише згинальною складовою, а кінетична енергія є сумою енергій поступального та обертального рухів елементарних об'ємів балки, якою апроксимується КС.

В табл. 3 представлені обрані результати розрахунків згинальних вертикальних коливань з врахуванням інерції обертання.

Таблиця 3 – Власні частоти згинальних вертикальних коливань КС з врахуванням лише інерції обертання

№ тону	**1**	**2**	**3**
Частота *f*, Гц, КС	22,4	51,3	86,3

Аналіз отриманих результатів. Як видно із розрахунків зсув набагато більше впливає на власні частоти КС, аніж інерція обертання. Врахування зсуву зменшує власні частоти КС. При фіксованому тоні збільшення коефіцієнту форми k_s зменшує власні частоти. З ростом номеру тону вплив k_s лише посилюється. При фіксованому коефіцієнті форми k_s=1 відповідні різниці (за тонами) між частотами з табл. 1, де не враховані ніякі фактори і табл. 2, де враховано зсув становлять: –14 %, –29 %, –41 %. Вказані цифри свідчать про посилення впливу зсуву на власні частоти КС з ростом номеру тону при фіксованому значенні коефіцієнту форми k_s. Тобто зі збільшенням номеру тону і коефіцієнту форми k_s власні частоти КС завжди зменшуватимуться.

Врахування інерції обертання також зменшує власні частоти КС. Так, відповідні різниці між частотами з табл. 1, де не враховані ніякі фактори і табл. 3, де враховано інерцію обертання становлять: –5 %, –12 %, –18 %. Тобто з ростом номеру тону вплив інерції обертання посилюється, але цей вплив є слабшим за вплив зсуву.

Висновки. Врахування зсуву і інерції обертання завжди зменшує власні частоти КС. Вплив зсуву на власні частоти є більш істотнім за вплив інерції обертання. Проте останнім нехтувати не можна, якщо розглядати вплив зсуву і інерції обертання поокремо. При реальних розрахунках власних частот КС коефіцієнт форми k_s необхідно визначати ретельно, тому що, як показує табл. 2 він дуже впливає на значення власних частот. В подальшому необхідно дослідити взаємний вплив інерції обертання і зсуву при одночасному їх врахуванні.

Література

[1] Постнов, В.А., Калинин В.С., Ростовцев Д.М. (1983). Вибрация корабля [Текст] : учебник / В.А. Постнов, В.С. Калинин, Д.М. Ростовцев. Л. : Судостроение. 24 с.

[2] Курдюмов А.А. (1961). Вибрация корабля. Л. : Судпромгиз. 31 с.

[3] Сердюченко А.М. (2009). Згин, стійкість та вільні коливання стержневих систем і пластин суднового корпусу : навчально-методичний посібник. 11 с.

[4] McGoldrick, R. T. (1960). Ship vibration. Washington D.C.: US Government Printing Office. 242 p.

SEPARATE INFLUENCE OF THE SHEAR AND THE INERTIA OF ROTATION OF CROSS SECTIONS ONTO NATURAL FREQUENCIES OF HULL OF SMALL SHIP

Sokov Valerii

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine

Abstract. There is presented the analysis of the influence of the shear and the rotational inertia of rotation of cross-sections onto the natural frequencies of the general vibration of the hull of a small vessel during vertical bending vibrations. The studies were performed using energy methods for the tones of the main free vibrations from the 1-st to the 3-rd. The influence of the shear was studied depending on the tone and the shape factor, and the influence of the inertia of rotation only on the tone. These studies are necessary to understand the contribution of the specified factors to the values of the natural frequencies of the vessel hull (VH) when developing mathematical models for calculating of the general vibration of the hulls of small vessels.

Keywords: natural frequencies, general vibration, shear, inertia of rotation.

УДК 629.5.035;621.791

ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ІНДЕКСІВ ДЛЯ ПЕРЕДЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТРАЄКТОРІЙ WAAM-НАПЛАВЛЕННЯ

Манько В.В.,
аспірант
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
mankovit48@gmail.com

Анотація. Запропоновано підхід до передекспериментальної оцінки траєкторій дротово-дугового адитивного наплавлення за просторовими полями накопичувальних теплових індексів. Індекси, сформовані на основі температурних історій, використовуються для виявлення зон перегріву, недостатнього теплового перекриття, повторного нагріву та несприятливих умов тверднення. Порівняння характерних ділянок із референтним прямолінійним проходом дає змогу оцінювати технологічну придатність окремих фрагментів траєкторії до виконання експериментального наплавлення. Показано, що після експериментального калібрування такі індекси можуть використовуватися як прогностичні ознаки очікуваного результату формування валика.

Ключові слова: WAAM; CMT; траєкторія наплавлення; теплове моделювання; накопичувальні індекси; прогнозування; гребний гвинт.

Дротово-дугове адитивне виготовлення (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) є перспективним напрямом одержання великогабаритних металевих деталей складної форми, зокрема елементів суднових конструкцій і гребних гвинтів. Для порожнистих та комірчастих елементів лопаті технологічна реалізованість визначається не лише геометрією внутрішньої структури, а й тим, як побудована послідовність проходів наплавлення. Траєкторія безпосередньо впливає на локальні теплові цикли, повторне нагрівання, взаємодію суміжних валиків і умови тверднення металу. Тому геометрично коректна траєкторія не завжди є технологічно повноцінною: у ній можуть існувати ділянки з недостатнім тепловим перекриттям або, навпаки, з надмірним накопиченням тепла [1, с. 54; 2, с. 1427].

Метою роботи є обґрунтування використання накопичувальних теплових індексів як інструменту передекспериментальної перевірки траєкторії WAAM-CMT наплавлення та як основи для подальшого прогнозування результату формування окремих ділянок виробу.

Оцінювання виконується за результатами тривимірного нестаціонарного теплового моделювання в ANSYS APDL. У моделі враховано послідовну активацію матеріалу, конвективні та радіаційні тепловтрати, імпульсний характер CMT-процесу та рухоме двоеліпсоїдне джерело тепла Голдака [3, с. 303]. Траєкторія задається послідовністю точок і сегментів та відтворює напрямок проходів, місця початку й завершення наплавлення, зближення суміжних проходів і переходи без тепловкладення. За температурною історією кожного вузла формуються просторові поля показників, які інтегрують тепловий вплив у часі та є інформативнішими за аналіз лише пікової температури.

Для перевірки траєкторії використано три взаємодоповнювальні індекси. Індекс перегріву I_OVER характеризує сумарну інтенсивність і тривалість перебування матеріалу вище температури ліквідусу. Його підвищені значення вказують на локальне надлишкове тепловкладення та можуть бути пов’язані з формуванням надмірної ванни розплаву, геометричною нестабільністю тонких стінок і появою напливів. Індекс I_SOLID формується під час охолодження в інтервалі солідус–ліквідус і враховує швидкість охолодження та положення температури всередині інтервалу кристалізації. У межах прийнятої моделі він розглядається як відносний числовий показник підвищеного ризику несприятливого тверднення, а не як безпосередня ймовірність виникнення фізичного дефекту. Індекс I_FUSION характеризує сумарний час перебування вище температури солідусу та відображає повторне нагрівання, тривалість активного переплавлення і умови теплової взаємодії між сусідніми проходами.

Практичний сенс використання системи індексів полягає в тому, що траєкторія оцінюється не одним параметром, а сукупністю локальних ознак. Ділянка може вважатися такою, що потребує коригування, якщо її індекси істотно відрізняються від значень на референтному прямолінійному проході, для якого формування теплового поля є стабільним. У дослідженні застосовано відносне порівняння з допуском 20 %. Такий критерій не є універсальним порогом дефектності, але дає змогу виявити аномальні фрагменти траєкторії ще до виготовлення фізичного зразка.

Розрахунки для характерних ділянок показали, що найбільша неоднорідність теплового стану виникає в місцях зближення суміжних проходів, на різких поворотах, а також поблизу точок початку і завершення сегментів. Для прямолінійної ділянки отримано найстабільніші значення накопичувальних показників. У кутовій зоні спостерігалося збільшення показників, пов'язаних із повторним нагріванням і тривалістю перебування матеріалу вище солідусу, тоді як у зоні паралельних суміжних проходів виявлено нерівномірність теплового перекриття. Отже, просторові поля індексів дозволяють не лише констатувати наявність проблемної ділянки, а й визначити її координати та пов'язати характер відхилення з конкретним елементом траєкторії.

З позиції технологічної підготовки це дає можливість використовувати індекси як критерій повноцінності траєкторії. Під повноцінною траєкторією в цьому випадку розуміється така послідовність проходів, за якої забезпечується достатнє теплове перекриття суміжних валиків без локального надмірного перегріву, а умови тверднення не мають різких просторових відхилень від референтного режиму. Якщо один або декілька індексів виходять за прийняті межі, траєкторія може бути скоригована шляхом згладжування поворотів, зміни черговості проходів, перенесення точок старту і зупинки, введення охолоджувальних пауз або локальної зміни параметрів процесу.

Окремим напрямом є використання індексів для прогнозування результату наплавлення. На поточному етапі вони можуть застосовуватися як прогностичні ознаки, що вказують, де з більшою ймовірністю слід очікувати недостатнє сплавлення, надмірне формування, нестабільність геометрії або несприятливі умови тверднення. Для переходу від якісної прогностичної оцінки до кількісного прогнозу необхідне експериментальне калібрування: результати моделювання мають бути зіставлені з фактичною шириною і висотою валиків, величиною перекриття, макроструктурою, пористістю та іншими контрольованими характеристиками. Після накопичення такої бази індекси можуть бути використані як вхідні ознаки для побудови емпіричних або статистичних моделей прогнозування результату WAAM-процесу.

Таким чином, накопичувальні теплові індекси доцільно розглядати як проміжну ланку між геометричним плануванням траєкторії та експериментальним наплавленням. Вони забезпечують формалізовану перевірку траєкторії за тепловою історією, локалізацію критичних фрагментів і обґрунтований вибір напрямку коригування. Запропонований підхід не замінює експериментальної валідації, однак дозволяє попередньо відбраковувати невдалі варіанти траєкторії та формує основу для подальшого прогнозування якості наплавленого шару.

Література

[1] Barath Kumar M. D., Manikandan M. Assessment of process parameters, residual stress mitigation, post treatments and finite element analysis simulations of wire arc additive manufacturing technique. *Metals and Materials International.* 2022. Vol. 28, No. 1. P. 54–111. https://doi.org/10.1007/s12540-021-01015-5

[2] Cambon C., Rouquette S., Bendaoud I., Bordreuil C., Wimpory R., Soulié F. Thermo-mechanical simulation of overlaid layers made with wire + arc additive manufacturing and GMAW–cold metal transfer. *Welding in the World*. 2020. Vol. 64, No. 8. P. 1427–1435. https://doi.org/10.1007/s40194-020-00951-x

[3] Goldak J., Chakravarti A., Bibby M. A new finite element model for welding heat sources. *Metallurgical Transactions B.* 1984. Vol. 15, No. 2. P. 299–305. https://doi.org/10.1007/BF02667333

[4] Biegler M., Wang J., Kaiser L., Rethmeier M. Automated tool-path generation for rapid manufacturing of additive manufacturing directed energy deposition geometries. *Steel Research International.* 2020. Vol. 91, No. 10. Article 2000017. https://doi.org/10.1002/srin.202000017

[5] Manko V. V. 3D thermal model of WAAM-CMT in ANSYS APDL for NAB [Data set] Zenodo. 2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.20382878

APPLICATION OF CUMULATIVE THERMAL INDICES FOR PRE-EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF WAAM DEPOSITION PATHS

Manko V. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A pre-experimental approach for assessing WAAM deposition paths using spatial fields of cumulative thermal indices is proposed. The indices derived from nodal temperature histories are used to identify local overheating, insufficient thermal overlap, reheating, and unfavorable solidification conditions. Comparison with a reference straight pass makes it possible to screen individual path fragments before physical deposition. After experimental calibration, the indices can be used as predictive features for estimating the expected bead-formation result.

Keywords: WAAM; CMT; deposition path; thermal simulation; cumulative thermal indices; prediction; propeller.

UDC 629.5.02

COMPARISON EVALUATION OF CONSTRUCTION SAFETY FOR GAS CARRIERS WITH SPHERICAL AND PRISMATIK CARGO TANKS WHEN COLLISION

Mykhaylov B.N.,
Ph.D., associated prof.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
borys.mykhailov@nuos.edu.ua

Abstract. The shipbuilders all over the world try to increase water transport safety in all directions and spheres of activity. So the vessel safety when collision is one of them and is very important. This work is devoted to the problem of construction safety comparison evaluation when collision for two most popular kinds of gas carries: with spherical and prismatic cargo tanks

Purpose–is an evaluation of construction safety of most popular kinds of gas carriers for comparison.

Keywords: ship; construction defense; collision;

Main part. The gas carriers cargo tank choice is a multi criteria task. One of the most important criteria is an ability of ship construction to consume maximum possible of strike energy when ships collision and stay afloat without accident cargo leak, t.i. to have when collision minimum ship lost probability. There are two main kinds of gas carriers in a world shipbuilding -with spherical and prismatic cargo tanks and in order to define the best for this criteria it is require to compare the ships with the same cargo capacity and speed first of all. The main construction defense parameter of any vessel is a permissible depth of possible damage and area of ship vertical projection of cargo zone.

The possible damage depth is considered to be the same for ship depth – from base line to upper desk line that makes it possible to consider the damage depth from side plates to matching cylinder with support ring of spheric cargo tanks but not till cargo tank sphere that significantly simplify the main task. In this case the ratio of areas bordered by damage depth on the half breadth projection in cargo zone of both kinds of gas carriers can be considered as a comparison criteria.

In Fig. 1 there is gas carriers cargo zones model with the same cargo capacity for spheric and prismatic cargo tanks, where the length of cargo zone L_t and double sides breadth b are considered to be the same.

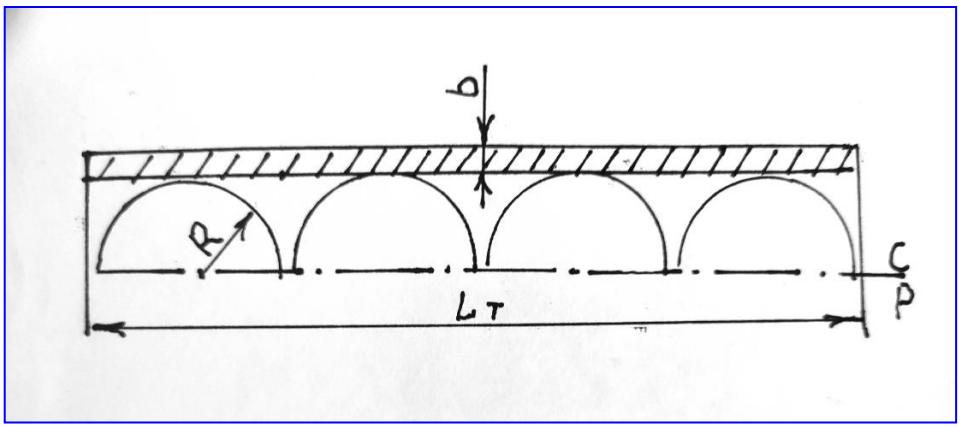


Figure 1 – Gas carriers with spherical and prismatic cargo tanks zones model

So the ratio of areas can be considered as a ratio of potential resistant strike energy when collision for both kinds of gas carriers taking in to account the distance of every area part from side plates.

$$Ssp /Spr = K(1+R/b -1.57nR^2/L_t R),$$

where Ssp – construction defense area for gas carriers with spherical cargo tanks
Spr– construction defense area for gas carriers with prismatic cargo tanks
K – efficiency coefficient
n – cargo tanks number
R – diameter of spherical cargo tanks

Conclusion. As a result there was confirmed an advantage of gas carriers with spherical cargo tanks over prismatic ones due to construction safety criterion when collision.

УДК 629.5.03:621.643.004.67

АНАЛІЗ ВИБОРУ СМОЛ ДЛЯ CIPP-РЕМОНТУ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ СЕУ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Авдюнін Р.Ю.,
викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики,
roman.avdiunin@nuos.edu.ua
Андреєв А.А.,
кандидат технічних наук, професор НУК
завідувач кафедри суднового машинобудування та енергетики
andrii.andreiev@nuos.edu.ua
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна,

Анотація: Наведено вичерпний аналіз вибору смол для технології відновлення трубопроводів за технологією CIPP (Cured-In-Place Pipe), орієнтований спеціально на суднові енергетичні установки (СЕУ) суден різного призначення. Системи СЕУ стикаються з екстремальними експлуатаційними навантаженнями, включаючи інтенсивні структурні вібрації, високі температурні градієнти та агресивні робочі середовища. Виконано узагальнену оцінку фізико-хімічних, механічних і термічних властивостей ненасичених поліефірних, вінілефірних та епоксидних смол. Особлива увага приділяється відповідності нормативним вимогам Міжнародної морської організації (IMO) та Кодексу FTP. Результати формують комплексну матрицю прийняття рішень, що надає морським інженерам надійний алгоритм вибору оптимальної смоли для CIPP залежно від конкретних підсистем СЕУ та експлуатаційних характеристик судна.

Ключові слова: CIPP, CTE, VE, UP, EP, UV-LED, ремонт трубопроводів.

Технологія CIPP (Cured-In-Place Pipe), яка передбачає встановлення гнучкого полімерного рукава (лайнера) всередину пошкодженої труби з його подальшим затвердінням (полімеризацією), стала інноваційною альтернативою підходу “cut-and-weld”. Проте, екстраполяція муніципального досвіду CIPP на морську індустрію, а особливо на системи СЕУ, вимагає глибокого перегляду критеріїв вибору застосовуваних матеріалів. У машинних відділеннях (Machinery Spaces of Category A) полімерна матриця композитної труби повинна витримувати не лише внутрішній гідростатичний тиск, а й відповідати жорстким вимогам Міжнародної морської організації (IMO) щодо пожежної безпеки, токсичності та надійності в умовах вібраційної втоми. Відтак, правильний вибір смоли (поліефірної, вінілефірної чи епоксидної) стає фундаментальним інженерним завданням, яке визначає структурну цілісність та життєвий цикл відновленого трубопроводу СЕУ.

Проєктування композитних матеріалів для СЕУ вимагає розуміння багатовимірної природи експлуатаційних навантажень. Температурний режим у машинному відділенні характеризується значними градієнтами. Трубопроводи гарячої та холодної води, пари або розігрітого мазуту створюють постійне циклічне термічне навантаження на стінки труб [1].

Поведінка полімерної смоли в таких умовах визначається її температурою склування та коефіцієнтом теплового розширення (КТР). Невідповідність КТР між базовою сталевою трубою та полімерним лайнером призводить до виникнення зсувних напружень на межі поділу «метал–полімер» [2]. Під час різких перепадів температури, наприклад, під час запуску систем охолодження забортною водою, слабка адгезія або недостатня еластичність смоли неминуче призведе до відшарування лайнера.

Крім того, головні двигуни, дизель-генератори та насоси генерують безперервну низько- та високочастотну вібрацію. Композитний CIPP-лайнер повинен володіти високою втомною міцністю, щоб запобігти поширенню мікротріщин у матриці смоли внаслідок постійних динамічних коливань8.

На ринку CIPP-матеріалів домінують три основні типи термореактивних смол, кожна з яких має специфічну молекулярну архітектуру, що визначає її придатність для використання в СЕУ.

Ненасичені поліефірні смоли (UP). Поліефірні смоли синтезуються шляхом поліконденсації дикарбонових кислот і багатоатомних спиртів. Вони є галузевим стандартом для берегових каналізаційних мереж завдяки низькій вартості та передбачуваності процесу затвердіння. Проте для трубопроводів СЕУ їх використання є вкрай обмеженим. Поліефіри характеризуються високою об’ємною усадкою (до 7 %), що унеможливлює створення щільного контакту зі стінкою сталевої труби [2; 3]. Крім того, наявність складноефірних зв’язків робить їх вразливими до лужного гідролізу, особливо в системах гарячої морської води (наприклад, у теплообмінниках СЕУ). Низька температура склування стандартних поліефірів не дозволяє використовувати їх у системах з робочою температурою вище 60–70 °C.

Вінілефірні смоли (VE). Вінілефірні смоли поєднують переваги епоксидної основи (зазвичай бісфенол-А або новолак) з акриловими або метакриловими реакційноздатними групами на кінцях ланцюгів. Ця гібридна структура забезпечує виняткову стійкість до хімічної агресії, гідролізу та впливу температур. Спеціалізовані новолачні вінілефіри здатні витримувати екстремальні температури та агресивні середовища, що робить їх ідеальними для систем очищення вихлопних газів (скруберів) і магістралей скидання агресивного конденсату в СЕУ [3, 4]. Покращена еластичність молекулярного ланцюга вінілефірів дає змогу краще поглинати вібраційні навантаження від суднових двигунів порівняно з крихкими поліефірами.

Епоксидні смоли (EP). Епоксидні компаунди, що складаються з епоксидної смоли та затверджувача (амінного або ангідридного), є золотим стандартом для напірних трубопроводів у машинних відділеннях. Їхня головна перевага – відсутність реактивних розріджувачів (100 % сухий залишок), що означає практично нульову емісію летких органічних сполук (ЛОС) і феноменально низьку усадку під час полімеризації (менше 3 %). Епоксидні матриці формують міцні ковалентні зв'язки з металевими поверхнями, забезпечуючи монолітну композитну дію зі сталевою трубою [4, 5]. Це критично важливо для паливних та масляних систем СЕУ, де будь-який зазор між лайнером і трубою є неприпустимим. Високий модуль пружності та стійкість до повзучості роблять епоксидні CIPP-системи єдиним надійним вибором для магістралей з високим робочим тиском.

Для систематизації характеристик наведено порівняльну таблицю ключових показників смол у контексті їх використання в СЕУ (табл. 1).

Таблиця 1 – Фізико-хімічні параметри термореактивних смол для CIPP-ремонту

Характеристика	Поліефірні (UP)	Вінілефірні (VE)	Епоксидні (EP)
Структурна міцність та модуль пружності	Низька / Середня	Висока	Дуже висока
Адгезія до сталі / чавуну	Низька (суто механічна)	Середня	Висока (хімічний зв'язок)
Усадка при затвердінні	5–7 %	3–7 %	< 3 %
Стійкість до гідролізу (гаряча морська вода)	Низька	Висока	Висока
Вміст ЛОС (стирол)	Високий (23–40 %)	Високий (до 40 %)	Відсутній (0 %)
Застосовність для систем СЕУ	Не рекомендується	Баластні води, скрубери	Паливні системи, мастило, охолодження

Термомеханічна повзучість та мікрокільцеві зазори. Проєктування товщини лайнера для напірних систем СЕУ базується на рівняннях ASTM F1216, які враховують модуль пружності матеріалу [6]. Однак, короткочасні випробування за ASTM D790 не відображають реальної поведінки полімеру протягом 50-річного життєвого циклу. Пластмаси піддаються повзучості (creep) – поступовій деформації під дією постійного навантаження (гідростатичного тиску, температури).

Для визначення довгострокового модуля пружності (EL, 50) проводяться випробування на повзучість за стандартом ASTM D2990 (або ISO 11296-4) тривалістю до 10 000 годин [7]. Розрахований коефіцієнт збереження міцності (CRF) для епоксидних смол є значно вищим (до 0,64), ніж для поліефірних, що дозволяє інженерам проєктувати тонші, але надійніші стінки лайнера для систем СЕУ, зберігаючи при цьому пропускну здатність труби.

Іншою критичною проблемою є мікрокільцевий зазор. Усадка смоли під час полімеризації, особливо під час екзотермічних реакцій, зменшує зовнішній діаметр лайнера, відриваючи його від стінки сталевої труби. Згідно з дослідженнями, збільшення кільцевого зазору з 0,5 до 1,0 % може знизити стійкість лайнера до зовнішнього гідростатичного тиску на 25 %, що є катастрофічним для труб, розташованих нижче ватерлінії (наприклад, кінгстонів, насосів охолодження). Епоксидні смоли, завдяки безстирольній природі та відсутності розчинників, мінімізують цей зазор, що робить їх безальтернативними для критичних вузлів СЕУ.

Нормативні вимоги морського регістру (IMO та FTP Code)

Будь-який полімерний матеріал, що впроваджується в конструкцію судна, проходить ретельну сертифікацію класифікаційних товариств (DNV, Lloyd's Register) на основі конвенції SOLAS та резолюцій IMO. Трубопроводи машинних відділень перебувають в епіцентрі уваги через високий ризик виникнення пожеж у разі витоку палива або мастила на гарячі поверхні двигуна.

Рівні вогнестійкості (Fire Endurance Levels)

Резолюція IMO A.753 (18) визначає три рівні вогнестійкості пластикових труб, які вимагаються залежно від середовища та локації (табл. 2) [8].

Смоли CIPP повинні відповідати цим рівням. Досягнення рівня L3 є відносно простим для вінілефірів та епоксидів, оскільки труба заповнена водою, яка відводить теплоту. Однак для паливних ліній СЕУ потрібен рівень L1. Це вимагає використання передових епоксидних систем з інтумесцентними (вогнезахисними) домішками, які утворюють вугільний бар'єр під час нагрівання, або зовнішньої теплоізоляції труб.

Таблиця 2 – Витяг з матриці вогнестійкості IMO A.753 (18) для систем СЕУ

Трубопровідна система СЕУ	**Локація: машинні відділення кат. А**	**Локація: інші машинні приміщення**	**Рівень вогнестійкості (IMO A.753)**
Паливні магістралі (Fuel oil)	X (не дозволено пластик без L1)	X	**L1** (1 година, сухий стан)
Циркуляція мастила (Lube oil)	X	X	**L1** (1 година, сухий стан)
Системи пожежогасіння	L1	L1	**L1** (1 година, сухий стан)
Охолодження забортною водою	L3	L3	**L3** (30 хвилин, заповнено водою)
Осушувальні (Bilge) системи	X	X	**L1** (1 година, сухий стан)

Примітка. "X" вказує на заборону або найсуворіші вимоги L1

Токсичність диму та поверхнева займистість

Крім вогнестійкості, лайнер повинен відповідати вимогам Міжнародного кодексу застосування процедур випробувань на вогнестійкість (FTP Code, Додаток 1, Частини 2 і 5). При контакті з вогнем полімер не повинен виділяти токсичні гази понад встановлені межі: чадний газ (CO) ≤ 1450 ppm, хлористий водень (HCl) ≤ 600 ppm тощо. Високоякісні епоксидні матриці генерують значно менше токсичного диму порівняно з поліефірними аналогами, що містять галогеновані антипірени.

Проблема викидів стиролу в СЕУ.

Процес полімеризації традиційних поліефірних і вінілефірних смол супроводжується інтенсивним виділенням стиролу – леткої органічної сполуки (ЛОС), яка є токсичною та потенційно канцерогенною. Затвердіння лайнера гарячою парою призводить до випаровування незв'язаного стиролу з конденсатом.

За нормативами NIOSH та OSHA, гранично допустима концентрація (PEL) стиролу становить 100 ppm для короткочасного впливу. Дослідження CIPP-проєктів показують, що в зоні парового вихлопу концентрація стиролу може досягати значень, які класифікуються як небезпечні для життя (IDLH).

Критеріальна матриця вибору смол для суден різного призначення.

На основі проаналізованих фізико-хімічних, механічних та нормативних факторів розроблено алгоритм вибору полімерної матриці CIPP для ключових систем СЕУ залежно від типу судна (табл. 3).

Таблиця 3 – Матриця прийняття рішень щодо вибору CIPP смол для СЕУ

Тип судна	**Тип системи СЕУ**	**Оптимальна смола (CIPP)**	**Рекомендований метод затвердіння**	**Інженерне та нормативне обґрунтування**
Вантажні судна (Балкери, Танкери)	Системи охолодження СДВЗ	Epoxy (EP) або Vinyl Ester (VE)	Циркуляція гарячої води або UV-LED	Висока стійкість до морської води. Достатня відповідність рівню L3 (IMO A.753). Епоксид кращий для запобігання мікрозазорам
	Системи очищення вихлопних газів (Скрубери)	Novolac Vinyl Ester (VE) з УФ-бар'єром	UV-LED	Необхідність протистояти сірчаній кислоті та високим температурам вихлопу УФ-бар'єр блокує виділення стиролу в приміщеннях
Пасажирські судна (Круїзні лайнери)	Всі системи СЕУ, санітарні стояки, кондиціону-вання	Epoxy (EP) (100 % Solids)	Ambient або гаряча вода	Абсолютна нульова толерантність до викидів стиролу через ризик отруєння пасажирів. Жорстка відповідність FTP Code Part 5 щодо димоутворення

Висновки. Інтеграція технології CIPP у морський сектор для ремонту СЕУ потребує суттєвого переосмислення стандартних берегових практик. Робоче середовище машинних відділень формує унікальний комплекс викликів: невідповідність коефіцієнтів теплового розширення, агресивні робочі середовища, постійна вібраційна втома та безапеляційні вимоги конвенції SOLAS і IMO щодо пожежної безпеки.

Спираючись на глибокий інженерний аналіз, можна стверджувати, що ненасичені поліефірні смоли (UP) є непридатними для ремонту магістралей СЕУ через високу термічну усадку, що призводить до втрати структурної стабільності, та неконтрольовані викиди стиролу. Вінілефірні (VE) смоли пропонують чудову хімічну стійкість та термічну стабільність, що робить їх ідеальними для високоагресивних середовищ (наприклад, скруберних установок), однак їх безпечне використання в машинних відділеннях вимагає переходу на технології безконтактного УФ-затвердіння та застосування газонепроникних покриттів.

Безперечним технологічним лідером для ремонту важливих трубопроводів СЕУ є епоксидні смоли (EP). Вони забезпечують безстирольне робоче середовище, що є життєво необхідним для здоров'я екіпажу в замкнутих просторах. Завдяки найвищим показникам адгезії до сталі та феноменально низькій усадці, епоксидні лайнери працюють як єдина композитна система з базовою трубою, ефективно протидіючи динамічним коливанням, повзучості під тиском (високий коефіцієнт CRF) та забезпечуючи відповідність суворим вимогам вогнестійкості (IMO A.753, L1-L3).

Правильний вибір полімерної матриці, узгоджений із розрахунками термомеханічних напружень методом скінченних елементів (FEM) та підтверджений випробуваннями на довговічність (ASTM D2990), гарантує судноплавним компаніям безпечне та економічно виправдане подовження життєвого циклу енергетичних установок на десятиліття.

Література

[1] National Association of Sewer Service Companies. (2023). NASSCO CIPP specification guideline. *NASSCO*. https://www.nassco.org/wp-content/uploads/2023/04/NASSCO-CIPP-Specification-Guideline_2023.pdf

[2] Trenchless Technology. (2009, August 1). Resin selection for cured-in-place-pipe applications. *Trenchless Technology Magazine*. https://trenchlesstechnology.com/resin-selection-for-curedinplacepipe-applications/

[3] Kaushal, V. A Comparative Review of Trenchless Cured-in-Place Pipe (CIPP) With Spray Applied Pipe Lining (SAPL) Renewal Methods for Pipelines. Frontiers in Water. https://doi.org/10.3389/FRWA.2022.904821

[4] Lechi Azraai, S.N.A. & Lim, K.S. & Yahaya, Nordin. (2018). INFILL MATERIALS OF EPOXY GROUT FOR PIPELINE REHABILITATION AND REPAIR. Malaysian Journal of Civil Engineering. 27. 162–167. https://www.researchgate.net/publication/275337805_INFILL_MATERIALS_OF_EPOXY_GROUT_FOR_PIPELINE_REHABILITATION_AND_REPAIR

[5] Azraai, S.N.A. & Lim, K.S. & Yahaya, Nordin. (2018). INFILL MATERIALS OF EPOXY GROUT FOR PIPELINE REHABILITATION AND REPAIR. *Malaysian Journal of Civil Engineering*. 27. 162–167. https://www.researchgate.net/publication/275337805_INFILL_MATERIALS_OF_EPOXY_GROUT_FOR_PIPELINE_REHABILITATION_AND_REPAIR

[6] ASTM International. (2012). ASTM F1216-12: Standard practice for rehabilitation of existing pipelines and conduits by the inversion and curing of a resin-impregnated tube. *ASTM International*. https://store.astm.org/f1216-09.html

[7] DatapointLabs. (n.d.). ASTM D2990: Standard test methods for tensile, compressive and flexural creep and creep-rupture of plastics. Applus+ DatapointLabs. https://www.datapointlabs.com/TestingCapabilities/Mechanical/Creep

[8] International Maritime Organization. (1993). Guidelines for the application of plastic pipes on ships (Resolution A.753 (18)). https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.753%2818%29.pdf

ANALYSIS OF RESIN SELECTION FOR CIPP REHABILITATION OF PIPELINE SYSTEMS IN MARINE POWER PLANTS OF VARIOUS PURPOSES

Avdiunin R., Andreiev A.

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of resin selection for Cured-In-Place Pipe (CIPP) rehabilitation technology, specifically tailored to marine power plants (MPPs) across various vessel types. MPP systems are subjected to extreme operational loads, including severe structural vibrations, high-temperature gradients, and harsh operating environments. A generalized evaluation of the physicochemical, mechanical, and thermal properties of unsaturated polyester, vinyl ester, and epoxy resins has been conducted. Particular attention is given to compliance with the International Maritime Organization (IMO) regulatory requirements and the Fire

Test Procedures (FTP) Code. The results culminate in a comprehensive decision-making matrix that provides marine engineers with a robust algorithm for selecting the optimal CIPP resin based on specific MPP subsystems and vessel operational profiles.

Keywords: CIPP, CTE, VE, UP, EP, UV-LED, pipeline rehabilitation.

УДК 629.5.03:621.643.004.67

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТРУБОПРОВОДІВ CURED-IN-PLACE PIPE ДЛЯ РЕМОНТУ КОНТУРІВ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕУ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Авдюнін Р.Ю.,
викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики,
roman.avdiunin@nuos.edu.ua
Вагін Ф.І.,
завідувач лабораторіями кафедри суднового машинобудування та енергетики,
fedir.vahin@nuos.edu.ua
Лубянський Р.А.,
здобувач вищої освіти кафедри суднового машинобудування та енергетики
roman1983lub@ukr.net
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація: У роботі розглядається застосування інноваційної технології «труба в трубі» (Cured-in-Place Pipe – CIPP) з використанням спеціалізованої технології CrownLINER Marine для відновлення трубопроводів контурів охолодження суднових енергетичних установок (СЕУ). Проаналізовано узагальнену проблематику корозійного та ерозійного зношення систем СЕУ. Визначено ключові переваги методу, зокрема, можливість виконання ремонту трубопроводів без вогневих робіт, демонтажу перебірок та тривалого виведення судна з експлуатації.

Ключові слова: CIPP, CrownLINER Marine, система охолодження, ремонт трубопроводів, корозія.

Надійність роботи СЕУ критично залежить від безперебійного функціонування систем охолодження. Експлуатація трубопроводів забортної води супроводжується інтенсивним впливом агресивного морського середовища, що призводить до:

- гальванічної та хімічної корозії;
- абразивного зносу (через пісок і домішки у воді);
- біологічного обростання внутрішніх стінок.

Традиційний ремонт (заміна ділянок труб) ускладнюється щільним компонуванням машинного відділення, необхідністю різання перебірок, виконанням вогневих робіт та потребою в докуванні судна. Це зумовлює високі фінансові витрати та простої флоту.

Технологія CIPP (Cured-in-Place Pipe) передбачає створення нової труби всередині існуючої, зношеної магістралі (рис. 1) [1]. Рішення CrownLINER Marine спеціально адаптоване для морських умов і суднобудівних стандартів [2].

Процес включає кілька етапів:

- *діагностика та очищення:* відеоінспекція (за допомогою ендоскопа), механічне або гідродинамічне очищення внутрішньої поверхні старої труби від іржі та обростань;
- *встановлення лайнера:* введення гнучкого полімерного рукава (лайнера), просоченого спеціальними епоксидними або вінілефірними смолами, у пошкоджений трубопровід (методом інверсії або протягування);
- *полімеризація:* затвердіння смоли під впливом гарячої води, пари або ультрафіолетового випромінювання (рис. 2);
- *фінальний контроль:* повторна відеоінспекція та тестування системи під тиском.

Суднові трубопроводи інколи мають складну геометрію: безліч відводів під кутом 90°, звуження, трійники та переходи діаметрів. Гнучкість матеріалів під час застосування технології CrownLINER Marine дозволяє лайнеру безшовково адаптуватися до цих змін, не утворюючи складок і зберігаючи структурну міцність [3; 4].

а) б)

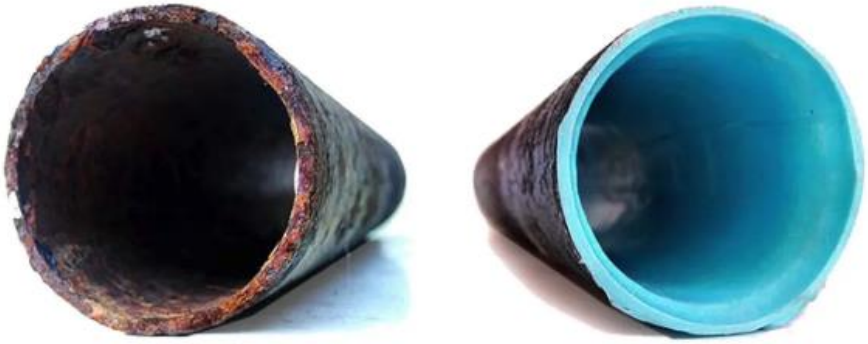


Рисунок 1 – Пошкоджений (зношений) трубопровід внаслідок впливу агресивних складових навколишнього середовища (а), після використання класичної CIPP (б)



Рисунок 2 – Полімеризація лайнера за допомогою ультрафіолетового випромінювання

Морська галузь суворо регулюється, і заміна металевих труб на полімерні матеріали в критично важливих системах (таких, як системи охолодження СЕУ) вимагає обов'язкового схвалення від членів Міжнародної асоціації класифікаційних товариств (IACS). Провідні товариства, такі як DNV, Lloyd's Register (LR), American Bureau of Shipping (ABS) та Bureau Veritas (BV), мають чіткі протоколи сертифікації CIPP-систем [5; 6].

Типове схвалення (Type Approval). Матеріали, що використовуються в системі CrownLINER Marine (епоксидні /вінілефірні смоли та армуючий рукав), проходять суворі лабораторні випробування для отримання сертифіката Type Approval. Це означає, що матеріал визнано придатним для використання на суднах.

Для отримання цього сертифіката система CIPP повинна успішно пройти такі тести:

- *вогнестійкість та димоутворення (Fire Endurance):* оскільки труби часто проходять через машинні відділення, полімерний лайнер не повинен підтримувати горіння або виділяти токсичний дим. Матеріали тестуються на відповідність вимогам IMO (Міжнародної морської організації) щодо поширення полум'я;
- *гідравлічні випробування (Burst Pressure):* лайнер повинен витримувати робочий тиск системи з багаторазовим запасом міцності (зазвичай системи охолодження працюють під тиском до 10–16 бар, тоді як тестовий тиск на розрив може перевищувати 40 бар);
- *хімічна та температурна стійкість:* Матеріал перевіряється на стійкість до тривалого впливу гарячої морської води, нафтопродуктів, мастил і засобів хімічного очищення;
- *стійкість до вібрацій:* суднові трубопроводи піддаються постійній вібрації від головних двигунів. CIPP-лайнер тестується на втому матеріалу, щоб підтвердити відсутність розтріскування з часом.

Обмеження застосування (Class of Piping). За правилами IACS, технології типу CIPP зазвичай схвалюються для трубопроводів III класу (Class III piping systems). До них належать:

- контури охолодження забортною та прісною водою;
- баластні системи;
- стічні та каналізаційні труби (чорні та сірі води);

- дренажні системи та шпігати.

Слід зазначити, що використання CIPP наразі не дозволяється для систем подачі палива під високим тиском або систем пожежогасіння без спеціальних додаткових погоджень.

Вимоги до процесу монтажу та здачі робіт. Наявність сертифікованого матеріалу – це лише половина вимог. Класифікаційні товариства також регламентують сам процес ремонту:

- *акредитація підрядника:* компанія, що виконує монтаж CrownLINER Marine, повинна мати статус схваленого постачальника послуг (Approved Service Supplier);
- *нагляд інспектора (Surveyor Witness):* процес встановлення лайнера на судні часто потребує присутності інспектора класу;
- *фінальне тестування:* після полімеризації труби обов'язково проводиться гідравлічне опресовування (Hydrostatic Test) у присутності інспектора. Лише після успішного тесту інспектор вносить запис до регістрових документів судна про законність проведеного ремонту.

Висновки. Використання технології CIPP із застосуванням матеріалів CrownLINER Marine є сучасною, економічно обґрунтованою технологією відновлення контурів охолодження СЕУ. Важливою перевагою впровадження CIPP-систем, таких як CrownLINER Marine, є їхня повна відповідність вимогам Міжнародної асоціації класифікаційних товариств (IACS). Компоненти системи мають типові схвалення (Type Approval) від провідних регістрів (DNV, Lloyd's Register), що підтверджують їхню пожежну безпеку, механічну міцність, стійкість до вібрацій та агресивного морського середовища. Ремонт за цією технологією визнається класифікаційними товариствами як повноцінна альтернатива заміні металевих труб для систем охолодження та баласту (Class III), за умови проходження фінальних гідравлічних випробувань у присутності інспекції.

Використання технології CIPP дозволяє скоротити час ремонту контурів охолодження в середньому на 65–70 %. Основна економія часу досягається тим, що не потрібно розбирати суднові перебірки, демонтувати сусіднє обладнання та виконувати небезпечні вогневі роботи (зварювання). Поки традиційний ремонт ще перебуває на стадії підготовки та демонтажу, система CrownLINER Marine вже повністю полімеризувалася і готова до гідравлічних випробувань. Для судновласника це означає кардинальне скорочення часу простою та значну економію коштів.

Відсутність вогневих робіт: нульовий ризик пожежі в машинному відділенні дозволяє проводити ремонт навіть під час вантажних операцій або стоянки в порту.

Економічна ефективність: усувається потреба в демонтажі суднових конструкцій, ізоляції та трубопроводів, розташованих поруч.

Гідродинаміка: нова внутрішня поверхня має мінімальну шорсткість, що знижує гідравлічний опір і навантаження на насоси СЕУ.

Довговічність: затверділий лайнер утворює монолітну структуру, повністю стійку до морської води та гальванічної корозії. Очікуваний термін служби відновленої ділянки перевищує 50 років.

Література

[1] Kampbell, N. E., & Simicevic, J. (Eds.). (2021). Design of close-fit liners for the rehabilitation of gravity pipes (Manual of Practice No. 145). American Society of Civil Engineers.

[2]. Crowned Marine. (n.d.). CrownLINER cure-in-place piping (CIPP) solution. Retrieved August 22, 2026, from https://crownedmarine.com/crownliner-cure-in-place-piping-cipp-solution/

[3]. Hu, L., Zhang, B., & Yang, K. (2023). Numerical study on mechanical properties of corroded pipes before and after cured-in-place-pipe rehabilitation. *Sustainability*, 15 (11), 8586. https://doi.org/10.3390/su15118586

[4]. Kimley-Horn. (2025). Cured-in-place pipe rehabilitation: Proven trenchless technology. Kimley-Horn Publications. https://www.kimley-horn.com/news-insights/perspectives/cured-in-place-pipe-rehabilitation-protecting-sensitive-terrain/

[5]. Weldmaster. (2021, March 15). The 5 factors to consider when choosing the right machine to weld your CIPP liner. Miller Weldmaster. https://www.weldmaster.com/blog/the-5-factors-to-consider-when-choosing-the-right-machine-to-weld-your-cipp-liner

[6]. Yang, K., Ji, J., & Fang, Z. (2021). Full-scale experimental investigation of the mechanical characteristics of corroded buried concrete pipes after cured-in-place-pipe rehabilitation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 117, 104153. https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104153

CIPP CROWNLINER MARINE PIPELINE REHABILITATION TECHNOLOGY FOR REPAIRING COOLING SYSTEM CIRCUITS OF VARIOUS MARINE POWER PLANTS

Avdiunin R., Vahin F., Lubyanskiy R.

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines the application of the innovative “pipe-in-pipe” technology, namely Cured-in-Place Pipe (CIPP), using the specialized CrownLINER Marine system to rehabilitate cooling circuit pipelines in marine power plants (MPP). A comprehensive analysis of the overarching issues associated with the corrosive and erosive wear in MPP systems is provided. Furthermore, the key advantages of this method are evident, notably the feasibility of conducting pipeline repairs without hot work, bulkhead dismantling, or prolonged vessel downtime.

Keywords: CIPP, CrownLINER Marine, cooling system, pipeline rehabilitation, corrosion.

УДК 62:004.925.8

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ (3D-ДРУК) У СУДНОВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Авдюнін Р.Ю.,
викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
roman.avdiunin@nuos.edu.ua
Колесников О.В.,
морський суперінтендант та портовий капітан,
морська компанія “FANTASEA Ship Management”, м. Миколаїв, Україна
kolesnykov83@gmail.com
Білоус А.О.,
здобувач вищої освіти кафедри суднового машинобудування та енергетики
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
zemspawn@gmail.com

Анотація: Здійснено аналіз впровадження адитивного виробництва (АВ, 3D-друк) для швидкого виготовлення та ремонту запасних частин у судновому машинобудуванні. Досліджено передовий досвід США, зокрема, функціонування Центру передового досвіду з адитивного виробництва у Данвіллі (штат Вірджинія) та розгортання гібридних систем 3D-друку безпосередньо на борту USS Bataan з метою подолання логістичних затримок і нівелювання ризиків, пов’язаних із застарілістю деталей. Проаналізовано європейський комерційний досвід впровадження цифрових ланцюгів постачання та великогабаритного електродугового наплавлення дротом (WAAM) компанією Pelagus 3D. Окремо розглянуто проблеми стандартизації, кваліфікації та сертифікації морських адитивних компонентів відповідно до глобальних норм DNV-ST-B203, AWS D20.1 та керівництв Bureau Veritas.

Ключові слова: MAM, Phillips Additive Hybrid, TDP, DNV-ST-B203, AMC.

Глобальні перебої у ланцюгах постачання, геополітична нестабільність, економічні кризи та природне фізичне старіння морських експлуатованих платформ вимагають перегляду традиційних підходів до технічного обслуговування суден. Для великих комерційних судноплавних компаній проблема забезпечення запасними частинами ускладнюється явищем морального й фізичного старіння. Комерційні судна проєктуються для експлуатації протягом кількох десятиліть, проте оригінальні виробники обладнання (OEM) часто припиняють випуск специфічних деталей, банкрутують або втрачають виробниче оснащення (ливарні форми). Як наслідок, коли традиційні методи лиття та кування вимагають до 40 тижнів для виготовлення однієї специфічної деталі, рентабельність флоту критично знижується.

Адитивне виробництво металів (Metal Additive Manufacturing, MAM) пропонує парадигмальний зсув у вирішенні цих логістичних вузьких місць. Технології 3D-друку, які розглядаються як один із ключових стовпів четвертої промислової революції [1], дозволяють перейти від традиційної моделі управління фізичними складськими запасами до концепції «цифрових складів» (digital inventories). У цій новій парадигмі геометрія деталей, специфікації матеріалів та параметри процесу зберігаються у вигляді пакетів технічних даних (Technical Data Packages, TDP). Ці дані можуть бути миттєво передані через захищені

канали зв'язку в будь-яку точку світу – на передову берегову базу, суднобудівне підприємство або безпосередньо на борт судна, що перебуває у відкритому морі.

Інтеграція MAM у морську логістику не лише радикально скорочує час виконання замовлень з місяців до лічених днів, а й дозволяє відновлювати зношені компоненти, оптимізувати топологію деталей для зменшення ваги та консолідувати складні збірки в єдині монолітні структури (табл. 1) [2]. Наукові дослідження, опубліковані у провідних наукометричних базах, переконливо доводять, що MAM здатне нівелювати ризики відсутності деталей на складі та мінімізувати вплив варіативності попиту на критичні компоненти.

Таблиця 1 – Порівняльний інженерний аналіз ключових технологій металевого адитивного виробництва для суднового машинобудування

Характеристика	**WAAM (DED-Arc)**	**Гібридний LMD (DED-LB + ЧПК)**	**PBF (синтез на порошковому шарі)**	**CSAM (холодне напилення)**
Основа процесу	Плавлення електричною дугою	Плавлення лазером + фрезерування	Плавлення лазером / е-променем	Надзвукова кінетична деформація
Сировина	Металевий дріт	Металевий дріт або порошок	Металевий порошок	Металевий порошок
Температурний режим	Високий (розплавлення)	Високий (розплавлення)	Високий (розплавлення)	Низький (твердотільний)
Швидкість нарощування	Дуже висока (до кількох кг/год)	Середня	Низька	Висока
Точність та фініш поверхні	Низька (потребує фрезерування)	Дуже висока (завдяки вбудованому ЧПК)	Дуже висока	Середня
Розмір деталі	Практично необмежений	Обмежений розміром верстата ЧПК	Обмежений камерою принтера	Практично необмежений
Оптимальне застосування у судновому машинобудуванні	Фланці, корпуси, гребні гвинти	Прецизійні клапани, насоси	Складні легкі деталі	Ремонт зношених валів, антикорозія

Сполучені Штати Америки розглядають адитивні технології як фундаментальний елемент національної безпеки, здатний забезпечити децентралізацію виробництва та стійкість ланцюгів постачання в умовах потенційних глобальних конфліктів. Інституціалізація цього підходу відбувається за двома паралельними напрямами: розбудова надсучасної берегової інфраструктури для розробки специфікацій і безпосереднє тактичне розгортання принтерів на бойових кораблях.

Універсальний десантний корабель USS Bataan (LHD 5) увійшов в історію як перший корабель, на якому було перманентно встановлено гібридну металеву систему 3D-друку Phillips Additive Hybrid [3]. Враховуючи жорсткі просторові обмеження корабля, ця система є шедевром оптимізації: вона інтегрує головку для лазерного нанесення металевого дроту від іспанської компанії Meltio3D безпосередньо у фрезерний верстат з ЧПК Haas TM-1, який довів свою надійність в умовах хитавиці на авіаносцях [4]. Використання дроту з нержавіючої сталі 316L замість порошку гарантує безпеку екіпажу та стабільність процесу. Система дозволяє спочатку наплавити заготовку потрібної форми, а потім тією ж машиною виконати фінішне фрезерування поверхонь з дотриманням мікронних допусків, уникаючи транспортування деталі між верстатами. Разом із встановленим полімерним принтером екіпаж USS Bataan отримав доступ до понад 300 цифрових пакетів (TDP), розроблених NAVSEA, що дозволяє друкувати крильчатки насосів, фланці та клапани прямо в океані.

На відміну від американського військового фокусу, європейський підхід до морського 3D-друку зосереджений на комерційній колаборації між великими промисловими корпораціями, сертифікаційними товариствами та науково-дослідними лабораторіями. Основний акцент робиться на економічній доцільності ремонту великогабаритних елементів і створенні відкритих B2B-платформ.

Справжньою комерційною інновацією стало створення *Pelagus 3D* – спільного підприємства німецького промислового гіганта ThyssenKrupp Materials Services GmbH та глобальної морської логістичної групи Wilhelmsen [5]. *Pelagus 3D* функціонує як децентралізована цифрова платформа або маркетплейс, що об'єднує суднoплавні компанії, оригінальних виробників обладнання (OEM) та кваліфіковані центри 3D-друку по всьому світу. Замість того, щоб судно, яке зламалося поблизу Сінгапуру,

чекало на доставку масивної запчастини з Європи протягом місяця, *Pelagus 3D* алгоритмічно підбирає сертифікований 3D-принтер безпосередньо у сінгапурському порту, передає туди ліцензовану 3D-модель і організовує доставку готової деталі на борт за лічені дні [5]. Це не лише скорочує час простою суден, а й радикально зменшує викиди CO_2 від логістики.

В Азії подібні тенденції також набирають обертів. Наприклад, японська компанія Promethean Co., Ltd. успішно проходить сертифікацію виробничих потужностей за стандартом DNV-ST-B203 для здійснення спеціалізованого ремонту металевих компонентів за допомогою технології DED на своєму заводі у місті Фудзісаві [6].

Незважаючи на технологічний прогрес, головною перепоною для масштабного впровадження металевого 3D-друку в критичні системи суден (СДВЗ, системи високого тиску, несучі конструктивні елементи корпусу) є забезпечення довіри до надійності надрукованих деталей. Традиційні норми проєктування створювалися десятиліттями на основі статистики для литих і кованих металів. Для адитивного виробництва відповідні стандарти та протоколи активно розробляються провідними класифікаційними товариствами [7].

Глобальний стандарт DNV-ST-B203. Норвезьке класифікаційне товариство DNV є безперечним світовим піонером у регулюванні морського адитивного виробництва. Фундаментальний стандарт DNV-ST-B203 (Additive manufacturing of metallic parts) охоплює ключові технології: DED-Arc (WAAM), DED-LB, PBF-LB, PBF-EB, а також струменеве нанесення в'яжучого матеріалу (Binder Jetting). Нещодавні оновлення стандарту також включили регулювання полімерних матеріалів.

Найбільш значущою архітектурною інновацією DNV-ST-B203 є запровадження класів критичності деталей (Additive Manufacturing Criticality, AMC). Цей ризик-орієнтований підхід дозволяє оптимізувати економіку виробництва: якщо деталь не несе критичного структурного навантаження (низький клас AMC), вона потребує мінімального обсягу неруйнівного контролю (NDT) після виробництва, наприклад, лише візуального огляду та пенетрантної дефектоскопії (капілярний контроль). Проте, для висококритичних компонентів (наприклад, елементів корпусу високого тиску) стандарт вимагає абсолютної відстежуваності матеріалів, 100 % радіографічного контролю (X-ray/CT) або ультразвукової дефектоскопії (UT), а також проведення руйнівних тестів на контрольних зразках, надрукованих на тій же платформі паралельно з основною деталлю. Нова версія стандарту також стимулює інновації, пов'язані з «керованими даними виробництва» (data-driven manufacturing) та внутрішньопроцесовим моніторингом, що в майбутньому дозволить зменшити потребу у складному постобробному інспектуванні, а також уперше вводить розрахунки вуглецевого сліду (CO_2) для підтвердження екологічності процесу.

Взаємодія стандартів: AWS D20.1, Bureau Veritas та API 20S. В американській юрисдикції Американське товариство зварювання (AWS) випустило детальну специфікацію AWS D20.1/D20.1M – Specification for Fabrication of Metal Components Using Additive Manufacturing. Цей документ є фактично базовим для постачальників ВМС США. Структура AWS D20.1 вимагає проходження незалежної сертифікації трьох ключових елементів: технологічної процедури (Procedure Qualification), самого виробничого обладнання/верстата (Machine Qualification) та кваліфікації оператора (Operator Qualification). Експерти зазначають, що сертифікація за AWS D20.1 не гарантує автоматичного схвалення деталей для офшорного використання згідно з DNV-ST-B203 або стандартами нафтогазової галузі API 20S; кожен інституційний покупець може вимагати додаткового проходження специфічного галузевого аудиту.

Міжнародна асоціація класифікаційних товариств (IACS) також випустила керівний документ Recommendation No. 186, який став основою для політик Bureau Veritas, Lloyd's Register та American Bureau of Shipping. Підхід цих глобальних товариств здебільшого полягає у наданні «Сертифіката схвалення виробника» (Manufacturer Approval), що підтверджує системну здатність конкретного заводу чи об'єкта стабільно дотримуватися системи управління якістю (QMS) у процесі адитивного виробництва, а не лише сертифікувати кожну окрему деталь.

Висновки

1. Перехід від утримання масивних фізичних запасів до управління розподіленими «цифровими складами» (як це демонструють платформа *Pelagus 3D* та ініціативи AM CoE ВМС США) докорінно змінює профіль логістичних ризиків. Якщо раніше критичною загрозою було фізичне перехоплення або затримка суден постачання, то зараз фокус вразливості зміщується у площину кібербезпеки. Гарантування цілісності та захист пакетів технічних даних (TDP) від кібератак і підміни параметрів стають базовими питаннями національної безпеки.
2. Технології холодного газодинамічного напилення (CSAM) та дугового наплавлення (WAAM) зміщують індустріальний акцент із виробництва нових запчастин на локалізований ремонт і відновлення зношених. Враховуючи високу вартість специфічних морських сплавів та масивність деталей, відновлення початкової геометрії за допомогою адитивного наплавлення матеріалу (наприклад, система MaxQ Repair від RAMLAB) дозволяє знизити вуглецевий слід і фінансові витрати на порядки порівняно з відливанням і доставкою повністю нової деталі.

3. Найскладнішою проблемою залишається верифікація якості деталі, виготовленої в нестабільних вібраційних умовах відкритого моря. Оскільки типове судно неможливо обладнати стаціонарними рентгенівськими комп'ютерними томографами для контролю кожної надрукованої клапанної кришки, майбутнє сертифікації лежить у площині моніторингу процесу в реальному часі (In-Situ Monitoring). Відповідно до тенденцій нових стандартів DNV-ST-B203, якщо алгоритми штучного інтелекту принтера здатні підтвердити, що кожний міліметр зварювальної ванни відповідав ідеальним термомеханічним параметрам під час друку, потреба у постобробному руйнівному контролі буде мінімізована.

4. Технологічна здатність подолати проблему морального та фізичного старіння деталей дозволяє суттєво подовжити ефективний життєвий цикл експлуатації існуючих флотилій. Замість виведення суден з експлуатації чи тривалого простою в доках через відсутність критичного кронштейна або крильчатки насоса металевий 3D-друк забезпечує сталу операційну готовність, що економить колосальні ресурси оборонних та комерційних бюджетів у глобальному масштабі.

Література

[1] Alogla, Ageel. (2023). Metal Additive Manufacturing for Industry 4.0 Aerospace: Review and Research Agenda. https://10.20944/preprints202308.1052.v1.

[2] Preprints.org. (2023). Metal additive manufacturing for Industry 4.0 aerospace. https://www.preprints.org/manuscript/202308.1052

[3] Naval Sea Systems Command. (2022, November 9). Metal 3D printer installed on USS Bataan. *U.S. Navy*. https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article/3209856/metal-3d-printer-installed-on-uss-bataan/

[4] Wakefield, E. (2022, November 6). *US Navy installs first metal 3D printer onboard USS Bataan*. VoxelMatters. https://www.voxelmatters.com/us-navy-installs-first-metal-3d-printer-onboard-uss-bataan/

[5] Pelagus 3D established to bring AM to global maritime industry. (n.d.). *Metal Additive Manufacturing*. Retrieved from https://www.metal-am.com/pelagus-3d-established-to-bring-additive-manufacturing-to-global-maritime-industry/

[6] AM Insight Asia. (2026, August 13). *Korean Register certifies AM Solutions' metal 3D printing repair process*. https://aminsightasia.com/news/kr-am-solutions-repair-certification/

[7] Chen, Z., Han, C., Gao, M., Kandukuri, S. Y., & Zhou, K. (2022). A review on qualification and certification for metal additive manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping, 17* (2), 382–405. https://doi.org/10.1080/17452759.2021.2018938

ADDITIVE TECHNOLOGIES (3D PRINTING) IN SHIPBUILDING AND MARINE ENGINEERING

[1]Avdiunin R., [2]Kolesnykov O., [1]Bilous A.

[1]Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

[2]FANTASEA Ship Management Marine Company

Abstract. An analysis of the implementation of additive manufacturing (AM, 3D printing) for the rapid production and repair of spare parts in marine engineering has been conducted. The advanced practices of the United States were investigated, particularly the operation of the Additive Manufacturing Center of Excellence in Danville, Virginia, and the deployment of hybrid 3D printing systems directly aboard the USS Bataan, aimed at overcoming logistical delays and mitigating the risks of part obsolescence. Furthermore, the European commercial experience in implementing digital supply chains and large-scale Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) by the company Pelagus 3D was analyzed. Special attention is given to the challenges of standardization, qualification, and certification of maritime additive components in accordance with global standards such as DNV-ST-B203, AWS D20.1, and Bureau Veritas guidelines.

Keywords: MAM, Phillips Additive Hybrid, TDP, DNV-ST-B203, AMC

УДК 629.5:658.5

УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Баліцька А.В.,
магістрантка кафедри Суднобудування та ремонту суден
albalitskaya@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто комплексну підготовку виробництва (КПВ) у суднобудуванні як взаємопов'язану систему конструкторських, технологічних, організаційних, матеріально-технічних, кадрових та інформаційних заходів. Проаналізовано основні етапи КПВ і визначено роль цифрових технологій у забезпеченні узгодженості рішень протягом життєвого циклу судна. Обґрунтовано доцільність інтеграції CAD/CAM/CAE, спеціалізованих суднобудівних САПР, PLM-підходів та стандартизованого обміну даними STEP. Сформовано структурно-логічний підхід до організації КПВ верфі, у якому цифрова інтеграція розглядається як зв'язувальний елемент між проєктуванням, технологічною підготовкою, плануванням ресурсів і виробництвом. Визначено напрями практичного вдосконалення КПВ з урахуванням сучасних умов українського суднобудування.

Ключові слова: комплексна підготовка виробництва, суднобудування, верф, технологічна підготовка, CAD/CAM/CAE, САПР, PLM, цифровізація, стандартизація, STEP.

Вступна частина. Сучасне суднобудівне підприємство функціонує в умовах підвищених вимог до скорочення виробничих циклів, раціонального використання ресурсів, технологічної готовності, якості та безпеки. Для українського суднобудування ці вимоги доповнюються необхідністю модернізації виробничої бази, розвитку кадрового потенціалу, забезпечення стійкості постачання та гнучкої перебудови виробничих процесів.

Комплексна підготовка виробництва є системою взаємопов'язаних заходів, що забезпечують перехід від задуму та проєктування виробу до його освоєння і виготовлення. Специфіка суднобудування полягає у складності конструкції судна, значній номенклатурі деталей і матеріалів, тривалих виробничих циклах та необхідності координації великої кількості підрозділів. Тому ефективність КПВ визначається не окремими технологічними рішеннями, а узгодженістю даних і рішень на всіх етапах підготовки.

Мета роботи. Метою роботи є узагальнення організаційно-технологічних засад комплексної підготовки виробництва у суднобудуванні та обґрунтування напрямів її удосконалення на основі цифрової інтеграції конструкторської, технологічної, організаційно-економічної та інформаційної складових.

Основна частина. У структурі КПВ доцільно виділяти дослідницьку, конструкторську, технологічну, організаційно-економічну, матеріально-технічну, кадрову та інформаційно-програмну складові. Їх взаємодія забезпечує готовність підприємства до виконання виробничої програми. Комплексність означає узгодження рішень щодо конструкції судна, технології його виготовлення, обладнання, матеріалів, трудових ресурсів, планування та контролю якості.

Для українського суднобудування актуальними залишаються технічне зношення основних фондів, недостатня модернізація обладнання, нестабільність фінансування, залежність від імпортних матеріалів і комплектуючих, дефіцит кваліфікованих кадрів, конкуренція на міжнародному ринку, а також воєнні та логістичні ризики. За таких умов КПВ має забезпечувати не лише технологічну готовність, а й гнучкість підприємства щодо зміни номенклатури, кооперації та ресурсного забезпечення.

Важливим елементом КПВ є дотримання принципів спеціалізації, диференціації та концентрації, паралельності й пропорційності, безперервності та ритмічності, прямоточності, автоматичності та гнучкості. Для суднобудування особливого значення набуває поєднання спеціалізації з гнучкістю, оскільки підприємства можуть працювати в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва.

Життєвий цикл продукції в системі КПВ охоплює розроблення, освоєння, виробництво, реалізацію та утилізацію. На дослідницькому етапі виконуються дослідження та аналіз технічних рішень; конструкторська підготовка передбачає розроблення креслень, 3D-моделей і конструкторської документації; технологічна підготовка включає вибір процесів, нормування, розроблення маршрутів та операцій; організаційна підготовка пов'язана з формуванням виробничої структури, плануванням ресурсів і матеріально-технічним забезпеченням. Завершальним результатом є технологічна готовність підприємства до виготовлення продукції з установленими показниками якості та строками.



Рисунок 1 – Основні етапи підготовки суднобудівного виробництва

Для малотонажної верфі характерна спрощена структура, але основні стадії КПВ зберігаються. Їх виконання може здійснюватися меншою командою або частково передаватися на аутсорсинг, що підвищує вимоги до інформаційної узгодженості та контролю передавання даних між учасниками кооперації.

Суднобудування має переважно одиничний або дрібносерійний характер. Унікальність кожного судна ускладнює стандартизацію, тому цифрові технології доцільно використовувати не лише для автоматизації окремих операцій, а й для повторного використання структурованих даних, типових рішень та технологічних процедур.

Для малотонажної верфі характерні:

- менші інвестиційні можливості;
- більша гнучкість виробництва;
- застосування алюмінієвих і композитних матеріалів;
- орієнтація на спеціалізовані та локальні ринки;
- спрощена система управління та кооперації.

Проте такі підприємства особливо залежать від імпортних комплектуючих, валютних коливань, сезонності замовлень і доступності виробничих ресурсів. Це підсилює роль попереднього планування, цифрового обліку матеріалів та оперативного коригування виробничих планів.

Шляхи вирішення та перспективи. Удосконалення КПВ доцільно пов’язувати з цифровізацією 3D-проєктування, PLM та CAD/CAM/CAE-систем, упровадженням принципів Lean production, розвитком кооперації, підвищенням кваліфікації персоналу та модернізацією виробничої бази. Перспективним є також поєднання цифрових інструментів із рішеннями щодо ресурсоефективності та екологізації суднобудування.

– державні програми підтримки суднобудування;
– податкові стимули для локалізації виробництва;
– впровадження принципів “Lean production”;
– цифровізацію (3D-моделювання, PLM-системи);
– кооперацію з міжнародними партнерами;
– створення навчально-виробничих центрів;
– перехід до «зеленого» суднобудування (електродвигуни, гібридні системи).

Перспективним напрямом для українських підприємств є розвиток річкового транспорту, патрульних і сервісних суден, а також виробничих компетенцій, необхідних для відновлення портової інфраструктури. Для таких проєктів КПВ має забезпечувати швидке адаптування технологічних рішень до конкретного типу виробу.

Особливе місце в сучасній КПВ займають інформаційні технології. Спеціалізовані САПР дають змогу виконувати дво- і тривимірне проєктування, інженерні розрахунки, формувати конструкторську та технологічну документацію й інтегрувати проєктні дані з виробничими процесами. Доцільність їх застосування визначається не кількістю окремих програмних продуктів, а можливістю сформувати наскрізний цифровий інформаційний контур. У суднобудуванні до таких систем належать, зокрема, FORAN, TRIBON, NUPAS-CADMATIC, CATIA, AutoSHIP, PLATER, DEFCAR та NAPA.

Цифрова інтеграція потребує сумісності даних на різних етапах життєвого циклу судна. У цьому контексті важливим є стандарт ISO 10303 STEP, призначений для автоматизованого обміну, зберігання та інтеграції даних про виріб. Використання стандартизованого представлення даних створює передумови для взаємодії CAD, CAM, CAE та PLM-систем і зменшує ризик втрати або дублювання інформації під час передавання моделей.

Для управління підготовчими процесами доцільно поєднувати системний і техніко-економічний аналіз, уніфікацію та стандартизацію, автоматизацію, мережеве планування і контроль ключових показників. Техніко-економічне порівняння варіантів дає змогу враховувати собівартість, трудомісткість і

продуктивність, а мережеве планування – координувати взаємопов'язані роботи та контролювати строки їх виконання.

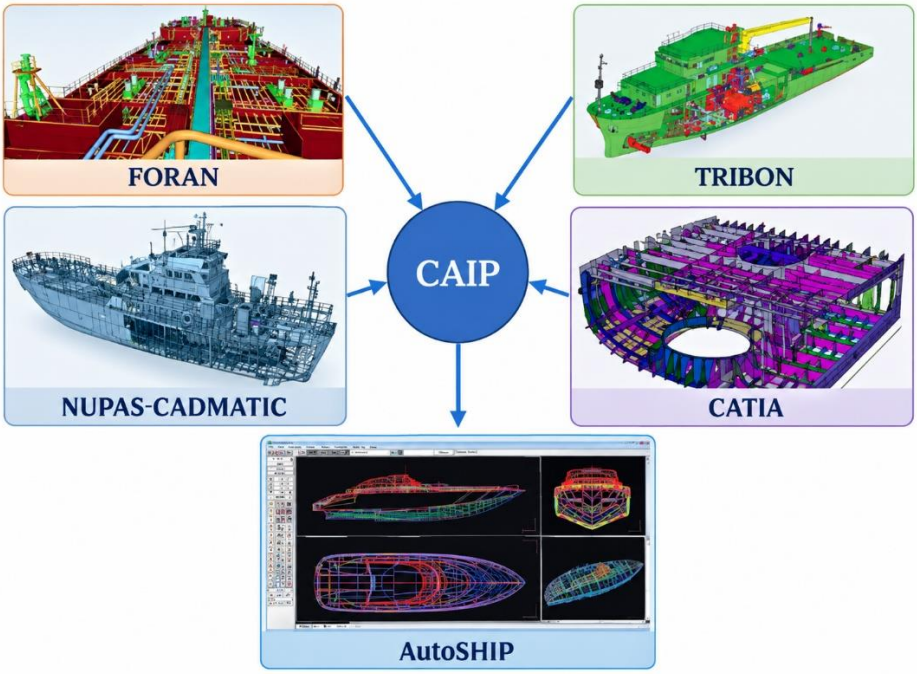


Рисунок 2 – Приклади застосування спеціалізованих САПР у суднобудуванні [3]

Схема комплексної підготовки верфі, наведена на рис. 3, показує взаємозв'язок науково-дослідної, конструкторської та технологічної підготовки з організаційно-економічною та матеріальною підготовкою, технічним переозброєнням і реконструкцією, кадровою підготовкою, забезпеченням якості та екологічної безпеки, а також інформаційним і програмним забезпеченням. Така побудова підкреслює, що цифрова інтеграція має об'єднувати всі складові КПВ, а не функціонувати як ізольований програмний інструмент.



Рисунок 3 – Схема комплексної підготовки верфі

Висновки. Комплексна підготовка виробництва є ключовою передумовою технологічної та організаційної готовності суднобудівного підприємства до виготовлення, ремонту й модернізації суден. Проведений аналіз показав, що результативність КПВ визначається узгодженістю конструкторських, технологічних, організаційних, матеріально-технічних, кадрових та інформаційних рішень.

Перспективними напрямами удосконалення КПВ визначено: інтеграцію CAD/CAM/CAE та спеціалізованих суднобудівних САПР у єдине інформаційне середовище; використання PLM-підходів для управління даними життєвого циклу; стандартизований обмін даними на основі STEP; автоматизацію

технологічної підготовки та планування ресурсів; повторне використання структурованих даних і типових технологічних рішень.

Література

[1] Яглицький Ю.К. Підготовка виробництва в суднобудуванні з використанням інформаційних технологій : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 300 с.

[2] Швед В.В., Євась Т.В., Омельченко О.В. Комплексна підготовка виробництва : навч. посіб. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2021. 14 с.

[3] Бойко С.О., Якусевич Ю.Г., Дорофєєва З.Я., Бажак О.В. Дослідження шляхів ефективного використання систем автоматизованого проєктування в галузі суднобудування. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Транспорт.* 2023. Т. 34 (73), № 2. С. 94–99. DOI: 10.32782/2663-5941/2023.2.2/17.

[4] Papanikolaou A. A Holistic Approach to Ship Design. Vol. 1: Optimisation of Ship Design and Operation for Life Cycle. Cham : Springer, 2019. 490 с. DOI: 10.1007/978-3-030-02810-7.

[5] ДСТУ ISO 10303-21:2019. Системи промислової автоматизації та інтеграції. Подання даних щодо виробів та обміну даними. Частина 21. Методи реалізації. Кодування відкритого тексту структури обміну (ISO 10303-21:2016, IDT).

[6] Yusof Y., Tan N. Z. Z., Kasim N. Exploring the ISO 14649 (STEP-NC) for intelligent manufacturing system. *European Journal of Scientific Research.* 2009. Vol. 36, No. 3. P. 445–457.

[7] ДСТУ ISO 10303-1:2007. Системи промислової автоматизації та інтеграції. Представлення даних щодо виробів та обміну даними. Частина 1. Огляд та основні принципи (ISO 10303-1:1994, IDT).

IMPROVEMENT OF COMPLEX PRODUCTION PREPARATION IN SHIPBUILDING BASED ON DIGITAL INTEGRATION

Konovalova Hanna Vasylivna, Balitska Alla Volodymyrivna

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper considers complex production preparation (CPP) in shipbuilding as an integrated system of design, technological, organizational, material, personnel and information activities. The main CPP stages are analyzed and the role of digital technologies in coordinating decisions throughout the ship life cycle is defined. The feasibility of integrating CAD/CAM/CAE, specialized shipbuilding CAD systems, PLM approaches and standardized STEP data exchange is substantiated. A structural-logical approach to shipyard production preparation is formed, in which digital integration links design, process planning, resource management and production. Directions for improving CPP under current conditions of Ukrainian shipbuilding are identified.

Keywords: complex production preparation, shipbuilding, shipyard, technological preparation, CAD/CAM/CAE, CAD systems, PLM, digitalization, standardization, STEP.

УДК 629.5:004.8

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА В СУДНОБУДУВАННІ: СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМИ РОЗВИТКУ

Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Моргун В.В.,
магістрантка кафедри Суднобудування та ремонту суден
Vladamorgun78@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто сучасні підходи до цифровізації та інтелектуалізації підготовки виробництва в суднобудуванні. Обґрунтовано доцільність інтеграції CAD/CAM/CAE, інформаційних систем управління, імітаційного моделювання, цифрових двійників, штучного інтелекту та роботизованих технологій у єдиний цифровий контур. Уточнено структуру цифрової підготовки виробництва за рівнями: цифрова модель судна, цифрова модель технологічного процесу, цифрова модель виробничих ресурсів і планування та контур контролю фактичного виконання. Запропоновано поетапну модель цифрової

трансформації з урахуванням стандартизації даних, управління версіями, контролю точності, кіберзахисту та відповідальності за результати застосування алгоритмів ШІ. Актуальність підходу підтверджується розвитком міжнародної нормативної бази та сучасними ініціативами зі створення цифрових верфей.

Ключові слова: суднобудування, підготовка виробництва, цифрова верф, CAD/CAM/CAE, цифровий двійник, штучний інтелект, роботизація, виробниче планування, точність, цифрові дані.

Вступ. Суднобудування належить до складних багатономенклатурних виробництв, для яких характерні великі габарити виробу, тривалий виробничий цикл, значна кількість комплектуючих, численні міжцехові та міжорганізаційні зв'язки, а також індивідуальний або дрібносерійний характер замовлень. За таких умов якість підготовки виробництва безпосередньо впливає на тривалість побудови судна, використання матеріальних і трудових ресурсів, кількість переробок та стабільність виробничого графіка. Тому сучасна підготовка виробництва має розглядатися не лише як сукупність конструкторських і технологічних процедур, а як інтегрований інформаційно-виробничий процес.

Актуальність цифрової трансформації у 2026 році посилюється розвитком міжнародної нормативної бази. У липні 2026 року опубліковано ISO 23247-6:2026, який визначає підходи до композиції цифрових двійників у виробництві, зокрема інтегрованої, уніфікованої та федеративної композиції. Це створює нормативне підґрунтя для взаємодії кількох цифрових двійників і є важливим для складних виробничих систем, до яких належать суднобудівні підприємства [2].

Мета. Метою роботи є узагальнення сучасних підходів до вдосконалення підготовки виробництва в суднобудуванні та формування структурно-функціональної моделі її цифрової трансформації на основі інтеграції конструкторсько-технологічних даних, виробничого планування, імітаційного моделювання, цифрових двійників, штучного інтелекту та роботизованих систем.

Основна частина. Вихідною передумовою цифрової підготовки виробництва є узгоджена інформаційна модель судна. Конструктивно-технологічна структура має бути пов'язана з технологічними комплектами, планово-обліковими одиницями робіт та мережевим плануванням побудови судна. У такому разі зміни конструкції можуть контрольовано передаватися до технологічних маршрутів, нормування, ресурсного планування, виробничих завдань і процедур контролю якості. Саме такий цифровий потік зменшує ризик розбіжностей між конструкторською документацією, технологією та фактичним виробництвом.

Для суднобудівного підприємства доцільно виділити чотири взаємопов'язані рівні цифрової підготовки виробництва: 1) цифрова модель виробу; 2) цифрова модель технологічного процесу; 3) цифрова модель виробничих ресурсів і планування; 4) цифровий контур контролю фактичного виконання. Така структура розвиває підхід до інтеграції САПР судна, САПР технологічної підготовки виробництва, систем управління виробництвом та автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Важливим інструментом є імітаційне моделювання. Воно дає змогу досліджувати організаційно-технологічні схеми, визначати критичні роботи, аналізувати завантаження виробничих підрозділів, резерви часу та можливі наслідки зміни виробничих рішень. У поєднанні з цифровим двійником імітаційна модель може використовуватися не лише для одноразового розрахунку, а як динамічне представлення виробничої системи. ISO 23247-2:2021 визначає референтну архітектуру цифрового двійника у виробництві, а ISO 23247-4:2021 встановлює вимоги до обміну інформацією між елементами цієї архітектури [3; 4].

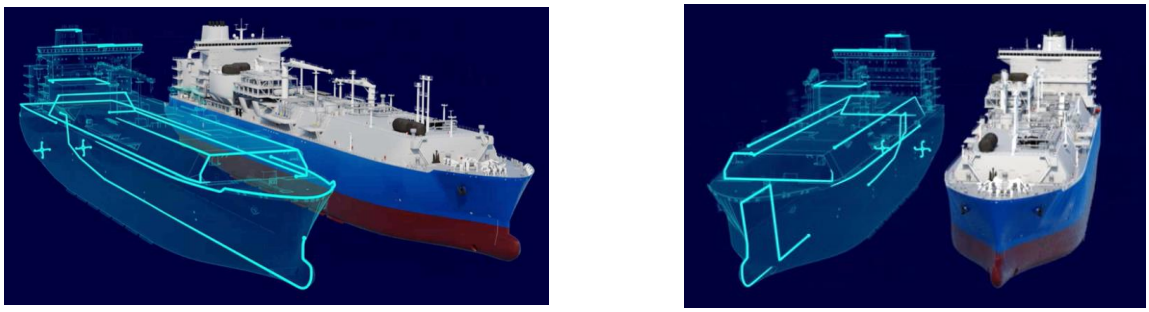


Рисунок 1 – Приклад цифрового представлення судна

Особливої уваги потребує управління точністю корпусних конструкцій. Висока трудомісткість приганяльних робіт та необхідність узгодження взаємопов'язаних геометричних параметрів зумовлюють доцільність переходу від контролю після виконання операції до прогнозного контролю на етапі технологічної підготовки. Поєднання цифрової моделі корпусу з координатними, лазерними та іншими оптико-електронними вимірюваннями створює основу для порівняння фактичної геометрії з проєктною.

Наступним етапом може бути застосування методів машинного навчання для виявлення повторюваних відхилень, класифікації причин дефектів та прогнозування ризику виходу параметрів за допустимі межі. При цьому ШІ доцільно розглядати як інструмент підтримки інженерних рішень. Відповідальність за конструкторські, технологічні та виробничі рішення має залишатися за відповідними фахівцями, а результати алгоритмічних рекомендацій – підлягати верифікації.

Роботизація є логічним продовженням цифрової підготовки виробництва. Для суднобудування перспективними є роботизоване зварювання, лазерне та плазмове різання, очищення й фарбування, а також автоматизована інспекція. Проте ефективність таких систем визначається не лише характеристиками роботизованого обладнання, а й якістю цифрових виробничих даних та можливістю передавання завдань і результатів між системами. Тому роботизований комплекс доцільно розглядати як елемент замкненого цифрового контуру.

Сучасні промислові ініціативи підтверджують практичний інтерес до такого підходу. У лютому 2026 року Siemens повідомила про співпрацю з HD Hyundai щодо інтегрованої цифрової основи суднобудування, а 24 липня 2026 року сторони оголосили про розширення стратегічного партнерства та створення концепції “digital shipyard” із використанням промислового програмного забезпечення, автоматизації та ШІ [5; 6]. Ці приклади доцільно розглядати як свідчення напряму технологічного розвитку, а не як доказ повсюдної цифрової трансформації всього світового суднобудування.

Важливою умовою інтеграції є стандартизація даних. ISO 19847:2024 визначає вимоги до суднових серверів даних для збору та безпечного обміну даними, а ISO 19848:2024 – вимоги та рекомендації щодо отримання й оброблення даних від сенсорів, які контролюють конструкцію судна, суднові машини, обладнання та експлуатаційну інформацію [7; 8]. Ці стандарти безпосередньо стосуються суднових даних, а не організації виробництва на верфі, тому в межах цієї роботи вони розглядаються як приклад нормативної основи стандартизації даних, необхідної для подальшої цифрової інтеграції.

З урахуванням наведеного пропонується поетапна модель цифрової трансформації підготовки виробництва: аудит інформаційних потоків і дублювання даних; уніфікація конструкторсько-технологічної документації; створення єдиної цифрової моделі судна та виробництва; інтеграція виробничого планування і фактичного моніторингу; підключення сенсорів та вимірювальних систем; формування цифрового двійника; застосування ШІ для прогнозування та підтримки рішень; інтеграція роботизованих комплексів у цифровий контур. Така послідовність дозволяє пов’язати інноваційні технології з конкретними завданнями підготовки виробництва.

Ключовим організаційним принципом має бути не максимальна кількість цифрових інструментів, а їхня інтегрованість. Якщо конструкторська, технологічна, планова та виробнича інформація зберігається у відокремлених системах, автоматизація окремих операцій не усуває інформаційних розривів. Тому цифрова трансформація має супроводжуватися управлінням версіями та якістю даних, розподілом відповідальності, кіберзахистом, навчанням персоналу і контролем результатів застосування алгоритмічних рекомендацій.

Висновки

1. Підготовку виробництва в сучасному суднобудуванні доцільно розглядати як інтегровану цифрову систему, що поєднує проєктування, технологічну підготовку, планування, виробництво та контроль.
2. Запропоновано чотирирівневу структуру цифрової підготовки виробництва: цифрова модель судна; цифрова модель технологічного процесу; цифрова модель виробничих ресурсів і планування; цифровий контур контролю фактичного виконання.
3. Науково-практичним результатом є поетапна модель цифрової трансформації, у якій цифровий двійник, ШІ та роботизація розглядаються не ізольовано, а як елементи єдиного інформаційно-виробничого контуру.
4. Штучний інтелект доцільно застосовувати для прогнозування відхилень, підтримки планування, виявлення дефектів та оптимізації ресурсів за умови належної якості даних і верифікації результатів.
5. Розвиток цифрової підготовки виробництва має враховувати стандартизацію даних, кіберзахист, управління версіями, підготовку персоналу та чітке визначення відповідальності за прийняття інженерних рішень.

Література

[1] Щедролосєв О. В., Соценко В. В., Коновалова Г. В. Автоматизація виробничих процесів у суднобудуванні: виклики та можливості. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : XV Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали. Миколаїв : НУК, 2024. С. 87–91.

[2] ISO 23247-6:2026. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 6: Digital twin composition. Geneva: International Organization for Standardization, 2026. URL: https://www.iso.org/standard/87426.html (дата звернення: 04.09.2026).

[3] Siemens. Siemens and HD Hyundai sign multi-million-dollar deal to pioneer AI-powered shipbuilding. 24 July 2026. URL: https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-and-hd-hyundai-sign-multi-million-dollar-deal-pioneer-ai-powered-shipbuilding (дата звернення: 09.09.2026).

[4] ISO 23247-2:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 2: Reference architecture. Geneva: International Organization for Standardization, 2021. URL: https://www.iso.org/standard/78743.html (дата звернення: 04.09.2026).

[5] ISO 23247-4:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 4: Information exchange. Geneva: International Organization for Standardization, 2021. URL: https://www.iso.org/standard/78745.html (дата звернення: 04.09.2026).

[6] Siemens. Embarking on innovative digital ship construction with HD Hyundai and Siemens. 16 February 2026. URL: https://blogs.sw.siemens.com/marine/2026/02/16/embarking-on-innovative-digital-ship-construction-with-hd-hyundai-and-siemens/ (дата звернення: 09.09.2026).

[7] ISO 19847:2024. Ships and marine technology – Shipboard data servers for sharing field data at sea. Geneva: International Organization for Standardization, 2024. URL: https://www.iso.org/standard/78260.html (дата звернення: 04.09.2026).

[8] ISO 19848:2024. Ships and marine technology – Standard data for shipboard machinery and equipment. Geneva: International Organization for Standardization, 2024. URL: https://www.iso.org/standard/78262.html (дата звернення: 04.09.2026).

[9] Щедролосєв О. В., Соценко В. В., Коновалова Г. В. Інтеграція цифрових двійників у процес проєктування суден. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : XV Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали. – Миколаїв: НУК, 2025. С. 122-125.

DIGITALIZATION AND INTELLIGENTIZATION OF PRODUCTION PREPARATION IN SHIPBUILDING: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT DIRECTIONS

Konovalova Hanna Vasylivna, Morhun Vladyslava Valeriivna

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper examines current approaches to digitalization and intelligentization of production preparation in shipbuilding. The integration of CAD/CAM/CAE, production management information systems, simulation, digital twins, artificial intelligence and robotics into a unified digital production loop is substantiated. A four-level structure of digital production preparation is proposed, including the digital ship model, digital process model, digital model of production resources and planning, and a feedback loop for actual production control. A phased transformation model is formulated with attention to data standardization, version management, accuracy control, cybersecurity and verification of AI-based recommendations. The relevance of the approach is supported by current international standards and industrial digital-shipyard initiatives.

Keywords: shipbuilding, production preparation, digital shipyard, digital twin, artificial intelligence, robotics, CAD/CAM/CAE, production planning, data integration.

УДК 629.5:331.1

СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА НОВИХ ПРОЄКТІВ СУДЕН ЯК СКЛАДОВА ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ СУДНОБУДУВАННЯ

Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Супрун С.Г.,
магістрант кафедри Суднобудування та ремонту суден
sanada1250@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто соціально-психологічну підготовку виробництва як складову організаційно-технологічної підготовки суднобудівного підприємства до реалізації нових проєктів суден. Обґрунтовано необхідність інтеграції людського фактора в систему підготовки виробництва з урахуванням соціально-психологічного клімату, психологічної та соціально-психологічної сумісності працівників, групової згуртованості, мотивації та стилю управління. Запропоновано розглядати таку інтеграцію як організаційний інноваційний інструмент підвищення узгодженості виробничих процесів. Визначено взаємозв'язок соціально-психологічних характеристик колективу з непрямими виробничими показниками – плинністю кадрів, якістю продукції та результативністю праці. Сформульовано напрями практичного використання соціально-психологічної підготовки під час освоєння виробництва суден нового проєкту.

Ключові слова: суднобудування, інновації, підготовка виробництва, соціально-психологічна підготовка, людський фактор, психологічний клімат, трудовий колектив, психологічна сумісність, згуртованість, ефективність виробництва.

Вступ. Сучасне суднобудування передбачає освоєння складних технологічних процесів, координацію значної кількості працівників і служб та одночасне дотримання вимог щодо термінів, якості й ресурсної ефективності. Під час переходу до побудови судна нового проєкту змінюються не лише технологічні та організаційні процедури, а й характер взаємодії персоналу, розподіл функцій, вимоги до компетентностей та управлінських рішень. Тому інноваційний розвиток суднобудівного виробництва доцільно розглядати не тільки через технічні рішення, а й через готовність колективу до їх узгодженого впровадження. У наданому матеріалі соціально-психологічна підготовка виробництва визначається як сукупність взаємозалежних процесів, що забезпечують соціально-психологічну готовність персоналу підприємства-будівника до побудови суден нового проєкту у встановлений термін, із заданим рівнем якості та мінімальними трудовими і матеріальними витратами.

Мета роботи. Метою є обґрунтування ролі соціально-психологічної підготовки у системі організаційно-технологічної підготовки виробництва нового проєкту судна та визначення її потенціалу як організаційного інноваційного чинника підвищення узгодженості, результативності й ефективності діяльності суднобудівного колективу.

Основна частина. Соціально-психологічна підготовка пов'язана з іншими видами підготовки виробництва, оскільки всі виробничі процеси реалізуються людьми. Її основу становить формування сприятливого соціально-психологічного клімату, який створює умови для підвищення ефективності праці, удосконалення організації виробництва та посилення ролі людського фактора. Для умов освоєння нового проєкту судна це набуває інноваційного значення: технологічні та організаційні нововведення потребують відповідної організаційної готовності персоналу, зокрема готовності до зміни функцій, комунікаційних моделей і форм командної взаємодії.

У матеріалі виокремлено п'ять взаємопов'язаних напрямів соціально-психологічної підготовки виробництва. Їх доцільно розглядати як елементи взаємодоповнення управління персоналом під час підготовки підприємства до виконання нового виробничого завдання. Такий підхід дає змогу пов'язати соціально-психологічні заходи з організаційними рішеннями та вимогами конкретного проєкту судна:



Рисунок 1 – Напрями соціально-психологічної підготовки виробництва

Одним із ключових об’єктів управління є трудовий колектив. У матеріалі зазначено три його основні психологічні характеристики: характер внутрішнього психологічного клімату, психологічний стан членів колективу та ступінь їхньої згуртованості. Внутрішній психологічний клімат формується сукупністю обставин, у межах яких здійснюється діяльність працівників, і відображає їхнє ставлення до середовища та змісту роботи. Психологічний стан колективу пов’язується зі ступенем задоволеності діяльністю та її результатами.

На задоволеність працівників впливають характер і зміст діяльності, ставлення до роботи, її престижність, розміри винагороди, перспективи професійного зростання та супутні можливості. Важливе значення має також здатність членів колективу дотримуватися встановлених правил і вимог. Отже, соціально-психологічна підготовка не обмежується безпосереднім психологічним впливом: вона охоплює організаційні, мотиваційні та інформаційні складові.

Важливим чинником результативності є психологічна та соціально-психологічна сумісність працівників. Психологічна сумісність визначається як сукупність індивідуальних якостей членів групи, що забезпечують злагодженість та ефективність спільної діяльності. Вона охоплює фізіологічні, психофізіологічні, психологічні та соціально-психологічні характеристики, зокрема темперамент, характер, мотиви поведінки, цінності, інтереси та рольові очікування.

Для суднобудівного виробництва особливе значення має раціональне поєднання здібностей працівників і розподіл функцій між ними. До умов соціально-психологічної сумісності віднесено відповідність особистих можливостей працівника структурі та змісту діяльності, подібність моральних позицій, однорідність основних мотивів та індивідуальних цілей, можливість взаємодоповнення здібностей і раціональний розподіл функцій. У контексті інноваційної підготовки виробництва це означає необхідність узгоджувати професійні ролі та взаємодію працівників із новими організаційними й технологічними вимогами проєкту.

Групова згуртованість розглядається як один із чинників результативності командної роботи; сучасні метааналітичні дослідження підтверджують наявність зв’язку між згуртованістю та результативністю, хоча характер і сила цього зв’язку залежать від способу операціоналізації показників.

Соціально-психологічний клімат є відносно стійким і типовим емоційним настроєм, що формується у процесі спільної діяльності та спілкування працівників. Його стан залежить від рівня розвитку колективу та пов’язаний з ефективністю спільної діяльності й згуртованістю. Фактори його формування поділяються на фактори макросередовища та мікросередовища. До останніх належать зміст і характер трудової діяльності, умови праці, рівень організації праці, матеріальне стимулювання, моральне стимулювання та оцінка праці, індивідуально-психологічні особливості працівників, а також особистість керівника та його взаємовідносини з підлеглими.

Особлива роль у формуванні клімату належить керівнику. У матеріалі підкреслено взаємозалежність процесів «керівництво → ефективність → психологічний клімат» і зазначено, що керівник безпосередньо впливає на становлення психологічного клімату підприємства. Водночас цей зв’язок не є одностороннім: результати діяльності впливають на психологічний стан колективу, а сформований клімат, у свою чергу, визначає умови подальшої спільної роботи.

Для суднобудівного підприємства такі заходи можуть бути інтегровані у систему підготовки виробництва нового судна як окремий управлінський контур, пов’язаний із кадровими, організаційними та інформаційними рішеннями. Практична цінність такого підходу полягає у можливості виявляти соціально-

психологічні передумови зниження результативності ще на етапі підготовки виробництва та відповідно коригувати взаємодію працівників, розподіл функцій і стиль управління.



Рисунок 2 – Модель практичних заходів оптимізації соціально-психологічного клімату

Важливими критеріями здорового психологічного клімату є чітке розуміння працівниками власних функцій та їхніх меж, усвідомлення власних переконань і позицій щодо себе та інших працівників, а також здатність підтримувати ділові відносини, не допускаючи їх емоційного загострення до рівня, який перешкоджає роботі. Відтак соціально-психологічна підготовка має забезпечувати не лише згуртованість, а й функціональну визначеність, відповідальність та емоційну стійкість працівників.

Оцінювання стану колективу може здійснюватися за непрямими показниками, серед яких у матеріалі названо плинність кадрів, якість виготовленої продукції та результативність праці. Це створює основу для поєднання соціально-психологічних характеристик із виробничими показниками. У межах запропонованого підходу такі показники можуть використовуватися для зворотного зв'язку в системі підготовки виробництва: виявлення проблеми – визначення соціально-психологічного чинника – управлінське коригування – повторне оцінювання результату.

Висновки. Запропонований підхід не замінює традиційні організаційно-технологічні процедури підготовки виробництва, а доповнює їх соціально-психологічним контуром управління людським фактором. Практична реалізація підходу передбачає оцінювання психологічного клімату, командної згуртованості, комунікаційної взаємодії та функціональної визначеності працівників із подальшим зіставленням отриманих результатів із виробничими показниками – плинністю кадрів, якістю продукції та результативністю праці.

Література

[1] Parker C. P., Baltes B. B., Young S. A., Huff J. W., Altmann R. A., LaCost H. A., Roberts J. E. Relationships between psychological climate perceptions and work outcomes: a meta-analytic review. J. Organiz. Behav. 2003. 24: 389–416. https://doi.org/10.1002/job.198.

[2] Grossman R., Nolan K., Rosch Z., Mazer D., Salas E. The team cohesion-performance relationship: A meta-analysis exploring measurement approaches and the changing team landscape. Organizational Psychology Review. 2022, 12 (2), PP. 181–238. https://doi.org/10.1177/20413866211041157.

[3] Reig-Botella, A.; Clemente, M.; Detaille, S.; de Lange, A.H.; López-Golpe, J. Which Personal and Organizational Factors Influence the Organizational Commitment and Job Satisfaction of Shipyard Blue-Collar Workers? *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022, 19, 4849. https://doi.org/10.3390/ijerph19084849.

[4] Kim K. W., Park S. J., Lim H. S., Cho H. H. Safety Climate and Occupational Stress According to Occupational Accidents Experience and Employment Type in Shipbuilding Industry of Korea. *Safety and Health at Work.* 2017. Vol. 8, No. 3. PP. 290–295. DOI: 10.1016/j.shaw.2017.08.002.

[5] Solli-Sæther H., Karlsen J. T., van Oorschot K. Strategic and Cultural Misalignment: Knowledge Sharing Barriers in Project Networks. *Project Management Journal.* 2015, 46 (3), PP. 49–60. https://doi.org/10.1002/pmj.21501.

[6] Simpson D. D. (2009). Organizational readiness for stage-based dynamics of innovation implementation. *Research on Social Work Practice.* 2009, 19 (5), P. 541–551. https://doi.org/10.1177/1049731509335589.

[7] Яглицький Ю.К. Підготовка виробництва в суднобудуванні з використанням інформаційних технологій : навчальний посібник. Миколаїв : НУК, 2018. 30 с.

SOCIAL AND PSYCHOLOGICAL PREPARATION OF NEW SHIP PROJECT PRODUCTION AS A COMPONENT OF INNOVATIVE SHIPBUILDING DEVELOPMENT

Konovalova Hanna Vasylivna, Suprun Sergii Hryhorovych

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper examines social and psychological preparation of production as a component of organizational and technological preparation of a shipbuilding enterprise for implementing new ship projects. The importance of integrating the human factor into the production preparation system is substantiated with regard to socio-psychological climate, psychological and socio-psychological compatibility, group cohesion, motivation and management style. Such integration is considered as an organizational innovation tool for improving the coordination of production processes. The relationship between socio-psychological characteristics of the workforce and indirect production indicators, including staff turnover, product quality and labor performance, is outlined. Practical directions for integrating social and psychological preparation into the preparation of new ship production are formulated.

Keywords: shipbuilding, innovation, production preparation, social and psychological preparation, human factor, psychological climate, work team, psychological compatibility, group cohesion, production efficiency.

УДК 629.5.023

АНАЛІЗ НОРМ РЕГІСТРУ СУДНОПЛАВСТВА УКРАЇНИ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСНИХ КОНСТРУКЦІЙ МАЛИХ СУДЕН З HDPE

Кузнєцов А.І.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден Херсонського ННІ Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна.
anatoly1954.kuznetsov@gmail.com
Лисицький І.В.,
аспірант кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
igor.lisitsky@gmail.com

Анотація. Запропоновано напрями подальших досліджень щодо нормування елементів корпусних конструкцій малих суден з HDPE.

Встановлено невизначеність розрахункових алгоритмів РСУ у частині, що стосується методики прямого розрахунку РЕ-пластини на згин і прогин, врахування температурного впливу і тривалості дії навантаження при визначенні допустимих напружень, завершеної процедури розрахунку загальної поздовжньої міцності, тощо.

Ключові слова: малі судна, корпусні конструкції, загальна поздовжня міцність, композитні опорні конструкції, вимоги до проєктування, поліетилен високої щільності, норми РСУ.

Вступ. Позитивний світовий тренд щодо розвитку флоту малих суден із конструкціями з поліетилену високої щільності (HDPE) стимулює дослідження особливостей застосування цього матеріалу у малому суднобудуванні. При цьому виникає чимало питань при проєктуванні конструкцій малих суден, зокрема, визначенні елементів корпусу [1], проєктуванні композитних опорних конструкцій [2], розрахунків загальної поздовжньої міцності [3].

Відсутність прямих вимог до проєктування конструкцій з HDPE у Правилах Регістру судноплавства України (Далі – Правила) [4] пов’язана з наявністю особливостей конструктивного матеріалу, що розглядається. Докладно особливості матеріалу наведено у роботі [5].

Мета роботи полягає у виявленні напрямів дослідження щодо визначення завершеної процедури розрахунків з визначення елементів конструкції корпусу малих суден з HDPE.

Основна частина. Конструювання корпусів малих суден із HDPE потребує уваги через суттєву залежність механічних властивостей матеріалу (межа міцності, модуль пружності) від температурного впливу, відносно низьких їх значень в цілому, повзучості матеріалу.

У таблиці 1 наведено існуючі нормативні алгоритми розрахунків елементів корпусних конструкцій малих суден з HDPE відповідно РСУ. Зірками позначено посилання на коментарі до кожного розділу розрахунків.

Розділ 1. Пластини обшивки і настілу.*[1]

П. 3.3.6.4 Правил містить емпіричне призначення мінімальної товщини, але не дає завершеної методики прямого розрахунку РЕ-пластини на згин і прогин.

1.2 Допустиме напруження для пластин із поліетиленів*[2] та ребер жорсткості.*[3]

П. 3.3.6.4.5 однозначно встановлює для поліетиленових пластин та ребер жорсткості:

$$\sigma_d = 0{,}5\sigma_{uf}.$$

Однак механічні властивості РЕ мають визначатися за 11.4.3 та Додатком D Частини XII, тоді як спеціального поділу допустимих напружень за температурою і тривалістю дії навантаження у цьому критерії немає.

Таблиця – 1 Наявність нормативних алгоритмів розрахунків

№	Елемент корпусної конструкції	РСУ
1	Пластини обшивки і настилу	+*[1]
1.2	Допустиме напруження для пластин із поліетиленів	+*[2]
2	Допустиме напруження для РЖ із поліетиленів	+*[3]
3	Вимоги до розмірів елементів ребер жорсткості, виготовлених з однорідних матеріалів	+*[4]
3.1	Вимоги до жорсткості РЖ із поліетилену	+*[5]
3.3	Геометричні характеристики РЖ	+*[6]
4	Розрахунки загальної поздовжньої міцності	–*[8]
5	З'єднання корпусних конструкцій із HDPE з конструкціями з інших матеріалів	–
6	Виконання зварювальних робіт	+*[9]

Розділ 3. Розміри ребер жорсткості.*[4]

П 3.4.4.3 додатково вимагає для HDPE, MDPE і LDPE надати Регістру прямі розрахунки, не встановлюючи окремої методики такого прямого розрахунку.

3.1 Жорсткість ребер.*[5]

Правила не встановлюють порядок вибору розрахункового модуля пружності HDPE залежно від температури та тривалості дії навантаження.

3.3 Геометричні характеристики РЖ.*[6]

Для таврових, фланцевих та П-подібних профілів відповідні граничні співвідношення не встановлені. Тому перевірка геометричних пропорцій і локальної стійкості таких HDPE-профілів за Правилами РСУ не є повністю визначеною.

Розділ 4. Загальна поздовжня міцність.*[8]

Для корпусів із HDPE не встановлено окремої завершеної процедури розрахунку загальної поздовжньої міцності, яка б визначала правила формування еквівалентного бруса, вибору розрахункового модуля пружності з урахуванням тривалості навантаження та температурного впливу, перевірки стійкості стиснутих в'язей та допустимих глобальних деформацій.

Розділ 5. З'єднання корпусних конструкцій із HDPE з конструкціями з інших матеріалів.

РСУ не встановлює спеціальних конструктивних і розрахункових вимог до з'єднання HDPE-корпусних конструкцій з елементами з інших матеріалів. Розділ **6. Виконання зварювальних робіт.*[9]**

Правила не встановлюють завершеної методики розрахунку несучої здатності та довговічності зварних HDPE-з'єднань, включаючи розрахунковий коефіцієнт міцності шва, допустимі напруження залежно від типу з'єднання, вплив тривалості навантаження, повзучості та циклічної дії.

Висновки. Проведено аналіз щодо наявності нормативних алгоритмів розрахунків РСУ щодо визначення елементів корпусних конструкцій малих суден з HDPE.

За результатами дослідження встановлено невизначеність щодо:

методики прямого розрахунку РЕ-пластин на згин і прогин, розрахунку розмірів ребер жорсткості, процедури розрахунку загальної поздовжньої міцності, конструктивних і розрахункових вимог до з'єднань HDPE-корпусних конструкцій з елементами з інших матеріалів, врахування температурного впливу і тривалості дії навантаження при визначенні допустимих напружень, тощо. У подальшому, підлягають розгляду невизначені РСУ питання нормування елементів корпусних конструкцій малих суден з HDPE.

Література

[1] Lysytskyi I.V., Kuznetsov A.I. Ways of standardizing HDPE hull structures parameters for small vessels. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.* № 2 (491). 2023. С. 44–54.

[2] Кузнєцов А. І., Лисицький І.В. Особливості проєктування та нормування конструктивних параметрів опорних конструкцій пропульсивних комплексів для малих суден з конструкціями із поліетилену високої щільності. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.* № 4 (502). 2025. С. 13–21.

[3] Лисицький І.В., Кузнєцов А. І., Щєдролосєв О.С., Коновалова Г.В. Особливості розрахунків загальної поздовжньої міцності при проєктуванні конструкцій малих суден із HDPE. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.* 2026. № 1. С. 13–20.

[4] Правила класифікації та побудови малих суден. Регістр судноплавства України, 2024.

[5] Грабенко, А. А. Кузнєцов, А. І. Особливості застосування поліетилену низького тиску в якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден. *Збірник наукових праць НУК*. 2021. № 2. С. 3–7.

ANALYSIS OF THE SHIPPING REGISTER OF UKRAINE'S RULES REGARDING THE DETERMINATION OF HULL STRUCTURE ELEMENTS FOR SMALL HDPE VESSELS

Kuznetsov Anatoliy Ivanovych, Lysytskyi Igor Viktorovych

National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Abstract. Directions for further research regarding the standardization of hull structural elements for small HDPE vessels are proposed.

Uncertainties have been identified in the RSU (Russian Maritime Register of Shipping) calculation algorithms concerning the direct calculation methodology for PE plate bending and deflection, the consideration of temperature effects and load duration when determining permissible stresses, the lack of a complete procedure for calculating overall longitudinal strength, among other issues.

Keywords: small craft, hull structures, overall longitudinal strength, composite supporting structures, design requirements, high-density polyethylene, SRU standards.

УДК 629.5.015.4:539.431

РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ВПЛИВУ КОРОЗІЙНОГО ЗНОСУ НА ВЕЛИЧИНУ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ ВУЗЛІВ СУХОВАНТАЖНИКА

Литвиненко Д.Ю.,
к.т.н., доц.;
dmytro.lytvynenko@nuos.edu.ua
Щедролосєв О.В.,
д.т.н., проф.;
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
Соценко В.В.,
ст. викладач
sotsenko.vladyslav@nuos.edu.ua
Кафедра суднобудування та ремонту суден
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна, Миколаїв

Аннотація. Розглянуто підходи щодо врахування впливу зносу та корозії при оцінці втомної довговічності конструктивних вузлів корпусу судна. Показано на прикладі суховантажного судна, що врахування 25 % корозійної надбавки для елементів еквівалентного брусу призводить до зменшення моменту інерції його поперечного перерізу на 3 %, тоді як зменшення товщин в'язей на 50 % корозійної надбавки спричиняє зниження власних моментів інерції в'язей із приєднаним поясом на 5–8 %. Обґрунтовано необхідність порівняльної оцінки впливу корозійного зносу на втомну довговічність конструктивних вузлів, що зазнають переважно загального поздовжнього згину, місцевих навантажень або їх сумісної дії.

Ключові слова: втомна міцність; довговічність; конструктивний вузол; корозія та знос; еквівалентний брус; експлуатаційні навантаження

Вступ. Корозійний вплив морського середовища на конструкції корпусу судна призводить до поступового зменшення товщини та, відповідно, площі поперечного перерізу в'язей корпусу. Крім того, корозійне середовище може сприяти прискоренню процесів зародження та поширення втомних тріщин, як зазначено у [1]. Зменшення товщини в'язей супроводжується зростанням рівня експлуатаційних напружень

за незмінного рівня навантаження, що, у свою чергу, може призводити до зниження запасів втомної та граничної міцності конструкцій корпусу судна. Корозійне зношування конструкцій відбувається поступово протягом терміну експлуатації. При цьому протягом певної частини періоду експлуатації судна вплив корозії може бути суттєво обмежений завдяки дії захисних покриттів та інших засобів протикорозійного захисту [2].

Метою цього дослідження є порівняльний аналіз показників втомної довговічності конструктивних вузлів суховантажного судна з урахуванням та без урахування впливу корозійного зносу.

Основна частина. Внаслідок корозійного зношення корпусу судна зменшується площа поперечного перерізу його в'язей, що впливає на величину напружень від загального поздовжнього згину корпусу, а також місцевих напружень, спричинених згином перекриттів, ребер жорсткості та пластин. Так, в роботі [1] розрахунки на втому конструктивного вузла перетину поздовжнього ребра жорсткості верхньої палуби та рамного бімсу виконувалися з урахуванням зменшення товщин елементів корпусу, що потрапляють у переріз еквівалентного брусу, на 25 % надбавки на знос та корозію.

В [2] пропонується для оцінки втомної міцності суднокорпусних конструкцій розраховувати експлуатаційні напруження від загального поздовжнього згину корпусу судна на хвилях при проєктних товщинах, а місцеві експлуатаційні напруження при проєктних товщинах за вирахуванням корозійної надбавки.

Відповідно до норм [3] експлуатаційні напруження від загального повздовжнього згину корпусу судна потрібно визначати при проєктних товщинах в'язей корпусу за вирахуванням 25 % корозійної надбавки, а експлуатаційні місцеві напруження – при товщинах в'язей, що відповідають проєктним за вирахуванням 50 % надбавки на знос та корозію.

В роботі [4] виконувалися розрахункові дослідження втомної довговічності конструктивних вузлів перетину ребра жорсткості із флором та перетину шпангоуту із другим дном суховантажного судна. В цій роботі досліджувалася залежність показників довговічності типових конструктивних вузлів від їх положення за довжиною судна, тому врахування корозійного зносу не враховувалося.

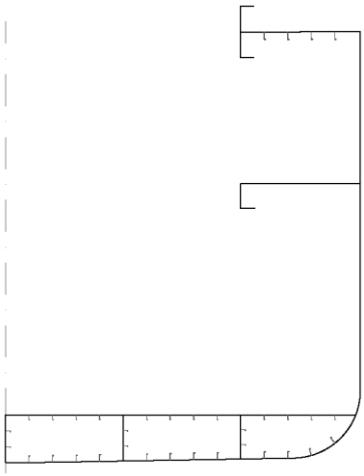
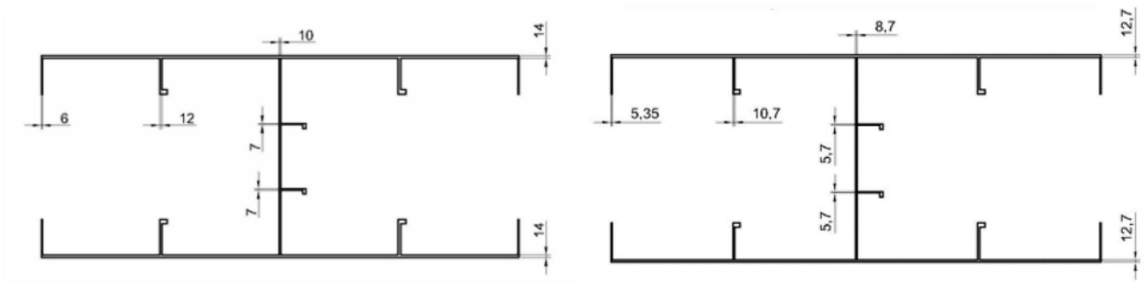


Рисунок 1 – Мідель-шпангоут досліджуваного суховантажного судна [1]

Поперечний переріз такого суховантажного судна представлено на рис. 1. В результаті вирахування 25 % надбавки на знос та корозію від товщин елементів, що входять до складу еквівалентного брусу, момент інерції перерізу знизився на 3 %.

При розрахунку розмахів місцевих напружень із експлуатаційною забезпеченістю із врахуванням зменшення проєктних товщин в'язей на 50 % надбавки на знос та корозію, власні моменти інерції в'язей із приєднаним поясом зменшувалися на величину 5–8 %. Поперечний переріз днищевого стрингера із приєднаним поясом з проєктними товщинами елементів та з товщинами, зменшеними на 50 % корозійної надбавки, проілюстрований на рис. 2, а, *b*.

Як зазначено у [4], конструктивні вузли корпусу судна можна поділити на такі, які зазнають переважно навантажень від загального повздовжнього згину, вузли, що зазнають в основному місцевих навантажень, та вузли, які випробовують обидва типи навантажень. Отже, потрібно виконати розрахункову оцінку впливу зносу та корозії на втомну довговічність вузлів усіх зазначених типів.



a *b*

Рисунок 2 – Поперечний переріз днищевого стрингера із приєднаним поясом: a – з проєктними товщинами в'язей; b – із зменшеними на 50 % надбавки на знос та корозію

Висновки. Встановлено, що наближене врахування впливу зносу та корозії при оцінці втомної міцності суднокорпусних конструкцій може здійснюватися шляхом зменшення товщин елементів, що входять до складу еквівалентного брусу, відсіків і перекриттів, а також окремих балок і пластин, на відповідну частку надбавки на знос та корозію.

Література

[1] Jurišić P., Parunov J., Senjanović I. Assessment of Aframax Tanker Hull-Girder Fatigue Strength According to New Common Structural Rules. *Brodogradnja*. 2007. Vol. 58, No. 3. P. 262–267. Режим доступу: https://hrcak.srce.hr/file/25138

[2] Egidi D., Foraboschi F. P., Spadoni G., Amendola A. The ARIPAR project: analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area. *Reliability Engineering & System Safety*. 1995. Vol. 49, No. 1. P. 75–89. DOI: 10.1016/0951-8339 (94)00026-O.

[3] DNV GL. Fatigue Assessment of Ship Structures: DNVGL-CG-0129. October 2015.

[4] Lytvynenko, D., Shchedrolosiev, O., Kazymyrenko, Y., Konovalova, H. (2026). Revealing the influence of structural joints location in a dry cargo ship on durability parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (141)), 40–49. DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360197

CALCULATION-BASED ASSESSMENT OF THE EFFECT OF CORROSION WEAR ON THE FATIGUE LIFE OF STRUCTURAL JOINTS OF A DRY CARGO SHIP

Dmytro Lytvynenko, Oleksandr Shchedrolosiev, Vladyslav Sotsenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Approaches to accounting for the effects of wear and corrosion in the assessment of the fatigue life of ship hull structural joints are considered. Using a dry cargo ship as an example, it is shown that accounting for 25 % of the corrosion addition for the elements of the equivalent hull girder results in a 3 % decrease in the moment of inertia of its cross-section, whereas reducing the thicknesses of structural members by 50 % of the corrosion addition leads to a 5–8 % decrease in the moments of inertia of the members with attached plating. The need for a comparative assessment of the effect of corrosion wear on the fatigue life of structural joints subjected predominantly to global hull girder bending, local loads, or their combined action is substantiated.

Keywords: fatigue strength; fatigue life; structural joint; corrosion and wear; hull girder; fatigue loads

УДК 629.5.012

РОЗРАХУНОК ДОКУВАННЯ КАТЕРА

Шарун Г.В.,

старший викладач кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

grygorii.sharun@nuos.edu.ua

Анотація. Досліджено особливості докування катера з двома різними жорсткостями докових опор. Розрахунки виконувались методом скінченних елементів. Розроблені рекомендації з конструювання та проєктування днищевого перекриття катера та докових опорних пристроїв.

Ключові слова: катер; розрахункова схема; метод скінченних елементів; напружено-деформований стан.

Вступна частина. Виконано дослідження особливостей напружено-деформованого стану днища катера при дії навантажень від докового опорного пристрою. Для проведення досліджень використовувалися розрахункові схеми стержневої ідеалізації конструкцій з використанням методу скінченних елементів. Наведені рекомендації з конструювання та проєктування конструкцій днища катера та докового опорного пристрою.

Мета роботи. Розробити рекомендації для проєктування та конструювання днища катера та докового опорного пристрою.

Основна частина. Розрахунок докування катеру виконувався за допомогою методу скінченних елементів. Судно моделювалось стержневими скінченними елементами, які враховують деформації зсуву та згину. Докові опори моделювалися скінченними елементами пружин, які моделюють жорсткість докових опор. Застосовується балкова ідеалізація корпусу судна. Судно ділиться на 20 теоретичних шпацій, для яких розраховується погонне навантаження та моменти інерції поперечних перерізів. Розрахункова

схема судна, розташування докових опор та погонне навантаження від маси судна при докуванні представлені на рисунках 1 та 2.

Жорсткості докових опорних пристроїв визначались відповідно Правил [1, с. 85–95], [2, с. 76–87] та далі корегувались на основі розрахунків за методом скінченних елементів. Результати розрахунків наведені на рис. 3–6.

В таблиці 1 представлені геометричні характеристики судна (моменти інерції поперечних перерізів корпусу) та погонне навантаження.

В таблиці 2 наведені коефіцієнти жорсткості докових опор для двох варіантів жорсткості докових опор.

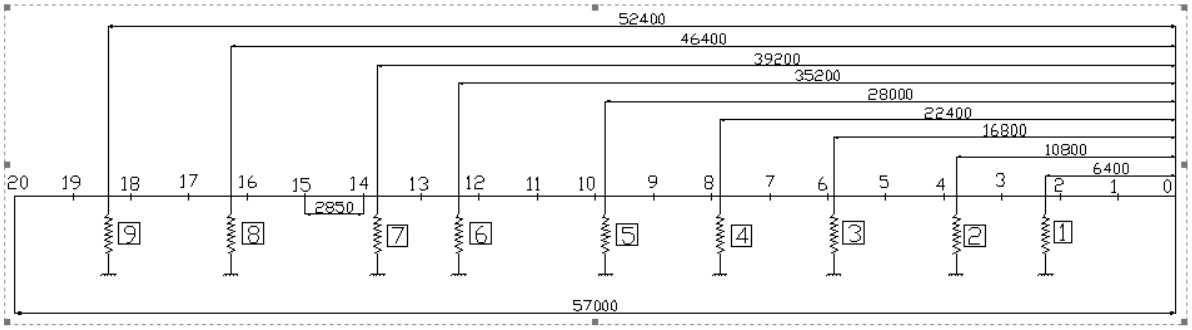


Рисунок 1 – Розрахункова схема судна на докових опорах

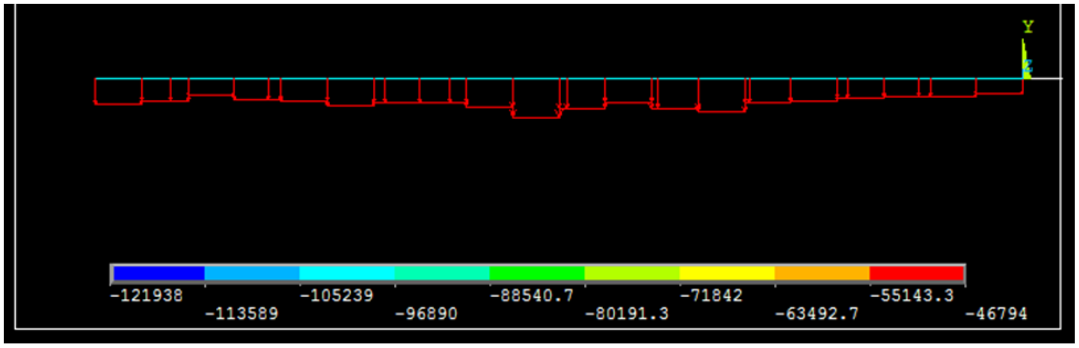


Рисунок 2 – Погонне навантаження судна при докуванні, Н/м

Таблиця 1 – Геометричні характеристики судна та погонне навантаження

Теоретичні шпації	**Навантаження *Р*к, т**	**Погонне навантаження *q*= *Р*к/ΔL, т/м**	**Момент інерції *J*, м^4**
0–1	13,59	4,77	0,377
1–2	17,06	5,99	0,544
2–3	16,16	5,67	0,687
3–4	18,18	6,38	0,802
4–5	20,39	7,15	0,891
5–6	22,05	7,74	0,960
6–7	31,05	10,89	1,012
7–8	28,22	9,90	1,049
8–9	21,92	7,69	1,079
9–10	28,13	9,87	1,108
10–11	35,48	12,43	1,123
11–12	25,89	9,06	1,115
12–13	22,68	8,03	1,014
13–14	22,10	7,75	0,828
14–15	25,52	8,95	0,672
15–16	21,33	7,48	0,588
16–17	19,49	6,84	0,505
17–18	15,98	5,61	0,419
18–19	20,43	7,17	0,330
19–20	24,35	8,54	0,240
Всього	450,0		

Таблиця 2 – Коефіцієнти жорсткості докових опор

Позначення опор	Варіант А		Варіант Б	
	Коефіцієнт жорсткості, кН/м	Реакції опор, кН	Коефіцієнт жорсткості, кН/м	Реакції опор, кН
1	211896	457,26	211896,0	486,49
2	211896	460,87	185409,0	431,73
3	211896	497,72	211896,0	530,45
4	211896	541,80	150095,0	400,40
5	150095	406,33	211896,0	580,37
6	211896	574,43	141264,0	376,55
7	141264	376,01	211896,0	545,11
8	211896	542,88	211896,0	521,16
9	211896	560,47	211896,0	545,52

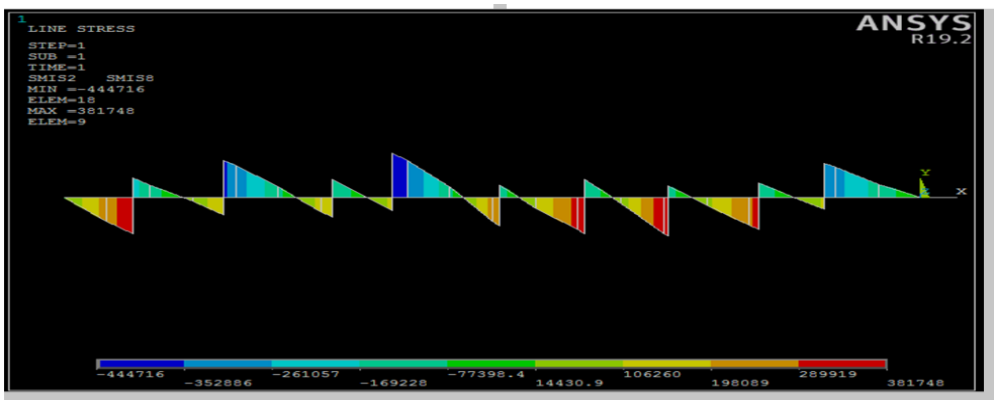


Рисунок 3 – Перерізувальні сили, варіант А

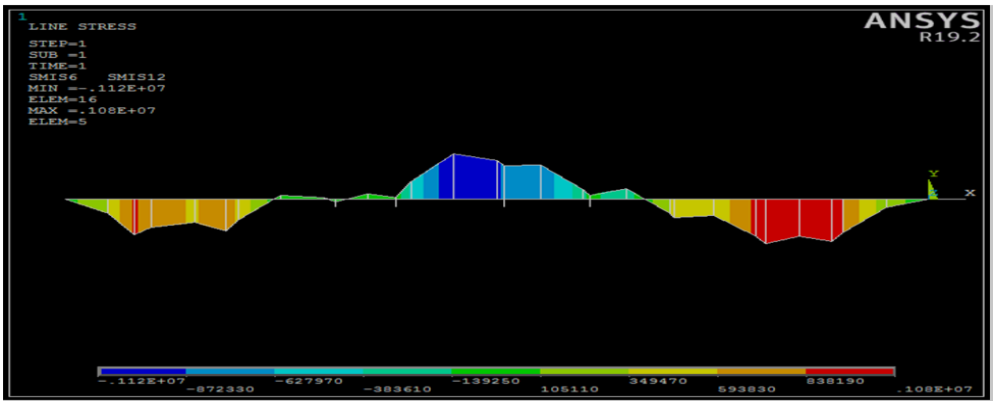


Рисунок 4 – Згинальні моменти, варіант А

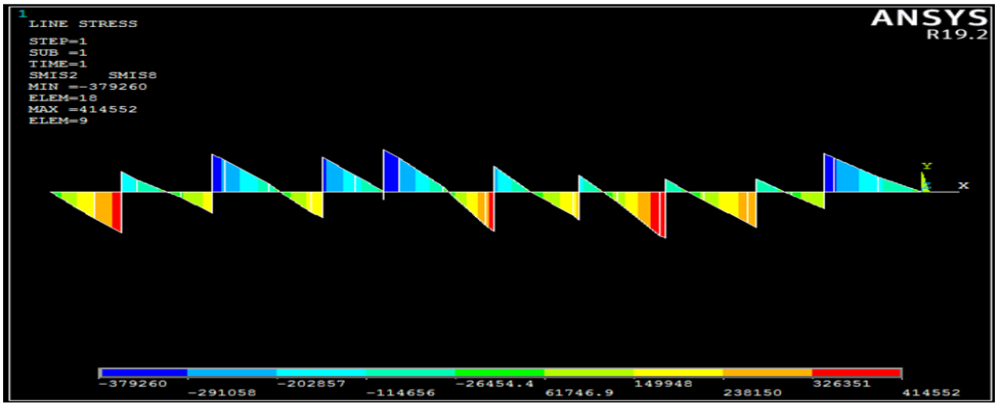


Рисунок 5 – Перерізувальні сили, варіант Б

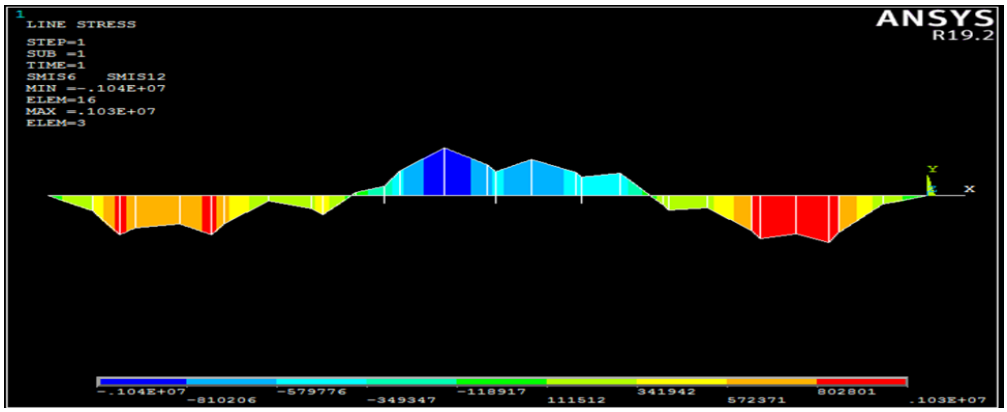


Рисунок 6 – Згинальні моменти, варіант Б

Висновки. Згинальні моменти корпусу катера для варіанту жорсткості докових опор А трохи більші, ніж у варіанті Б. Максимальна реакція докових опор більша для варіанту Б. Величини згинальних моментів та реакцій докових опор є допустимими відповідно до Правил класифікації та Норм міцності. Розроблено рекомендації щодо проєктування та конструювання днища катера та докових опорних пристроїв.

Література

[1] Правила класифікації та побудови морських суден. Том 2. Корпус. Регістр судноплавства України. Київ : РУ, 2020. С. 792.

[2] DNV GL rules for the classification: Ships. DNV GL, 2021, p. 543.

CALCULATION OF BOAT DOCKAGE

Sharun ryhorii
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The features of docking a boat with two different stiffnesses of dock supports were investigated. Calculations were performed using the finite element method. Recommendations for the construction and design of the boat bottom grillage and dock support devices were developed.

Keywords: boat; calculation scheme; finite element method; stress-strain state.

УДК 629.5

ПЕРСПЕКТИВНИЙ ІНТУМІСЦЕНТНИЙ ЗАХИСТ МЕТАЛЕВИХ ПЕРЕГОРОДОК У СУДНОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМАХ

Юреско Т.А.,
кандидат технічних наук, доцент
tyuresko@gmail.com
Соломонюк Н.С.,
кандидат технічних наук, доцент
кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу
nataly.solomoniuk@nuos.edu.ua
Національного університету кораблебудування імені адм. Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто застосування інтумісцентного покриття для пасивного протипожежного захисту акумуляторних систем електричних і гібридних суден.

Ключові слова: інтумісцентні покриття, вогнезахист, електричні батареї.

Вступна частина. Розвиток електричних і гібридних енергетичних установок є перспективним напрямком сучасного суднобудування. Перехід до акумуляторних систем зумовлений посиленням міжнародних вимог щодо зниження викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин [1]. Їх застосування також дозволяє знизити витрату палива за рахунок роботи двигунів внутрішнього згоряння в оптимальному режимі та використання акумуляторів для покриття пікових навантажень, а також

забезпечує можливість безшумного руху судна на електротязі під час маневрування та в портах. У зв'язку з цим літій-іонні акумуляторні системи набувають все ширшого застосування у силових установках електричних і гібридних суден [2]. Однак їх використання підвищує вимоги до пожежної безпеки. Одним із найбільш небезпечних аварійних сценаріїв є термічний розгін (thermal runaway), що супроводжується інтенсивним виділенням тепла, утворенням горючих і токсичних газів та можливим займанням. Температура акумуляторної комірки під час термічного розгону може досягати 500–800 °C, а займання газів здатне спричиняти ще вищі локальні температури. Теплова дія від пошкодженого осередку може призвести до пошкодження сусідніх осередків і модулів та сприяти поширенню аварійного процесу на акумуляторну систему [3].

Одним із перспективних рішень для створення додаткового теплового бар'єру є інтумісцентні покриття. При нагріванні в них відбуваються фізико-хімічні процеси, що супроводжуються газоутворенням, карбонізацією та спучуванням із багаторазовим збільшенням об'єму. У результаті формується пористий теплоізоляційний шар, який знижує інтенсивність теплопередачі та збільшує час прогріву захищеної поверхні до критичної температури [4]. Такі покриття широко застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій і є перспективними для використання в акумуляторних системах.

Метою роботи є обґрунтування можливості застосування інтумісцентного покриття для пасивного вогнезахисту металевих перегородок між акумуляторними модулями електричних та гібридних суден.

Основна частина. Для створення додаткового пасивного теплового бар'єру розглядається розроблене інтумісцентне покриття [5], яке передбачається наносити на металеві перегородки між сусідніми акумуляторними модулями. Основою покриття є поліорганосилоксанова смола, що забезпечує його теплостійкість при підвищених температурах. Для формування спученого теплоізоляційного шару до складу покриття введено функціональні мінеральні та полімерні компоненти у відповідних співвідношеннях [5]: гідроксид алюмінію $Al(OH)_3$, гідроксид магнію $Mg(OH)_2$, пентаеритрит $C(CH_2OH)_4$, меламін $C_3H_6N_6$ та поліфосфат амонію $(NH_4PO_3)n$. Механізм дії розробленого покриття відбувається за рахунок послідовного перебігу процесів термічного розкладання функціональних компонентів, виділення газоподібних продуктів, дегідратації та карбонізації органічних компонентів. Дане покриття пройшло натурні випробування при яких було встановлено, що при товщині покриття 1–5 мм і дії температури 800 °C температура на поверхні, що захищається не перевищує 200 °C протягом 60 хв.

Тепловий розгін акумулятора та механізм дії покриття. При термічному розгоні літій-іонного акумулятора температура підвищується внаслідок послідовного розвитку екзотермічних фізико-хімічних процесів. Вже при температурах близько 80–120 °C починається деградація твердого електролітного інтерфейсу (SEI) та взаємодія літованого анода з електролітом. . При подальшому нагріванні відбувається плавлення сепаратора, внутрішні короткі замикання та інтенсивне розкладання електроліту та електродних матеріалів. У діапазоні 150–300 °C різко зростає швидкість тепловиділення та газоутворення, а при розвиненому термічному розгоні температура може досягати кількох сотень градусів та локально 800 °C та більше. Теплова дія аварійного модуля передається на інтумісцентне покриття, нанесене на металеву перегородку, та ініціює послідовну активацію його функціональних компонентів. При температурах близько 190–200 °C починається термічне розкладання $Al(OH)_3$ із виділенням води та утворенням Al_2O_3. При подальшому нагріванні поліфосфат амонію утворює фосфоровмісні кислотні продукти, які сприяють дегідратації та карбонізації органічних компонентів покриття, зокрема пентаеритриту. При підвищенні температури приблизно до 290–350 °C відбувається термічне розкладання $Mg(OH)_2$ з утворенням MgO та виділенням води. При подальшому нагріванні меламін $C_3H_6N_6$ розкладається з виділенням газоподібних продуктів, сприяючи спучуванню покриття та формуванню поруватої вуглецевої структури.

У результаті формується теплоізоляційний шар, який знижує тепловий потік через металеву перегородку. При цьому покриття не запобігає самому термічному розгону аварійного осередку, а обмежує передачу тепла до сусідніх акумуляторних модулів. Нанесений на металеву пластину між сусідніми модулями шар покриття завтовшки 1 мм у штатному режимі не займає значного корисного об'єму акумуляторного відсіку. Запропонована схема застосування покриття представлена на рис. 1.

Перспективи подальших досліджень. Для оцінки ефективності запропонованого рішення доцільно провести експериментальні дослідження в умовах аварійного нагріву акумуляторного модуля. Окрему увагу необхідно приділити стійкості покриття до високої вологості та вібраційних навантажень, характерних для водного транспорту, а також розробленню методів підготовки металевої поверхні для забезпечення високої адгезії покриття.

Висновки. Експериментально встановлено, що розроблене інтумісцентне покриття створює захисний шар, який забезпечує температуру на захищеній поверхні не вище 200 °C протягом 1 години. Інтеграція покриття у загальну систему протипожежного захисту разом із засобами виявлення, охолодження та гасіння підвищить безпеку та живучість електричних і гібридних суден, забезпечуючи додатковий час для ліквідації займання.

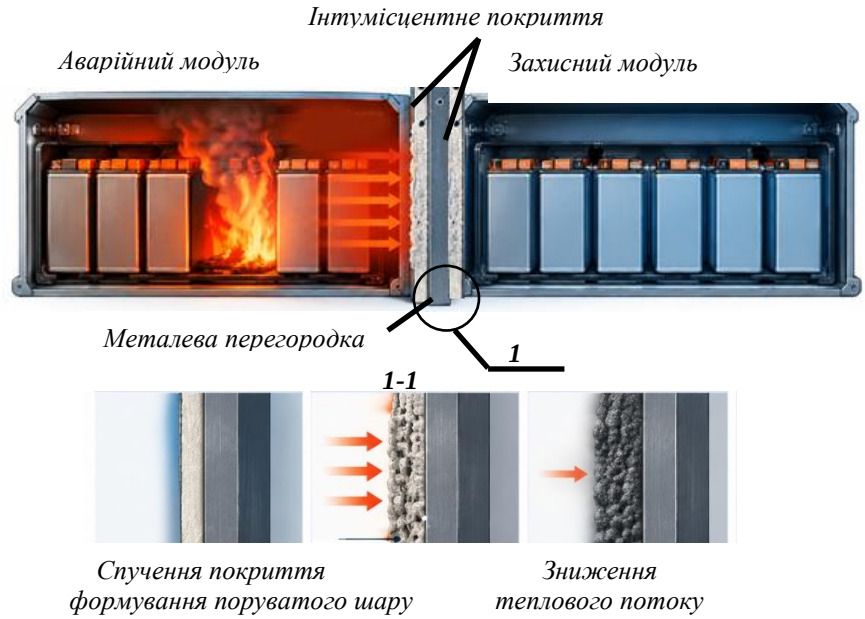


Рисунок 1 – Інтумісцентного покриття на металевій перегородці між акумуляторними модулями

Література

[1] EEXI and CII – ship carbon intensity and rating system. *International Maritime Organization (IMO).* URL: https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/eexi-cii-faq.aspx (дата звернення: 20.09.2026).

[2] Geertsma R. D., Negenborn R. R., Visser K., Hopman J. J. Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review. *Applied Energy*. 2017. Vol. 194. P. 30–54.

[3] Wang Q., Ping P., Zhao X., Chu G., Sun J., Chen C. Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of Power Sources.* 2012. Vol. 208. P. 210–224.

[4] Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *Journal of Fire Sciences*. 2016. Vol. 34, No. 2. P. 120–163.

[5] Патент України на корисну модель № 122438. 10.01.2018. Вогнестійке покриття для захисту електричних мереж та інженерних конструкцій і споруд при пожежі у замкненому просторі.

PROMISING INTUMESCENT PROTECTION OF METAL PARTITIONS IN MARINE BATTERY SYSTEMS

Yuresko T.A., Solomonyuk N.S.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The application of an intumescent coating for passive fire protection of battery systems in electric and hybrid ships is considered.

Keywords: intumescent coatings, fire protection, electric batteries.

УДК 629.5

ВПЛИВ ТИПУ З'ЄДНАННЯ БАЛОК ВТОРИННОГО НАБОРУ НА ЖОРСТКІСТЬ ПАЛУБНОЇ ПАНЕЛІ

Білоус Р.Ю.,
аспірант
roman.bilous89@gmail.com
Соломонюк Н.С.,
кандидат технічних наук, доцент
nataliya.solomoniuk@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У суднобудівній практиці палубні пластини, які розташовані між рамними балками, здебільшого підкріплюють несиметричними штабобульбами тільки в одному напрямку в залежності від системи набору судна. При необхідності надання додаткової жорсткості у поперечному напрямку додаються менші за розмірами балки вторинного набору, які можуть бути приварені до штабобульбів по всій висоті або їх зрізають під кутом без приварювання до них. Останній варіант підкріплення простіший, швидший і дешевший у виробництві. Метою цього дослідження є порівняння жорсткості всіх варіантів підкріплених палубних пластин розглянутих у цій роботі, за допомогою методу скінченних елементів (МСЄ), оцінювання ефективності типу з'єднання між балками вторинного набору та визначення оптимального підходу до МСЕ-моделювання.

Ключові слова: Метод скінченних елементів, динамічний аналіз, підкріплена палубна панель.

Вступна частина. Дане дослідження має на меті оцінити жорсткість початкової палубної пластини підкріпленої несиметричними штабобульбами в одному напрямку (див. рис. 1), а також вплив на неї балок вторинного набору (вказані штриховою лінією на рис. 1) в перпендикулярному напрямку в залежності від умов їхнього з'єднання зі штабобульбами.

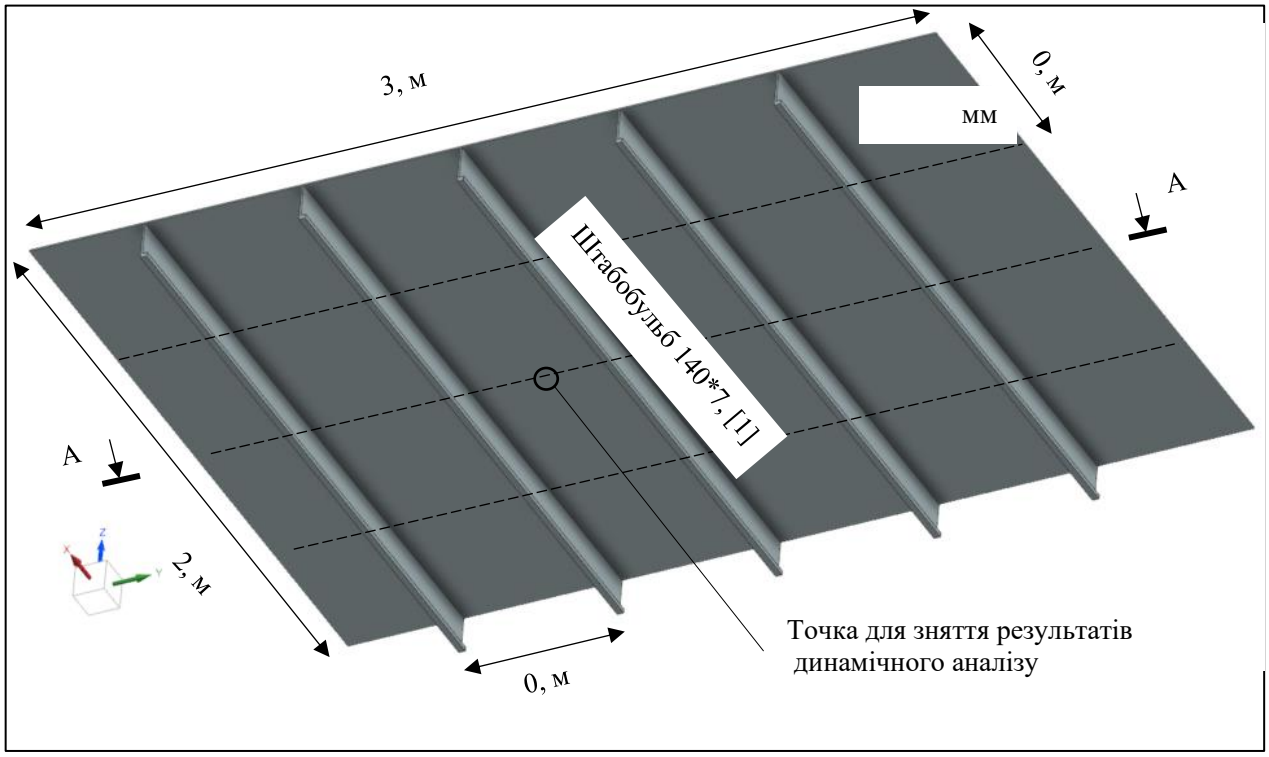


Рисунок 1 – Початкова сталева палубна пластина підкріплена в одному напрямку

За допомогою методу скінчених елементів побудовані три моделі з розміром елементу 5 мм (див. рис. 2).

– Модель-1: Поперечні балки вторинного набору відсутні. Палубна пластина – пластинчатий двовимірний скінчений елемент, штабобульб – балочний одновимірний скінчений елемент;

– Модель-2: Поперечні балки вторинного набору приварені до штабобульбів по всій висоті. Палубна пластина – пластинчатий двовимірний скінчений елемент, штабобульб і полоса – балочний одновимірний скінчений елемент;

– Модель-3: Поперечні балки вторинного набору зрізані під кутом і не доходять до штабобульбів. Палубна пластина і полоса зрізана під кутом – пластинчатий двовимірний скінчений елемент, штабобульб – балочний одновимірний скінчений елемент;

Підкріплена палубна пластина має шарнірно закріплені краї.

Три моделі оцінюються за допомогою наступних аналізів:

– Лінійний статичний аналіз від нормального тиску 1 кПа;

– Аналіз власних частот;

– Динамічний аналіз вимушених коливань від нормального тиску 1 Па, конструкційне демпфування 6 %, [3].

Основна частина

Результати лінійного статичного аналізу показані на рис. 3.

Результати аналізу власних частот показані на рис. 4.

Результати динамічного аналізу вимушених коливань показані на рис. 5.

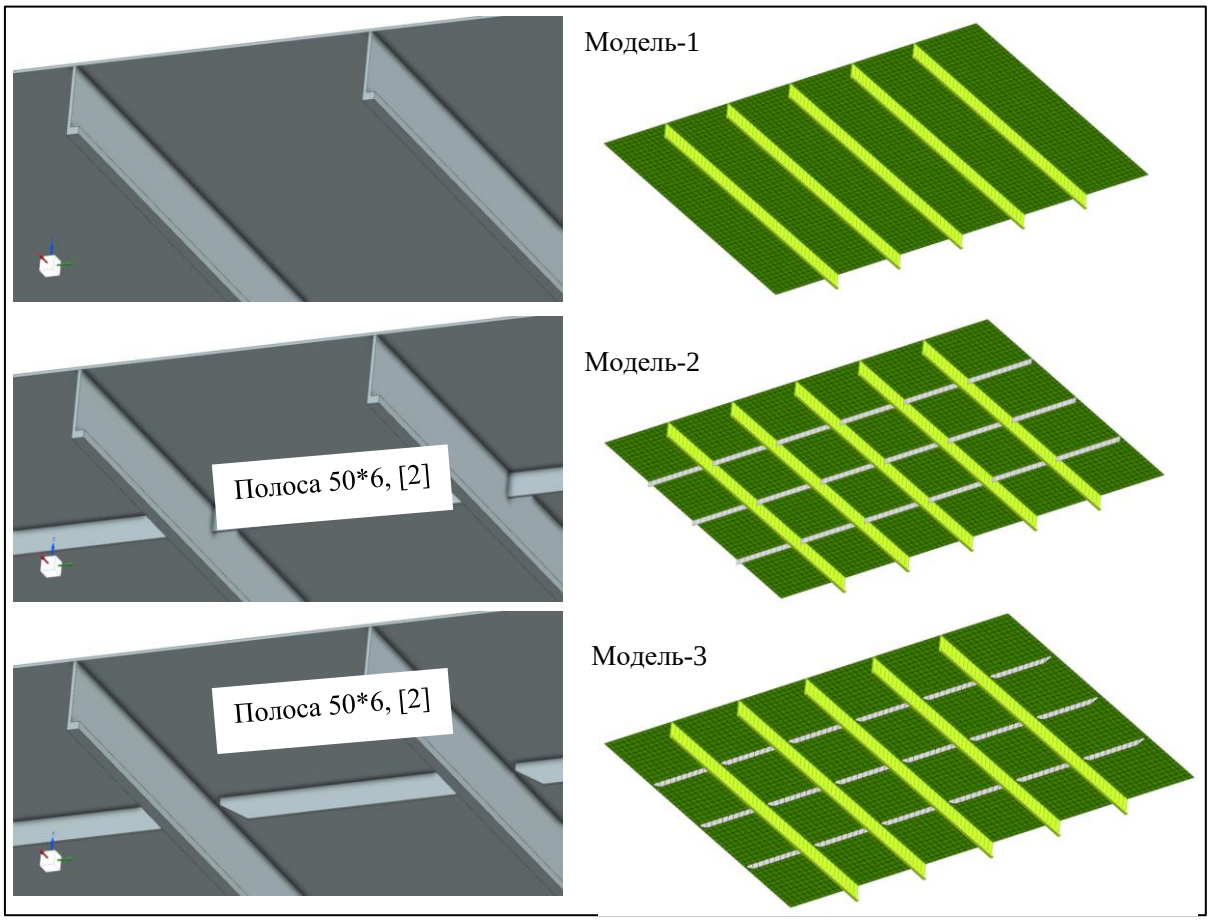


Рисунок 2 – Варіанти палубної пластини з різними схемами підкріплення

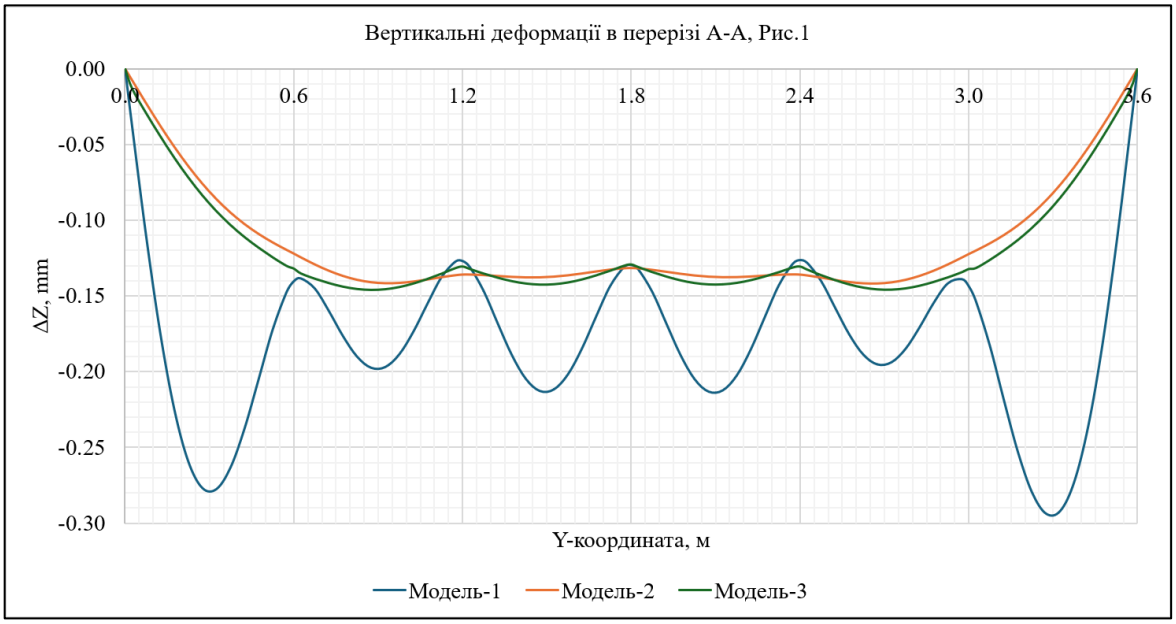


Рисунок 3 – Результати лінійного статичного аналізу

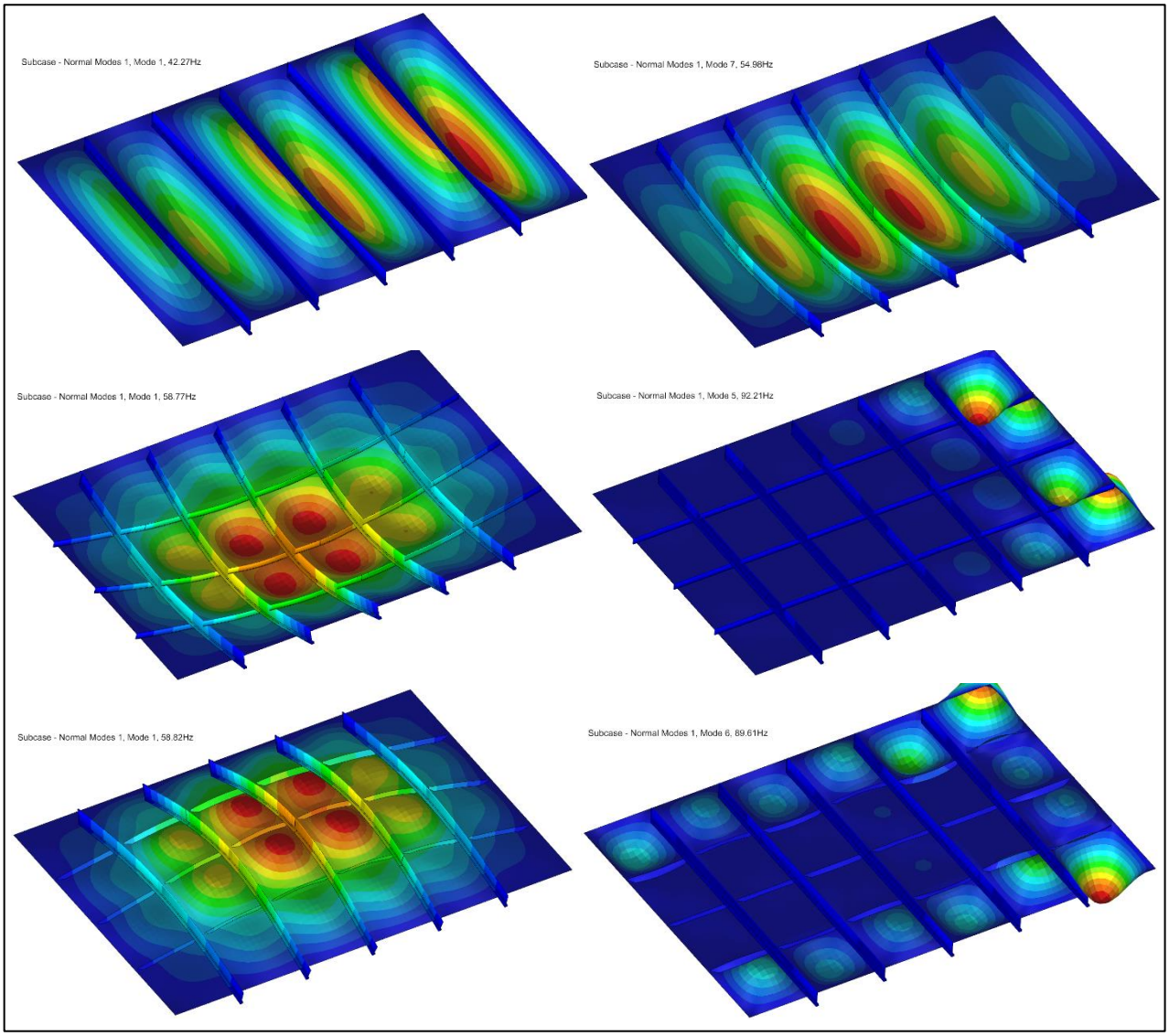


Рисунок 4 – Результати аналізу власних частот

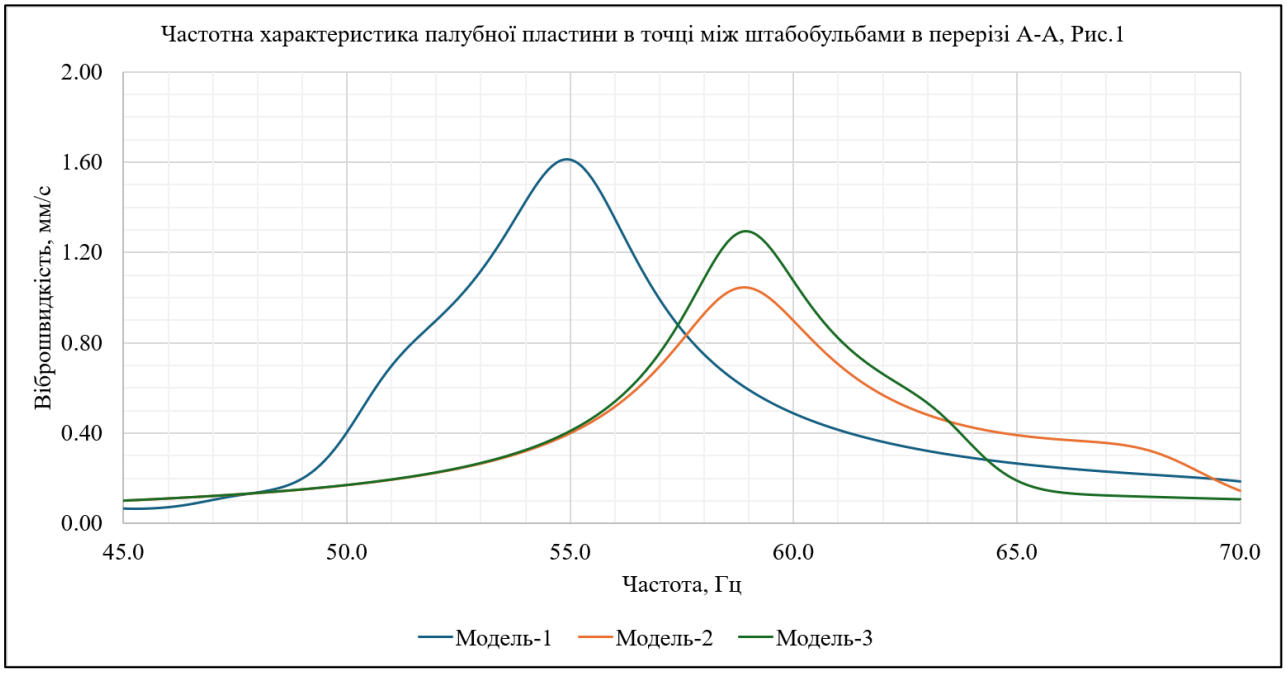


Рисунок 5 – Результати динамічного аналізу вимушених коливань

Висновки

– Лінійний статичний аналіз та аналіз власних частот показують, що для підвищення жорсткості палубної пластини між штабобульбами обидва типи з'єднання вторинних балок (Моделі 2 і 3) мають однаковий ефект;

– Згідно з результатами аналізу вимушених коливань Модель- має нижчий вібровідгук на 35,2 %, Модель-3 – на 19,7 % відповідно.

Для спрощення моделювання методом скінчених елементів можна використовувати підхід в Моделі-2, де балки вторинного набору представлені як одновимірний балочний скінчений елемент і не враховувати тип з'єднання з поперечними балками.

Література

[1] ДСТУ EN 10067:2006. (2006). Штабобульб гарячекатаний. Розміри та допуски на розміри, форму і масу (EN 10067:1996, IDT).

[2] ДСТУ EN 10058:2014. (2014). Гарячекатані штабові прутки зі сталі загального призначення. Розміри та граничні відхили розмірів і форми (EN 10058:2003, IDT).

[3] Lloyd's Register. Guidance Notes (2015). General Overview of Ship Structural Vibration

INFLUENCE OF THE SECONDARY STIFFENER CONNECTION TYPE ON THE STIFFNESS OF A DECK PANEL

Bilous Roman Yuriiovych, Solomoniuk Nataliia Serhiivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. In shipbuilding practice, deck plates located between the girders are generally stiffened with asymmetric bulb flats in one direction, depending on the framing system of the ship. Smaller secondary stiffeners may be implemented in case if additional stiffness is required in perpendicular direction. These stiffeners can either be welded to the bulb flats along their full height or can be snipped without being welded to them. The latter stiffening connection type is simpler, faster, and more cost-effective for manufacturing. The aim of this study is to compare the stiffness of all variants of stiffened deck plates considered here by finite element (FE) method, evaluate the efficiency of connection type between secondary stiffeners and determine optimal FE modelling approach.

Keywords: Finite element method, dynamic analysis, stiffened deck panel, non-structural covering.

СЕКЦІЯ 2. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І МАТЕРІАЛИ В СУДНОВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.793.7

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙНО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ

Дубовий О.М.,
доктор технічних наук, професор кафедри матеріалознавства і технології металів, oleksandr.dubovyj@nuos.edu.ua
Карпеченко А.А.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів, anton.karpechenko@nuos.edu.ua
Лебедєва Н.Ю.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів, nataliia.lebedieva@nuos.edu.ua
Хоменко Б.А.,
аспірант кафедри матеріалознавства і технології металів, booohdaaan@gmail.com
Кондратьєва А.А.,
аспірант кафедри матеріалознавства і технології металів, kondratevaanna633@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв Україна

Анотація. В роботі представлено подальший розвиток формування електродугових покриттів деформаційно-термічною обробкою, яка дозволяє отримати термічно стабільну субструктуру та забезпечити підвищений рівень фізико-механічних властивостей деталей машин та технічних виробів. Визначено вплив деформаційно-термічної обробки на теплопровідність і пористість покриттів. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено позитивний вплив застосування додаткового деформування на структуру і властивості покриттів, що розширює можливість їх застосування у техніці як зміцнювальних і відновлювальних.

Ключові слова: деформаційно-термічна обробка, передректристалізаційна термічна обробка, електродугові покриття, субструктура, фізико-механічні властивості.

Актуальність досліджень пов'язана з однією з найважливіших технічних проблем – захист деталей машин від зношування та корозії, що визначає їх довговічність. Основним напрямком підвищення експлуатаційних властивостей технічних виробів є формування поверхневого шару, який забезпечує високу надійність роботи. Особливого значення у воєнний час набувають простота, технічність, а також можливість мобільно наносити зміцнювальні і відновлювальні покриття.

Метою роботи є поглибити дослідження впливу деформаційно-термічних факторів на твердість електродугових покриттів та виявити їх вплив на пористість і теплопровідність для підвищення експлуатаційних властивостей.

Дослідження якості електродугових покриттів здійснювали з використанням мікроструктурного аналізу. Твердість визначали на приладі Віккерс. Пористість фіксували металографічним методом. Коефіцієнт теплопровідності встановлювали на приладі ИТ-λ-400. Визначення зон когерентного розсіювання рентгенівських променів, для оцінювання розмірів і кількості нанорозмінних субструктурних елементів матеріалу покриття, здійснювали методом рентгеноструктурного аналізу на рентгенівському діфрактометрі ДРОН-3. У всіх дослідженнях, як основу, на яку наносили електродугові покриття, використовували сталь 45. Напилення покриття проводили на установці КДМ-2 електродуговим апаратом ЕМ-14М.

Результати дослідження впливу деформування та тривалості витримки при термічній обробці на твердість покриття зі сталі 08 представлено на рисунку 1. Визначено, що найменшу твердість 3,05 ГПа отримано після деформації на 20 %. А деформація на 30 та 40 % забезпечує зростання твердості до 3, 24 та 3,5 ГПа відповідно. При величинах деформації більше 30 % твердість в інтервалі витримки при термічні обробці 10…90 хв майже не змінюється, що є підтвердженням стабілізації субструктури. Стабілізація

полігонізаційної субструктури забезпечується тим, що повторна деформація формує дислокаційні сплетіння, які стримують рух дислокацій і цим зменшують рухливість субграниць.

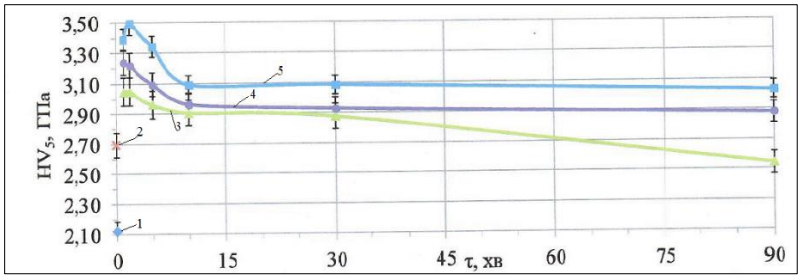


Рисунок 1 – Вплив часу витримки при ПТО на твердість електродугових покриттів зі сталі 08 в стані після напилення та додаткової статичної деформації:
1 – без додаткової обробки; 2 – додаткова деформація 30 %; 3 – додаткова деформація 20 % з ПТО; 4 – додаткова деформація 30 % з ПТО; 5 – додаткова деформація 40 % з ПТО

Результати дослідження впливу деформування та тривалості витримки при термічній обробці на твердість покриття зі сталі 65Г представлено на рисунку 2. Встановлено, що менший ступень деформації після напилення дозволяє отримати більш високі показники твердості зі збільшенням часу витримки при термічній оброці, тобто підвищується термічна стабілізація, що дозволяє застосовувати таку технологію не тільки для дрібних деталей з покриттям, але і більш габаритних зі збільшенням витримки до 20 хв.

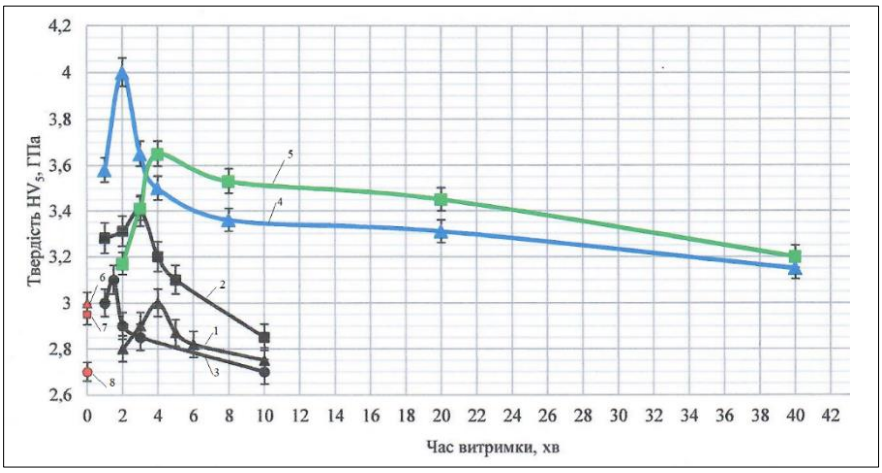


Рисунок 2. Вплив часу витримки та температури ПТО на твердість електродугових покриттів зі сталі 65Г в стані після напилення та додаткової статичної деформації:
1- ПТО – 300 °С; 2- ПТО – 400 °С;3 – ПТО – 500 °С; 4- додаткова деформація 30 % з ПТО при 400 °С; 5 – додаткова деформація 15 % з ПТО при 400 °С ; 6 – додаткова деформація 30 % без ПТО; 7-додаткова деформація 30 % без ПТО; 8 – після напилення.

Визначено параметри субструктури для покриттів зі сталі 65 Г за розміром областей когерентного розсіювання променів. Виявлено, що деформаційно-термічна обробка електродугового покриття приводить до здрібнення субструктури до нанорозмірів. При цьому кути розорієнтування субзерен дещо збільшуються. Такі структурні зміни приводять до зростання твердості і міцності при збережені достатнього рівня пластичності.

Дослідження показали, що деформаційно-термічна обробка надає можливість знизити коефіцієнт теплопровідності електродугового покриття на 15 % у порівнянні зі станом після напилення та пористість більш ніж на 20 %.

Висновки. Встановлено позитивний вплив додаткової статичної деформації на термічну стабільність полігонізаційної субструктри напилених електродугових покриттів, зниження теплопровідності та пористості. Доведено, що підвищення твердості здійснюється за рахунок здрібнення субзерен до нанорозміру.

Література

[1] Borisov, A. S., Naumov, A.A, Borisova, A.Y et ol. (2023) Effect of Severe Plastic Deformation on the Formation of the Nonferrous Metal Alloy Microstructure. *Steel in Trengation*. 53. 830–836.

[2] Підвищення фізико-механічних властивостей металів і сплавів та напилених покриттів формуванням полігонізаційної наномасштабної субструктури : монографія / О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров, Т. О. Макруха. Миколаїв : НУК, 2023. 19 с.

[3] Дубовий О.М. Формування термічностійкої полігонізаційної субструктури с підвищеними властивостями в електродугових покриттях / О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров, С І Шкурат, О.О. Лимар. *Вісник ХПІ*. 2019. № 10. С. 3–10.

INFLUENCE OF DEFORMATION-HEAT TREATMENT ON PHYSICAL- MECHANICAL PROPERTIES ELECTRIC-ARC COATINGS

Oleksandr Dubovyi, Anton Karpechenko, Nataliia Lebedieva, Bohdan Khomenko, Anna Kondratieva
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolajev, Ukraine.

Abstract. This paper presents further developments in the formation of electric-arc coatings via thermomechanical treatment, a process that enables the creation of a thermally stable substructure and ensures enhanced physicochemical and mechanical properties for machine parts and technical components. The influence of thermomechanical treatment on the thermal conductivity and porosity of the coatings was determined. The positive effect of additional deformation on coating structure and properties was theoretically substantiated and experimentally confirmed, thereby expanding the potential for their application in engineering as strengthening and restoration coatings.

Keywords: thermomechanical treatment, pre-recrystallization heat treatment, electric-arc coatings, substructure, physicochemical and mechanical properties.

УДК 621.793.6

ФОРМУВАННЯ ЗНОСО- ТА КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Карпеченко А.А.,
кандидат технічних наук, доцент
керівник Кораблебудівного навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
anton.karpechenko@nuos.edu.ua
Бобров М.М.,
кандидат технічних наук, доцент
в.о. завідуючого кафедрою будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
maksym.bobrov@nuos.edu.ua
Ярос Ю.О.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри зварювального виробництва Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
yurii.yaros@nuos.edu.ua
Савенков О.І.,
старший викладач
кафедри кондиціювання і рефрижерації
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
oleg.savenkov@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто технологію формування захисних корозійностійких та зносостійких покриттів з металургічним зв’язком на сталевих елементах шляхом їх занурення у розплав сплаву системи 12Х18Н9–ФБ-17. Встановлено фазовий склад та фізико-механічні характеристики покриттів, оцінено їх пластичність і корозійну стійкість. Запропоновано напрями практичної адаптації розробленого сплаву для газотермічного напилення та оплавлення з метою підвищення надійності деталей суднового машинобудування та оборонної техніки.

Ключові слова: сплав, металевий зв’язок, дифузійна зона, мартенсит, бориди, зносостійкість, суднове машинобудування.

Вступна частина. Деталі суднових механізмів та корабельного обладнання функціонують в умовах інтенсивного абразивного зношування та агресивного морського середовища. В умовах сучасного військово-промислового комплексу підвищення ресурсу та відновлення зношених елементів суднового машинобудування є критичним завданням для забезпечення обороноздатності України. Традиційні методи нанесення захисних покриттів часто не забезпечують достатньої адгезійної міцності через відсутність металургійного з'єднання з основою [1, с. 5, 2, с. 10]. Використання самофлюсівних сплавів на основі залізохромонікелевих сталей, легованих бором, дозволяє сформувати суцільну дифузійну зону [3, с. 254] та досягти високої твердості й зносостійкості [4, с. 2854] без застосування дорогих і дефіцитних матеріалів.

Мета роботи – обґрунтування технологічних параметрів формування та дослідження структури і властивостей захисних покриттів із металевим зв'язком на основі сплаву 12Х18Н9 з додаванням феробору ФБ-17 для підвищення довговічності деталей суднового машинобудування.

Основна частина. Для проведення досліджень виготовлено шихту на основі хромонікелевої сталі 12Х18Н9 та феробору ФБ-17 (вміст бору ~17 %) у двох співвідношеннях: 40 кг 12Х18Н9 + 5 кг ФБ-17 та 40 кг 12Х18Н9 + 10 кг ФБ-17. Розрахунковий та хімічний аналіз (Bruker) підтвердив, що при додаванні 10 кг ФБ-17 підсумковий вміст бору в сплаві перевищує 2,4 % (Cr – 16,08 %, Ni – 8,85 %, Fe – основа), що цілком достатньо для прояву самофлюсуючих властивостей. Формування покриття здійснювали шляхом занурення сталевих елементів у розплав, отриманий в індукційній печі, з витримкою 0,5–1,5 хв та наступним охолодженням на повітрі. Мікроструктурний аналіз засвідчив утворення монолітного покриття із формуванням чіткої дифузійної зони товщиною понад 20 мкм, яка забезпечує міцне металеве (металургійне) зчеплення з основою за рахунок взаємної дифузії елементів (Ni, Cr, B ↔ Fe).

Рентгеноструктурний аналіз (PROTO AXRD, випромінювання CoKα) та кількісний фазовий аналіз за методом Ритвельда встановили гетерогенний фазовий склад покриття зі сплаву 12Х18Н9 + 10 кг ФБ-17:

- мартенсит – 60, мас. %;
- залишковий аустеніт – 20, мас. %;
- боридні фази (Fe_2B – 11,6 %, Cr_5B_3 – 3,5 %, Cr_2B_3 – 3,7 %) – загалом ~18, мас. %.

Формування мартенситної матриці зумовлене перерозподілом легуючих елементів (зв'язуванням Cr і Ni у бориди) та високою швидкістю охолодження. Присутність залишкового аустеніту забезпечує необхідну в'язкість матриці, що перешкоджає крихкому руйнуванню.

Залежно від вмісту ФБ-17 змінюються механічні характеристики покриття. Для сплаву з 5 кг ФБ-17 (вміст бору ~1,5 %) мікротвердість становить 3,4 ГПа. Нижчий вміст бору забезпечує високу пластичність покриття. Для сплаву з 10 кг ФБ-17 (вміст бору >2,4 %) мікротвердість зростає до 5,1 ГПа, а твердість за Роквелом досягає 55…57 HRC (при твердості основи 1,6 ГПа). Це відповідає рівню високоякісних наплавочних матеріалів і забезпечує високу зносостійкість в умовах абразивного тертя.

Випробування на згин показали, що виникаючі тріщини у поверхневому шарі не є наскрізними завдяки релаксаційній здатності аустенітної складової. Найбільш активне тріщиноутворення спостерігається на ділянках із товщиною покриття понад мм.

Результати експериментів підтверджують технологічну гнучкість розробленого сплаву системи 12Х18Н9–ФБ-17. Поряд із зануренням у розплав, склад рекомендовано використовувати у вигляді порошкових матеріалів для плазмового та газополуменевого напилення з подальшим лазерним, індукційним або плазмовим оплавленням. Це дозволяє створювати зносостійкі покриття на деталях складної конфігурації суднового машинобудування.

Висновки. Обґрунтовано технологію формування зносо- та корозійностійких покриттів зануренням сталевих деталей у розплав самофлюсівного сплаву 12Х18Н9–ФБ-17 з утворенням суцільної дифузійної зони товщиною від 20 мкм. Встановлено, що оптимальним за рівнем твердості (55…57 HRC, мікротвердість 5,1 ГПа) є сплав із додаванням 10 кг ФБ-17, структура якого представлена мартенситною матрицею (60,7 %), армованою боридами заліза та хрому (~18,8 %), із вмістом залишкового аустеніту (20,6 %). Розроблений склад має високий потенціал для відновлення та зміцнення широкої номенклатури деталей суднових механізмів як методом занурення, так і комбінованими методами газотермічного напилення з оплавленням, що є важливим внеском у підвищення надійності військово-морської техніки та обороноздатності України.

Література

[1] Preub, B., Lindner T., Kaur S. (2024) Development of CoCr0.65FeNi-BSiC as a self-fluxing high-entropy alloy for thermal spraying. *Surface and Coating Technology*. 476, 130259. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.130259

[2] Feldshtein E., Kardapolava M., Dyachenko O. (2016) On the effectiveness of multi-component laser modyfing of Fe-based self-fluxing coating with hard particulates. *Surface and Coating Technology*. 307, 254–261. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.08.068

[3] Zhu, YS., Sun, YQ., Luo, XT. et al.(2025) Air Plasma Spraying of MCrAlY Coatings with Low Oxide Content Enabled by Adding a Deoxidizer. *Journal of Thermal Spray Technology*, 34, 823–834. https://doi.org/10.1007/s11666-024-01897-y

[4] Zhou, G.X., Zhao, T., Wang, M.S. et al. (2024) Effect of Main Arc Current on Microstructure and Cavitation Resistance of NiCrBSi-WC Alloy Coating Prepared by Plasma Transfer Arc Welding. *Journal of Thermal Spray Technology* , 33, 2853–2875 . https://doi.org/10.1007/s11666-024-01872-7

NANOSTRUCTURING / FORMATION OF WEAR-RESISTANT COATINGS FOR MARINE ENGINEERING COMPONENTS

Karpechenko Anton Anatoliiovych, Bobrov Maksym Mykolaiovych, Yaros Yurii Oleksandrovych, Savenkov Oleg Igorevich

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The study presents a technology for forming protective wear-resistant coatings with metallic bonds on steel components by dipping them into a melt of a self-fluxing 12Kh18N9–FB-17 alloy. The phase composition, hardness (55–57 HRC), and microstructural features of the coatings were established. The technological flexibility of using the developed alloy for thermal spraying followed by refacing to enhance marine machinery durability is demonstrated.

Keywords: self-fluxing alloy, metallic bond, diffusion zone, martensite, borides, wear resistance, marine engineering.

УДК 621.9

ТРАНСФОРМАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА В МАШИНОБУДУВАННІ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ AGILE-ПІДХОДІВ

Боду С.Ж.,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
svitlana.bodu@nuos.edu.ua
Новошицький А.В.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
anton.novoshytskyy@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова Миколаїв, Україна,

Анотація. Досліджуються можливості та передумови впровадження гнучких методологій управління (*Agile*) у сучасне машинобудівне виробництво. Проведено критичний аналіз обмежень класичних каскадних (*Waterfall*) моделей у контексті динамічних ринкових викликів, дефіциту кадрового потенціалу та необхідності прискореної комерціалізації інженерних розробок. Обґрунтовано концепцію гібридної інтеграції ітеративних принципів із жорсткими регламентами конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПВ).

Ключові слова: *Agile*-методології, машинобудування, гібридне управління проєктами, інжиніринг, ітеративне проєктування.

Вступ. Сучасне машинобудування функціонує в умовах турбулентного ринкового середовища, жорсткої глобальної конкуренції та стрімкого скорочення життєвого циклу технологічних інновацій. Традиційні лінійні методи керування проєктами (зокрема концепція *Waterfall*), що довгий час домінували у важкій промисловості та машинобудуванні, сьогодні демонструють низьку адаптивність до непередбачуваних змін. Жорстка регламентація етапів ескізного, технічного та робочого проєктування унеможливлює оперативне коригування конструкторської документації у разі зміни технічного завдання або виявлення логістичних обмежень постачання сировини й комплектуючих. На тлі хронічного дефіциту висококваліфікованих інженерних кадрів, зростання вимог до енергоефективності та екологічності виробництва промислові підприємства гостро потребують парадигмального зсуву в методології організаційного управління [1; 2, с. 69; 3, с. 230].

Мета роботи – розробити теоретико-методичні засади адаптації гнучких інструментів *Agile* до специфіки машинобудівного виробництва задля подолання інертності конструкторських циклів і прискорення впровадження інноваційних рішень.

Основна частина. Термін *Agile* асоціюється з ітеративністю, децентралізацією прийняття рішень та постійним зворотним зв’язком. Утім, безпосередній перенос інструментів (*Scrum*, *Kanban* у чистому

вигляді) на фізичне машинобудування неможливий через об'єктивну інерційність «залізних» процесів: виготовлення унікального оснащення, потреба у фізичних випробуваннях прототипів на міцність, жорсткі допуски та сувора нормативна база (ЄСКД, *ISO* тощо).

Для нівелювання цих суперечностей пропонується застосування гібридних фреймворків, що поєднують надійність поетапного контролю якості з гнучкістю коротких виробничих циклів (спринтів).

Ключові напрями інтеграції *Agile*-принципів у машинобудівну галузь охоплюють:

1. Модульне та ітеративне конструювання. Замість тривалої розробки виробу «з нуля» у вигляді єдиного монолітного проєкту, об'єкт розбивається на функціональні вузли та модулі. Це дозволяє паралельно вести проєктування і випробування окремих підсистем (наприклад, гідроприводів, систем управління чи елементів технологічної оснастки), мінімізуючи ризики фатальних конструкторських прорахунків на фінальних стадіях.

2. Синтез *Agile* та концепції *Digital Twin* (цифрових двійників). Віртуальне моделювання фізичних характеристик виробу всередині віртуального середовища дозволяє реалізувати мікроітерації на етапі САПР (*CAD*/*CAE*) без витрат на створення дорогих натурних зразків. Зворотний зв'язок від віртуального тестування миттєво інтегрується в наступний цикл доопрацювання моделі [4, с. 15].

3. Прозорість та крос-функціональна взаємодія. Використання візуальних дошок управління та щоденних оперативних мітингів (*Stand-up*) на рівнях «конструктор – технолог – виробник» руйнує традиційні бар'єри між відділами, суттєво прискорюючи передачу креслень у виробництво та усуваючи технологічні нестиковки.

4. Рання валідація з боку замовника (*User Involvement*). Залучення кінцевого споживача або внутрішнього замовника на проміжних етапах демонстрації віртуальних чи швидкопрототипованих макетів дозволяє виявити невідповідності ергономіки, функціоналу чи габаритів ще до запуску серійного виготовлення штампів і ливарних форм.

Водночас впровадження таких підходів стикається з низкою бар'єрів: консерватизмом інженерної школи, опором персоналу змінам корпоративної культури, а також труднощами кошторисної оцінки робіт при нефіксованому початковому обсязі проєкту. Проте гнучке управління проєктами слугує каталізатором зниження собівартості НДДКР (науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт).

Висновок. Інтеграція елементів *Agile* у машинобудівну галузь не передбачає відмову від фундаментальних інженерних стандартів, а є інструментом гнучкого операційного менеджменту. Використання гібридних моделей дозволяє скоротити час конструкторської підготовки, забезпечити високу адаптацію виробництва до запитів ринку та підвищити ефективність використання інтелектуального потенціалу інженерних команд.

Література

[1]. Sokolova, L. and Stoyka, O. (2019), "The current state of machine-building in Ukraine and the tendency of its development under conditions of unbalanced economy", *Efektyvna ekonomika*, [Online], vol. 11, available at: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7378 (Accessed 08 Jul 2026). DOI: 10.32702/2307-2105-2019.11.5

[2]. Державська А.В., Круш П.В. Сучасний стан галузі машинобудування та тенденції її розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету.* 2018. Випуск 21. Частина 1. С. 69–73.

[3]. Целікова А.С., Міська Є.М. Сучаснии стан та проблеми розвитку машинобудівних підприємств України. *Український журнал прикладної економіки та техніки.* 2024. Том 9. № 2. С. 228–235. DOI: https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-2-39.

[4]. Розвиток машинобудування в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення: монографія; ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долішнього НАН України»; наук. редактор д.е.н., проф. С.О. Іщук. Львів, 2022. 13 с.

TRANSFORMATION OF DESIGN AND PRODUCTION PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING BASED ON HYBRID AGILE APPROACHES

Bodu Svitlana Zhakivna, Novoshytskyi Anton Volodymyrovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,

Abstract. The article explores the prerequisites and capabilities of implementing flexible management methodologies (Agile) into modern mechanical engineering production. A critical analysis of the limitations of classical cascading (Waterfall) models in the context of dynamic market challenges, staff shortages, and the need for accelerated commercialization of engineering developments is carried out. The concept of hybrid integration of iterative principles with strict regulations of design and technological preparation of production is substantiated.

Keywords: Agile methodologies, mechanical engineering, hybrid project management, engineering, iterative design.

УДК 621.791.753.014

ПРИНЦИП ПРИЗНАЧЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗВАРЮВАННІ З ВЕЛИКОЮ ПОГОННОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Костін О.М.,
кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри зварювального виробництва,
kostin.weld@gmail.com
Ярос Ю.О.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва,
yaros.amity.mk.ua@gmail.com
Шаблій Т.Ю.,
аспірант, tarasshablii@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Підвищення стабільності та якості формування зварних з'єднань при зварюванні з великою погонною енергією є актуальною проблемою. На прикладі зварювання закладним електродом, наведено принцип призначення більш високої категорії зварювальних матеріалів за температурою експлуатації, ніж основний метал. Показано, що це дозволяє отримувати зварні з'єднання належної якості безпосередньо після зварювання, тому є ефективним до впровадження у виробництво.

Ключові слова: закладний електрод, зварне з'єднання, погонна енергія, механічні характеристики.

Промислове виробництво товстостінних конструкцій, у тому числі зі сталей високої міцності, потребує впровадження високопродуктивних способів зварювання, які гарантовано забезпечують стабільне та якісне формування зварного з'єднання з високими механічними властивостями. Одним з таких перспективних способів є автоматичне однопрохідне електродугове зварювання закладним електродом. Даний спосіб має гібридну природу та може бути класифікований як 73 + 121-H за EN ISO 4063:2023. Проблемою є велика погонна енергія, при якій виконується зварювання, що впливає на механічні характеристики зварного з'єднання.

У зв'язку з цим, **за мету роботи** було поставлено вдосконалення принципу призначення зварювальних матеріалів при зварюванні з великою погонною енергією.

Для зварювання закладним електродом використовували стандартне джерело живлення до 1000А, з характеристикою flat external (CV) відповідно EN IEC 60974-1:2022, п.3.1.9, та механізм подачі зварювального дроту з приводом постійного струму. Основний метал: сталь S460N (1.3 за ISO/TR 15608:2017); зварювальні матеріали: закладний електрод – сталь S460N (1.3 за ISO/TR 15608:2017), дріт – OK Autrod 13.27 (S2Ni2 за EN ISO 14171 з класифікацією A:2016), флюс – OK Flux 10.62 (S A FB 1 55 AC H5 за EN ISO 14174:2019), захисний газ – Ar-18%CO_2 (M21 за EN ISO 14175:2008); кераміка – NST Kerback FR 301615 T.

Зварювання стикового зварного з'єднання з товщиною стінки 40мм виконували за стандартною технологією: струм – 850 ÷ 870 А, напругу дуги – 27 ÷ 29 V. Один полюс джерела живлення приєднували до пари закладний електрод – дріт, інший – до основного металу, при зворотній полярності (DC+). Розрахункові значення параметрів стабільності процесу – коефіцієнти варіації струму (K_{VI}) та напруги (K_{VU}), склали 11,7 % та 4 %, відповідно [1, с. 33]. Характерна макроструктура стикового зварного з'єднання наведена на рисунку.Зазвичай, забезпечення характеристик міцності таких зварних з'єднань не викликає труднощів.

Основною проблемою є високе тепловкладення у зварне з'єднання, яке формує грубу структуру кристалізації, викликає значну анізотропію властивостей в межах єдиного зварювального проходу та зменшує ударну в'язкість металу шва та високотемпературної ділянки ЗТВ [2, с. 45]. Для компенсації негативного впливу надмірного тепловкладення, ефективно застосовується принцип призначення більш високої категорії зварювальних матеріалів за температурою експлуатації, що дозволяє отримувати зварні з'єднання належної якості безпосередньо після зварювання [3, с. 40]. Робота удару всіх зон зварного з'єднання при температурі випробувань – 20 °С склала KV > 52 J, що є прийнятним показником.

Загалом, зварні з'єднання пройшли повний цикл випробувань відповідно вимог стандарту EN ISO 15614-1:2017, рівень придатності 2, Правил NR 216 DT R07 E: January 2025, що дало змогу атестувати технологію зварювання Класифікаційним Товариством Bureau Veritas та впровадити її у виробництво.

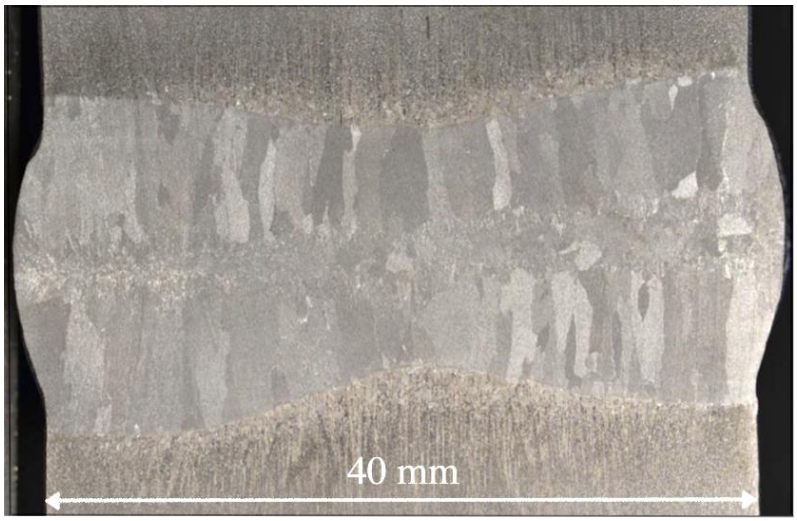


Рисунок – Макроструктура зварного з'єднання сталі S460N

Висновки:

1. Встановлено, що при зварюванні закладним електродом з використанням приводу подачі дроту із негативним зв'язком швидкості від зварювального струму, розрахункові значення параметрів стабільності процесу – коефіцієнти варіації струму (K_{VI}) та напруги (K_{VU}), складають 11,7 % та 4 %, відповідно, що є достатнім для забезпечення технологічної стабільності процесу.
2. Використання більш високої категорії зварювальних матеріалів за температурою експлуатації ніж основний метал забезпечує якість зварних з'єднань відповідно вимог стандартів EN ISO 15614-1:2017, рівень придатності 2 та Правил NR 216 DT R07 E: January 2025.

Література

[1]. Kostin, O.M., Yaros, O.O., Yaros Y.O., and Savenko O.V.: UPE-500 Complex for Determining Welding and Technological Characteristics of Coated Electrodes. The Paton Welding Journal (2021), Issue 8, pp. 33/37.

[2]. Kostin, A.M., Martynenko, V.A.: Analytical and Practical Assessment of Higher Strength Hot-rolled Plate Weldability. *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle XII Welding Equipment and Techn*ology (2017), Issue 28, P. 45/50.

[3]. Kostin, O.M.: Recommendations on Weldability Testing at Certification of Shipbuilding Steel Production. *Journal "Automatic Welding"* (2023), Issue 2, P. 40/45.

PRINCIPLE OF SELECTING WELDING CONSUMABLES FOR WELDING WITH HIGH ENERGY INPUT

Kostin O.M., Yaros Y.O., Shablii T.Y.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Improving the stability and quality of weld joint formation when welding with high energy input is a relevant problem. Using welding with an embedded electrode as an example, this paper presents the principle of selecting welding consumables of a higher service-temperature category than the base metal. This approach makes it possible to obtain weld joints of appropriate quality directly after welding, making it effective for implementation in production.

Keywords: embedded electrode, weld joint, heat energy input, mechanical properties.

UDC 621.791.01.6

METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE ADEQUACY OF MODEL STUDIES

Labartkava A.V.,
PhD, Professor of Welding Department, PhD
Labartkava A.V.,
PhD, Associate Professor of Welding Department
oleksandr.labartkava@nuos.edu.ua
Taranushchenko K.V.,
Student of Department of Theory and Design of Ships
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A methodology for validating numerical models of inherent strains in soldered three-layer structures is presented. ANSYS finite element simulations were compared with speckle-interferometry measurements, showing good agreement with discrepancies of 3–5 %, confirming the reliability and applicability of the proposed approach.

Keywords: simulation, ANSYS, inherent deformations, brazed joint, speckle interferometry, model validation, three-layer bar.

The aim of this work is to experimentally verify the adequacy of the results of computer simulation of inherent strains in a soldered three-layer beam by comparing the calculated data with full-scale measurements obtained by speckle-interferometry.

To experimentally verify the adequacy of the model studies, computer simulation of inherent strains in a soldered three-layer beam (Fig. 1) was carried out using ANSYS software under heating to 85 °C.

Experimental studies of inherent strains in a three-layer soldered beam-type joint were conducted in works [1, 2] using speckle-interferometry.

Theoretical calculations were carried out in the ANSYS software environment using the Plane 182 finite element type. The computational model was developed for one quarter of the specimen due to its symmetry and identical thermal expansion in all directions. The calculation scheme is presented in Fig. 2.

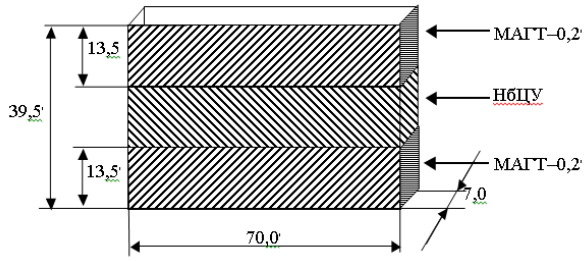


Figure 1 – Sketch of the experimental specimen

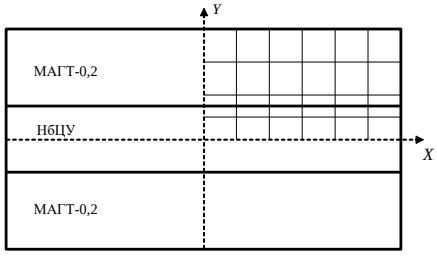


Figure 2 – Calculation scheme of the specimen

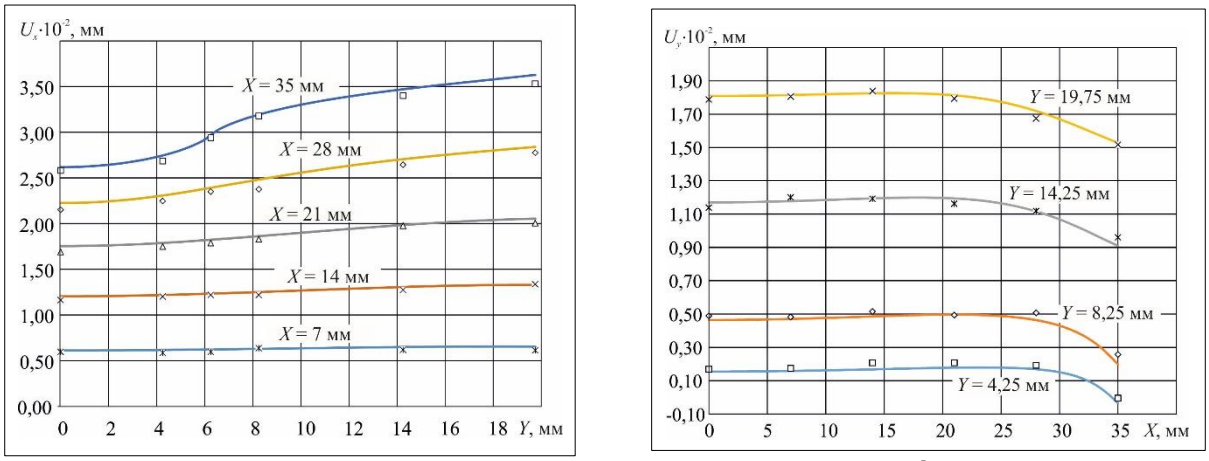
The elastic problem was solved employing the real material properties listed in Table 1.

Table 1 – Mechanical properties of materials

Material	T_{test}, °C	σ_t, МПа	σ_y, МПа	δ, %	$\alpha \cdot 10^6$, 1/°C	$E \cdot 10^{-5}$,MPa
МАГТ-0,2	20	500…600	440…520	15…25	16…18	100…120
	800	100…150	240…350	5…7		
НбЦУ	20	300…350	230…270	25…28	6…8	70…110

Using the calculated and experimental data from [1], displacement diagrams were plotted for the respective cross-sections (Fig. 3), where solid lines represent the theoretical values and dots indicate the experimental ones.

The analysis of the displacement diagrams presented in Fig. 3 reveals a good agreement between the theoretical and experimental data, indicating their validity. The maximum deviation in displacements (approximately 3–5 %) is observed at points located in the brazed joint area. This is attributed to changes in the physical and mechanical properties of the materials within the transition layer. Furthermore, in the regions of highest strains, the experimental displacement values are averaged over the scanning beam cross-section, which results in reduced measurement accuracy [1, 2].



a b

Fig. 3. Displacement diagrams: ***a*** *– Ux;* ***b*** *– Uy*

Conclusions. The comparison of theoretical and experimental displacement diagrams confirms the high reliability of the developed finite-element model. The minor discrepancies identified fall within acceptable limits and have a physical explanation, which makes it possible to recommend the proposed methodology for further model studies of the stress–strain state of brazed joints made of dissimilar materials.

References

[1] Prokhorenko, V. M., Ermolaev, G. V., Labartkava, A. V., & Zolotoy, Yu. G. (2002). Investigation of residual deformations in brazed joints made of dissimilar materials using speckle interferometry. *Collection of Scientific Papers of the Ukrainian State Maritime Technical University*, No. 5, P. 52–57.

[2] Kvasnitsky, V. F., Prokhorenko, V. M., Ermolaev, G. V., & Labartkava, A. V. (2002). Computer modeling of residual stress fields and their experimental investigation in the joining of dissimilar materials. *Mathematical Modeling and Information Technologies in Welding and Related Processes*: Proceedings of the International Conference, September 16–20, 2002, Katsiveli, Crimea, Ukraine, P. 136–139.

УДК 621.791.3/.8

МОЖЛИВОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

Лебедєв В.О.,
професор, Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
valpaton@ukr.net
Лой С.А.,
доцент Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, старший викладач,
loys@ukr.net
Спіхтаренко В.В.,
доцент кафедри зварювання Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
vladimir.kherson11@gmail.com

Анотація. У роботі проведено системний аналіз застосування процесів дугового зварювання та наплавлення з використанням імпульсних впливів різного походження. Досліджено ефекти від застосування імпульсів, що генеруються як безпосередньо інверторними джерелами живлення, так і спеціалізованими механізмами дозованої подачі електродного дроту. На основі порівняльних експериментальних даних, включаючи макрошліфи та фрагменти стикових з'єднань, показано переваги імпульсних технологій у забезпеченні регулярного формування швів, щільності металу та мінімізації розбризкування.

Ключові слова: електродугове зварювання; наплавлення; обладнання; імпульсний вплив; застосування; характеристики.

Електродугове зварювання та наплавлення на сьогодні залишаються найбільш поширеними та універсальними технологічними процесами, які застосовуються як для створення нових конструкцій, так і для відновлення або поверхневого зміцнення широкого спектра вузлів і деталей машин. Постійне підвищення вимог до експлуатаційних характеристик зварних з'єднань змушує шукати нові методи керування параметрами зварювальної ванни та дуги.

Традиційні підходи, такі як оптимізація складу захисних газів, використання активованих паст чи розробка нових марок електродних дротів, багато в чому вичерпали свій потенціал або потребують значних економічних витрат. У цьому контексті найдинамічнішим та технологічно ефективним напрямом є впровадження імпульсних впливів різного походження. Застосування коливальних алгоритмів, контрольованих змін зварювального струму та дискретної подачі матеріалу дозволяє безпосередньо впливати на гідродинаміку зварювальної ванни та характер перенесення електродного металу. Це зумовлює високу актуальність системного аналізу апаратних комплексів, здатних реалізувати такі алгоритми на практиці.

Мета роботи полягає у системному аналізі, класифікації та порівняльному оцінюванні впливу імпульсів різного походження [1] на результати електродугового зварювання та наплавлення плавким електродом для визначення найбільш перспективних векторів розвитку зварювального обладнання.

Для досягнення мети було сформовано комплекс критеріїв оцінки, що визначають ефективність дугового процесу:

1. Якість формування геометричних параметрів шва або наплавленого валика.
2. Енергетична ефективність та рівень втрат електродного металу.
3. Складність і матеріаломісткість апаратних систем.
4. Експлуатаційні умови та універсальність застосування обладнання.

Аналіз систем імпульсного впливу джерел зварювального струму. Основним і найбільш вивченим методом є модулювання енергетичних параметрів дуги за допомогою інверторних джерел живлення. Сучасний рівень розвитку мікропроцесорної техніки дозволяє реалізувати як жорсткі програмні алгоритми, так і адаптивні синергетичні системи зі зворотним зв'язком за напругою та струмом дуги. На світовому ринку лідерами в цьому сегменті є системи компаній Fronius (технологія CMT), Lincoln Electric (управління за технологією SST), Kemppi, а також вітчизняні інверторні розробки Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона.

Технології класу CMT (Cold Metal Transfer) базуються на інтеграції імпульсу струму зі зворотним рухом електродного дроту за допомогою додаткового малоінерційного двигуна [2], вбудованого безпосередньо в пальник. Системи SST забезпечують високошвидкісне регулювання форми хвилі струму в критичні моменти утворення та руйнування перемички краплі металу. Попри високу ефективність, такі системи суттєво ускладнюють апаратну частину і потребують значних капіталовкладень.

Розвиток та особливості систем імпульсної подачі електродного дроту. Альтернативним та перспективним вектором, який за своєю ефективністю не поступається імпульсним джерелам струму, є механічне створення імпульсів через систему подачі дроту. Історично простіші системи використовували механізми з однобічними захватами. Вони дозволяли змінювати частоту імпульсів лише в обмежених межах шляхом регулювання обертів колекторного двигуна, що суттєво обмежувалося інерційністю механічних ланок.

Для усунення інерційності було досліджено можливість використання крокових та вентильних безколекторних електродвигунів. Порівняльний аналіз показав перевагу вентильних високомоментних приводів. В Україні було розроблено та впроваджено спеціалізований вентильний електродвигун з універсальним комп'ютеризованим блоком управління (Рис. 1), який забезпечує частоту проходження імпульсів регульованої форми до 80 [3] Гц та підтримує зворотний зв'язок за параметрами дуги.

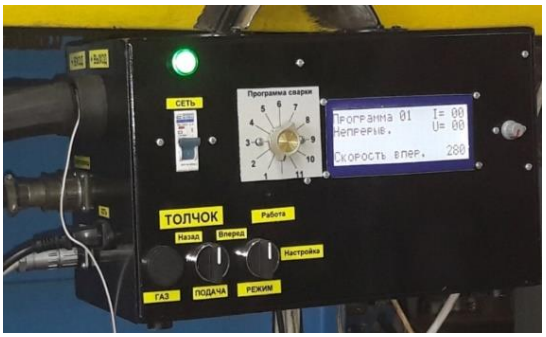


Рисунок 1 – Схематична структура інтерфейсу універсального блока управління подачею дроту

Результати експериментальних досліджень. Впровадження розробленого блоку дозованої та імпульсної подачі було протестовано на двох критичних технологічних задачах:

Зварювання алюмінієвих шинопроводів великого перерізу: Проведено порівняльний аналіз багатошарового зварювання суцільним дротом у звичайному режимі та з імпульсною подачею за допомогою механізму з однобічними захватами. Аналіз макрошліфів чітко продемонстрував, що імпульсний вплив забезпечує отримання щільної структури металу шва без інтерметалідів, пористості та сторонніх включень, що критично знижує електричний опір з'єднання.

Стикове зварювання сталей у середовищі захисних газів: Виконано зварювання пластин у нижньому положенні в середовищі CO_2 електродним дротом марки Св-08Г2С діаметром 1, мм. Порівняльні характеристики конвенційного та дозованого методів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики конвенційного та дозованого методів

Параметр порівняння	Конвенційна (звичайна) подача	Дозована (імпульсна) подача
Характер формування шва	Нерівномірний, лускатий	Висока регулярність геометричних параметрів
Наявність бризок металу	Значна кількість приварених бризок	Практично відсутні на поверхні пластин
Формування зворотної сторони	Нерівномірне проплавлення, ризик пропалів	Рівномірний зворотний валик (стабільне проплавлення)
Керування переносом	Гравітаційно-хаотичне	Примусове, синхронізоване з кроком подачі

Обговорення результатів та наукова новизна. Поєднання керованого інверторного джерела та малоінерційного вентильного приводу подачі дроту дозволяє вийти на новий рівень контролю переносу металу. Фізичний зміст процесу дозованої подачі полягає в тому, що руйнування шийки краплі та її перехід у ванну провокуються механічним імпульсом руху дроту вперед у поєднанні з програмним скиданням струму в момент короткого замикання. Це мінімізує дію сил магнітного дуття та виключає вибухоподібне руйнування перемички, що повністю усуває утворення дрібнодисперсних бризок. Стабільність гідродинамічних процесів у ванні забезпечує дрібнозернисту структуру металу шва та підвищує механічні й експлуатаційні властивості з'єднань.

Висновки

1. Імпульсні впливи на процеси дугового зварювання та наплавлення є високоефективним інструментом керування якістю зварних з'єднань, що дозволяє гнучко контролювати геометричні параметри та структуру металу шва.
2. Генерація імпульсів може здійснюватися як базовими апаратними системами джерела живлення, так і спеціалізованими периферійними механізмами, причому їх спільна синергетична робота є найбільш ефективною.
3. Найбільш відпрацьованим промисловим рішенням є використання інверторів із жорстким або адаптивним програмуванням форми імпульсів струму (технології CMT, SST тощо).
4. Перспективним і економічно доцільним напрямом є впровадження комп'ютеризованих систем імпульсної та дозованої подачі електродного дроту на базі малоінерційних безколекторних вентильних двигунів, які забезпечують чітку регулярність формування шва та повну відсутність розбризкування металу.

Література

[1] Лебедєв В.О., Лой С.А. Спіхтаренко В.В. Методика вибору параметрів електродугового процесу з імпульсною подачею електродного дроту. *Збірник наукових праць НУК*. № 1 (503), Том 1, 2026. С. 60–64. DOI: https://doi.org/10.15589/znp2026.1 (503).1.7 [in Ukrainian].

[2] Selvi S., Vishvaksenan A., Rajasekar E. (2018). Cold metal transfer (CMT) technology – An overview. *Defence Technology,* 14 (1), 28–44. https://doi.org/10.1016/j.dt.2017.08.002

[3] Lebedev V., Rymsha V., Lendel I. BLDC electricdrive in the mechanism of pulse feed of electrode wire. *The Journal Electromechanic and Computer Systems.* 2014. No. 16 (92). P. 26–31.

THE POTENTIAL OF PULSE TECHNOLOGIES IN ARC WELDING

V.A. Lebedev, S.A. Loi, V.V. Spikhtarenko

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University.

Abstract. This study presents a systematic analysis of arc welding and surfacing processes employing pulsed effects of various origins. The effects of pulses generated both directly by inverter power sources and by specialized mechanisms for the controlled feeding of electrode wire were investigated. Based on comparative experimental data–including macro-sections and butt joint samples–the advantages of pulsed technologies in ensuring consistent weld bead formation, metal soundness, and minimized spatter are demonstrated.

Keywords: electric arc welding; surfacing; equipment; pulse action; application; characteristics.

УДК 621.791.9271

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ З КЕРОВАНИМ ІМПУЛЬСНИМ РУХОМ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ

Лебедєв В.О.,
професор, Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
valpaton@ukr.net
Лой С.А.,
доцент Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, старший викладач,
loys@ukr.net
Спіхтаренко В.В.,
доцент кафедри зварювання Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
vladimir.kherson11@gmail.com

Анотація. Розглянуто новий декомпозиційний факторний простір повних факторних експериментів для вивчення впливу енергетичних параметрів (струм та напруга дугового процесу) та параметрів імпульсної подачі електродного дроту (частота та шпаруватість імпульсного руху) на результати зварювання та наплавлення зі скороченням числа експериментів.

Ключові слова: механізоване зварювання; наплавлення; імпульсна подача; електродний дріт; наплавлений шар; математична модель.

Автоматичне і механізоване зварювання електродом, що плавиться, на сьогоднішній день є одним з домінуючих технологічних процесів у різних галузях промислового виробництва.

Одним з найбільш перспективних напрямків модернізації є застосування дугового зварювання та наплавлення з керованим імпульсним поданням електродного дроту [1; 2]. При раціонально підібраних параметрах цей процес забезпечує комплекс переваг: прецизійне управління процесом перенесення крапель електродного металу; зниження втрат електродного металу на випаровування та розбризкування; спрямоване зміна геометричних розмірів зварного шва та наплавленого валика; зниження загальних енергетичних витрат та втрат енергії; покращення санітарно-гігієнічних характеристик умов праці; підвищення якісних характеристик металу шва та наплавленого шару; можливість стабільного ведення процесу у різних просторових положеннях, відмінних від нижнього.

Впровадження імпульсних алгоритмів у роботу зварювальних систем призводить до того, що на дуговий процес починає впливати значно більша кількість технологічних факторів. В результаті класичні апаратні та математичні методи досліджень суттєво ускладнюються. Проведення комплексних багатофакторних натурних експериментів потребує колосальних тимчасових, трудових та матеріальних ресурсів (витрата зразків, захисних газів, зварювального дроту, виготовлення та аналіз шліфів).

Мета роботи – розробка та обґрунтування математичного підходу для спрощення дослідницьких процедур щодо вихідних параметрів зварювання та наплавлення з імпульсною подачею електродного дроту шляхом декомпозиції факторного простору та скорочення обсягу експериментів.

Оцінка ефективності впливу параметрів імпульсного руху дроту виходить з побудові математичного опису процесу. Параметр якості або геометрії зварного з'єднання (Z) в загальному вигляді описується функцією відгуку [3]:

$$Z = \psi (x_1, x_2, \dots x_n), \quad (1)$$

де x_1, x_2, x_n – фактори, що впливають на результат електродугового процесу.

В умовах зварювання в середовищі захисного газу CO_2 ключовими параметрами, що оцінюються (Z) є:

h – опуклість валика наплавленого металу, мм;
b – ширина валика наплавленого металу, мм;
p – глибина проплавлення основного металу, мм;
α – кут сплавлення, град;
ψ – коефіцієнт втрат електродного металу,%;
W – повна витрата електроенергії, кВт · год.

На зазначені параметри впливають дві групи факторів: енергетичні параметри дуги (сила струму I, напруга дуги U) та параметри імпульсного механізму (частота імпульсів f, шпаруватість S). За умови

фіксації додаткових факторів (витрата газу, виліт дроту, швидкість зварювання), узагальнене рівняння функції відгуку набуває вигляду:

$$h\ b,\ p,\ \alpha,\ \psi,\ W = \varphi\ (U,\ I,\ f,\ S) \quad (2)$$

Недоліки класичного підходу. Оскільки функція (2) залежить від чотирьох незалежних факторів, її графічне відображення лежить у чотиривимірному просторі, що унеможливлює пряму візуалізацію. Повний факторний експеримент типу (3^k) для чотирьох змінних (k=4) вимагає проведення як мінімум $3^4 = 81$ експеримент. Це робить дослідження економічно неефективним та затягнутим у часі.

Методологія та методика дослідження. Для оптимізації експериментальних процедур запропоновано метод декомпозиції факторного простору. Як базовий математичний апарат обраний поліном другого порядку, що дозволяє досліджувати функцію на екстремуми та визначати оптимальні технологічні зони.

Для побудови моделі авторами застосовано композиційний ортогональний план повного факторного експерименту. Структура плану складається з повного факторного експерименту *2k (k≤5),* центральних точок та *2k* «зоряних» точок, розташованих на осях фіктивного простору з координатами (±α, 0,…, 0), (0, ±α, 0,…, 0), …, (0,…, 0, ± α). Загальна кількість дослідів (N) розраховується за такою формулою:

$$N_0 = 2^k + n_0 \quad (3)$$

де N_0 – кількість дослідів повного факторного експерименту, k – число факторів, n0 – кількість дослідів у центрі плану

Величина «зоряного плеча» (α) визначається умовою ортогональності плану та розраховується із співвідношення:

$$a = \sqrt{\frac{\sqrt{N_0 N} - N_0}{2}} \quad (4)$$

Етапи реалізації декомпозиційного підходу. Перший етап: Досліджується вплив виключно енергетичних параметрів (*I, U*) при класичній постійній подачі електродного дроту:

$$h,\ b,\ p,\ \alpha,\ \psi,\ W = \varphi\ (U,\ I) \quad (5)$$

Другий етап: На отриманому двовимірному просторі параметрів *I, U* виділяються 5 базових реперних точок [4]: центральна точка та чотири зіркові точки з координатами (±α, 0) та (0, ±α).

Третій етап: Для кожної з п’яти виділених енергетичних точок будується локальна залежність від параметрів імпульсного руху дроту (частоти f та шпаруватість S):

$$h,\ b,\ p,\ \alpha,\ \psi,\ W = \varphi\ (f,\ S) \quad (6)$$

Такий підхід розщеплює складне чотиривимірне простір на систему взаємопов’язаних двовимірних площин [4]. Це дозволяє визначати значення відгуків у будь-якій довільній точці простору I – U за допомогою методів математичної інтерполяції та екстраполяції.

Результати досліджень та їх обговорення. Експериментальна перевірка методики здійснювалася з використанням механізмів імпульсної подачі дроту, оснащених вентильним регульованим електроприводом. Математична обробка експериментальних даних дозволила побудувати адекватні регресійні моделі та візуалізувати їх у вигляді контурних графіків (ізоліній).

На рисунку 1 представлений контурний графік зміни висоти (випуклості) зварного шва (*h*) залежно від частоти (*f*, Гц) та шпаруватості (*S*) імпульсів подачі.

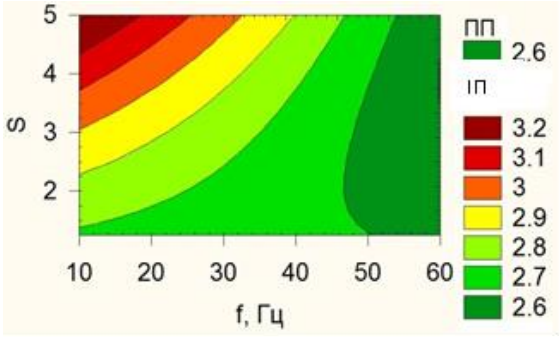


Рисунок 1 – Характер зміни геометрії шва (висоти) при переході від постійної подачі (ПП) до імпульсної (ІП)

Аналіз результатів: Графік демонструє нелінійний характер впливу параметрів імпульсу на геометрію валика. При низьких частотах (10–30 Гц) та високій шпаруватості (S > 3) спостерігається

максимальне збільшення висоти шва до 3. мм (зона ІП), тоді як при стабілізації процесу на високих частотах (>50 Гц) параметри вирівнюються зі значеннями постійної подачі (ПП – 2. мм).

Запропонований декомпозиційний метод підтвердив свою високу точність: аналітично передбачені значення параметрів шва в проміжних координатах струму та напруги повністю збіглися з контрольними натурними зрізами. При цьому реальне скорочення кількості лабораторних зварок становило більш ніж 60 %.

Наукова новизна. Сформульовано та теоретично обґрунтовано новий декомпозиційний підхід до аналізу багатофакторних технологічних просторів при дуговому зварюванні. Доведено можливість коректного виключення низки факторних експериментів без втрати точності підсумкової поліноміальної моделі.

Практична значимість. Запропонована методика є ефективним інженерним інструментом для прогнозування параметрів наплавлення. Її використання забезпечує: суттєве скорочення часу на проведення науково-дослідних та пусконалагоджувальних робіт; зниження витрат на дорогі оборотні матеріали (зразки металів, зварювальний дріт, суміші газів); оптимізацію завантаження лабораторного устаткування рахунок зменшення обсягу металографічних досліджень (виготовлення макрошлифів).

Висновки. Розроблено та успішно апробовано комплексну методику дослідження параметрів дугового зварювання з керованим імпульсним рухом електродного дроту.

За рахунок декомпозиції вихідного чотиривимірного факторного простору на систему двовимірних площин досягнуто кратне скорочення кількості необхідних дослідів із збереженням високої точності апроксимації результатів.

Література

[1] Vladimir Lebedev, Andrey Labartkava, Serhii Loy, Gennady Zhuk Operational Characteristics of the Welding Joint and the Overlay at the Mechanized Arc Welding-Overlay with Pulse of the Electrode Wire Supply *Bulletin of the georgian national academy of sciences*, vol. 15, no. 3, 2021. P. 19–26 DOI: http://science.org.ge/bnas/t15-n3/03_Lebedev_Mechanics.pdf.

[2] Вплив імпульсної подачі електродного дроту на вміст легуючих елементів та деякі механічні характеристики наплавлених шарів металу / В.О. Лебедєв, С.А. Лой, Г.В. Єрмолаєв, В.В. Спіхтаренко. *Збірник наукових праць НУК*. 2023. № 4. С. 28–32. DOI: https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).4.

[3] Теорія планування експерименту / В. Нечаєв, Т. Берідзе, В. Кононенко. Київ : Кондор, 2005. 23 с.

[4]. Лебедєв В.О., Лой С.А. & Спіхтаренко В.В. Методика вибору параметрів електродугового процесу з імпульсною подачею електродного дроту. *Збірник наукових праць НУК*. № 1 (503), Том 1, 2026. С. 60–64. DOI https://doi.org/10.15589/znp2026.1(503).1.7 [in Ukrainian].

A COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR INVESTIGATING THE PARAMETERS OF ARC WELDING WITH CONTROLLED PULSED ELECTRODE WIRE FEED

V.A. Lebedev, S. A. Loi, V.V. Spikhtarenko

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University.

Abstract. A new decompositional factorial space for full factorial experiments is considered, aimed at investigating the influence of power parameters (arc current and voltage) and pulsed electrode wire feed parameters (frequency and duty cycle of the pulsed motion) on the results of welding and cladding, whilst reducing the number of experiments.

Keywords: mechanized welding; surfacing; pulsed feed; electrode wire; surfacing layer; mathematical model.

УДК 621.791.9271

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ ПРИ MIG ЗВАРЮВАННІ

Лебедєв В.О.,
професор, Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
valpaton@ukr.net
Лой С.А.,
доцент, старший викладач,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, loys@ukr.net

Анотація. Розглядається можливість зниження витрат електроенергії при зварюванні способом MIG із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту шляхом підвищення енергетичної ефективності цього процесу. Проаналізовано для порівняння аналітичні залежності коефіцієнта корисної дії кількох електродугових процесів. Приведені результати експериментальних досліджень, з яких випливає, що для відомих технологій зварювання процес з використанням імпульсної подачі електродного дроту є найбільш ефективним.

Ключові слова: ефективність зварювання, порівняння, електродний дріт, імпульс.

Мета роботи. Розробка методів оцінювання енергетичної ефективності процесів зварювання з застосуванням процесів TIG та MIG в тому числі з використанням імпульсної подачі електродного дроту з наступною їх експериментальною перевіркою.

Методологія та методика дослідження. Зварювання із застосуванням імпульсів струмів, які можуть забезпечити керування процесом перенесення електродного метала в ванну відомий процес. Вже дуже поширене зварювання з застосуванням джерел зварювального струму різних конструкцій з різними алгоритмами функціонування.

Управління переносом електродного металу може бути реалізовано за допомогою імпульсного руху електродного дроту. Цей напрямок вдосконалення процесу зварювання починає все більше застосовуватись в процесах MIG, а також при зварюванні порошковими самозахисними електродними дротами де імпульсний режим, який здійснюється спеціальними джерелами зварювального струму, майже не застосовується.

Результати досліджень та їх обговорення. На теперішній час розроблено багато конструкцій механізмів імпульсів від достатньо простих з обмеженими можливостями в регулюванні параметрів імпульсів і відповідно в формуванні крапель процесу переносу електродного металу, до досить досконалих з можливостями вибору та встановлення значного числа параметрів імпульсної подачі електродного дроту.

Імпульсна подача електродного дроту забезпечує ряд техніко технологічних переваг які вказані в спеціальній технічній літературі, наприклад [1] де вказано на ефективність застосування процесу з імпульсними алгоритмами руху дроту для поліпшення зварювання способом MIG.

Треба зазначити, що не зважаючи на багато досліджень по технологічним особливостям зварювання сплавів алюмінію із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту, перспективності використання керованої імпульсної його подачі з завдяки новим системам керування та регулювання, практично відсутні результати визначення енергетичної ефективності дії імпульсної подачі.

Таке визначення можна зробити на основі порівняння деяких відомих способів зварювання сплавів алюмінію з технологією MIG зварювання з імпульсною подачею електродного дроту. Для прикладу порівняємо ефективності звичайних процесів TIG та MIG з процесом MIG де використовується імпульсна подача електродного дроту.

Оцінюючи ефективність використання теплової енергії дуги при TIG і MIG дугових процесах слід зазначити, що у відповідності до [6] ефективна теплова потужність дугового процесу може бути визначена приблизно у вигляді:

$$Q_{\text{e}} = 0{,}24 U_{\text{д}} I_{\text{д}} \eta \,, \qquad (1)$$

де – Uд, I_д – падіння напруги на дузі та струм процесу відповідно; η – ефективний коефіцієнт корисної дії процесу нагрівання металу зварювальною дугою.

Для будь-якого дугового процесу ефективність теплового ефекту залежить від цих характеристик, але для кожного з них значною мірою відрізнятиметься від ефективності використання електричної енергії. У технічній літературі можна зустріти різні оцінки щодо різних процесів дугового зварювання. Розглянемо ці оцінки для процесів TIG та MIG при зварюванні алюмінію та його сплавів.

Попередньо слід уточнити, що для дугових процесів ефективна теплова потужність зварювальної дуги включає теплоту:

а) що безпосередньо виділяється в плямі дуги на виробі;

б) що вводиться у виріб при теплообміні зі стовпом дуги та плямою на виробі;

в) надходить з краплями розплавленого електродного металу та покриття, а також з розплавленим флюсом для MIG та SAW процесів.

Аналітична оцінка ефективності використання теплової енергії для порівняння MIG і TIG проводилася на підставі висновків робіт [2] та [3] відповідно:

Для TIG процесу з невеликим уточненням даних роботи [8]

$$\eta_{TIG} = 0,05(2,59 - 0,919 \lg I_д)(1,04 - 0,012 h_э), \quad (2)$$

де η_{TIG} визначено у відсотках; – $h_э$ - величина заглиблення вольфрамового електрода в насадку, мм.

Для MIG процесу [3]

$$\eta_{MIG} = \frac{1}{U_д}(U_a + U_k + \frac{\pi r_э^2}{I_д} v_э c\rho T_э + L_д \, grad U_д \frac{r_д^2}{2r_д^2 + L_д^2}), \quad (3)$$

де U_a, U_k – анодне та катодне падіння напруги відповідно; $r_э$ і $v_э$ – радіус та швидкість подачі електродного дроту відповідно; $c\rho$, і $T_э$ – об'ємна теплоємність і температура підігріву вильоту електродного дроту відповідно; $L_д$ довжина зварювальної дуги.

Вираз (2) отримано виходячи з досліджень із використанням математичних методів планування експериментальних робіт для TIG процесу із застосуванням спеціальних способів концентрації дуги з допомогою додаткових насадок, тобто. покращеної з використання енергетичних властивостей дуги.

Рівняння (3) складено з урахуванням роботи Г.І. Лєскова [2] та результатів, отриманих у роботі [3].

Для експериментального визначення кількості енергії для нагріву зразків при обох видах зварювання нами був застосований спосіб сухого калориметрування, як найбільш точний. Для підвищення точності результату виконувався ряд (система) наплавлень на зразок з обчисленням середнього значення.

Зварювання MIG проводилося для двох варіантів подачі електродного дроту: конвенційне та імпульсне з частотою 40 Гц і шпаруватістю імпульсів 0,5. Використовувався електродний дріт АМГ5 діаметром 1, мм. Наплавлення велося на пластини завтовшки 2, мм.

Результати аналітичних розрахунків та експериментальних досліджень із усередненими даними наведено для порівняння з даними деяких літературних джерел у таблиці 1.

Таблиця 1

ККД процесу	**Аналітичний розрахунок**	**Експериментальні дані**	**Дані літературних джерел**
η_{TIG}	42–44	–	30–48
η_{MIG} конвенційна подача	42–44	66–72	65–80
η_{MIG} імпульсна подача	76–78	70–80	–

Наукова новизна. В результаті проведених комплексних досліджень енергоефективності ряду розповсюджених способів зварювання з електродами що плавляться та не плавляться виявлено, що процес зварювання MIG має більший коефіцієнт корисної дії і може бути ще більш підвищений в разі застосування імпульсної подачі електродного дроту. Це підтверджено експериментальними дослідженнями.

Практична значимість. Впровадження процесів із застосування MIG способу зварювання з використанням імпульсної подачі електродного дроту частково вирішує проблему енерго та ресурсозберігання.

Висновки

З аналізу математичного опису з виявленням аналітичної залежності енергетичної ефективності, результатів експериментальних досліджень MIG процес з застосуванням імпульсної подачі електродного дроту з точки зору витрат електроенергії є найбільш ефективним серед розглянутих способів зварювання.

Література

[1] Жерносеков А.М., Андреев В.В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор). *Автоматическая сварка.* 2007. № 10.

[2] Лесков Г.И. Экспериментальное исследование некоторых факторов, определяющих устойчивость сварочной дуги под флюсом. *Автоматическая сварка.* 1956. № 3. С. 3–10.

[3]. Багрянский, К.В. Теория сварочных процессов [Текст] / К.В. Баг-рянский, З.А. Добротина, К.К. Хренов. – Киев: Вища школа, 1976. – 42 с.

ENERGY EFFICIENCY OF PULSED ELECTRODE WIRE FEEDING IN MIG WELDING

V.A. Lebedev, S. A. Loi
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University.

Abstract. The possibility of reducing electricity consumption in MIG welding using pulsed electrode wire feed is examined by enhancing the process's energy efficiency. Analytical relationships regarding the efficiency of several electric arc processes and experimental research results are analyzed for comparison. The findings indicate that, among known welding technologies, the process utilizing pulsed electrode wire feed is the most efficient.

Keywords: welding, efficiency, comparison, electrode wire, pulse.

УДК 621.791.9271

МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Лебедєв В.О.,
професор, Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
valpaton@ukr.net
Лой С.А.,
доцент, старший викладач,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, loys@ukr.net

Анотація. Розглянуто процес MIG для зварювання тонколистових сплавів алюмінію. Показано, що процес зварювання з застосуванням імпульсної подачі електродного дроту забезпечує якісне зварювання тонколистового алюмінію. Вказано, що такий процес забезпечує новий тип обладнання з реалізацією дозованої подачі електродного дроту. Наведені осцилограми процесу та зразки швів.

Ключові слова: електродугове зварювання, алюміній, обладнання, імпульс.

Мета роботи. Визначити ефективний спосіб зварювання конструкцій з тонколистового сплаву алюмінію в порівнянні з деякими іншими поширеними способами

Методологія та методика дослідження. Механізоване та автоматичне електродугове зварювання металоконструкцій із алюмінієвих сплавів, як MIG процес, досить поширене. Особливо для зварювання конструкцій великої товщини та об'єму [1]. Також широко використовується процес TIG з електродом який не плавиться. Зазвичай це вольфрамовий електрод. Процес TIG більш застосовується для зварювання конструкцій з сплавів алюмінію малих товщин. Процес MIG значно перевищує по продуктивності процес TIG.

Результати досліджень та їх обговорення. Для розширення можливостей зварювання, в тому числі тонколистових металоконструкцій з сплавів алюмінію, використовуються імпульсні методи ведення електродугового процесу MIG з керованим перенесенням електродного металу. Поширеними є способи генерування імпульсів, які впливають на зварювальний процес за допомогою джерел зварювального струму, в тому числі і сучасних джерел інверторного типу з можливістю організації синергетичного процесу зварювання, коли кожен імпульс руху електродного дроту спричиняє перенос в зварювальну ванну краплі електродного металу.

Зварювання сталевих металоконструкцій та конструкцій з алюмінієвих сплавів із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту менш відома, але в останній час отримує розповсюдження завдяки ряду факторів в залежності від конструкції імпульсного механізму подачі:

- загальна простота обладнання;
- керування перенесенням крапель електродного металу;
- високі експлуатаційні показники надійності;
- формування імпульсів різної форми;
- реалізація сінергетичного процесу зварювання;
- застосування електродних дротів різних типів включно з порошковими самозахисними дротами.

Застосування при механізованому або автоматичному зварюванні MIG нових типів механізмів подачі електродного дроту дозволяє суттєво розширити технічні та технологічні можливості цього процесу.

Аналіз результатів: В даний час є комплекс розробок, що ґрунтуються на застосуванні безредукторних електроприводів, на основі вентильних електродвигунів з комп'ютеризованим управлінням [2].

Така конструкція механізму подачі з раціонально обраною системою подачі (шланговий тримач, з направляючим каналом) дозволяє отримати кероване за всіма параметрами (частота, форма, амплітуда, шпаруватість, можливість реверсування) імпульсний рух електродного дроту з частотами 50…60 Гц без спотворення характеристик імпульсів. В систему керування такої розробки введено зворотні зв'язки по силових параметрах дугового процесу. Процес зварювання, який реалізується такою розробкою названо як процес з дозованою подачею електродного дроту. Він дозволяє керувати перенесенням електродного металу ефективним чином.

На рис. 1 представлені результати наплавлення валиків електродного металу на елементи конструкцій тонколистового сплаву алюмінію із застосуванням імпульсних алгоритмів подачі дроту. Наплавлення велося на струмах в діапазоні 25…40 А. і це можна отримувати при цьому способі ведення електродугового процесу. Слід відмітити якісне формування валиків без короблення та пропалів основного металу.

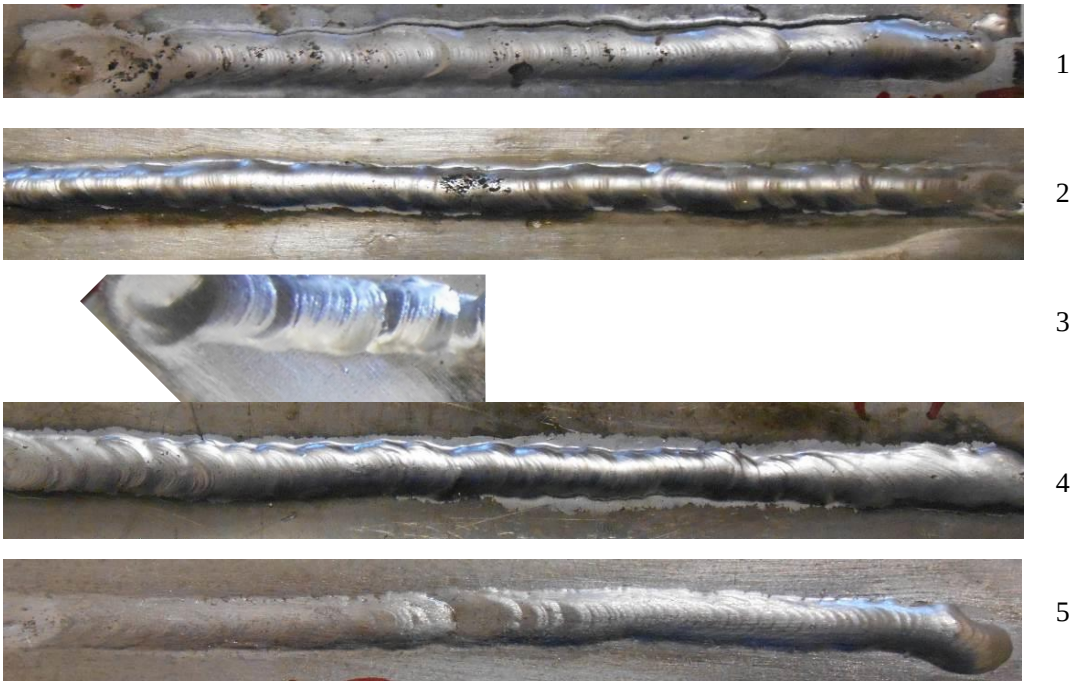


Рисунок 1 – Фрагменти валиків на тонколистових металоконструкціях, наплавлених напівавтоматом та автоматом:
1 – валик, отриманий при зварюванні з керованим імпульсним поданням електродного дроту;
2, 4, (стиковий шов) 5 (автоматичний режим) – валики, отримані при дозованій подачі електродного дроту; 3 – початок шва без застосування спеціального алгоритму, який забезпечує якісне початкове формування

На рис. 2 показаний приклад деяких осцилограм для процесу с дозованою подачею електродного дроту при встановленні різної глибини зворотного зв'язку по струму дугового процесу, що вливає на частоту та шпаруватість імпульсів перенесення електродного металу. Це в свою чергу змінює значення середнього струму дугового процесу.

Наукова новизна. Визначена можливість впливу керованої імпульсної подачі електродного дроту при MIG процесі на можливість забезпечувати більш широкий діапазон товщини металу який зварюється. Це особливо стосується конструкцій із сплавів алюмінію

Практична значимість. Забезпечення якісного формування швів тонколистових конструкцій способом MIG з імпульсною подачею електродного дроту (в основному каркаси та обшивки) без додаткових втрат на виправлення на обробку елементів конструкції після зварювання.

Висновки

1.Зварювання із застосуванням нового процесу – дозована подача електродного дроту забезпечує зварювання товщин конструкцій в 1,5…2,0 рази меншу, ніж при використанні конвенційної подачі. При цьому у шві не має пропалів й присутні мінімальні короблення конструкції.

2. Дозована подача електродного дроту здійснюється новим обладнанням з можливістю вибору рівня зворотного зв'язку по параметрах дугового процесу, який вводиться в систему регулювання приводу подачі електродного дроту.

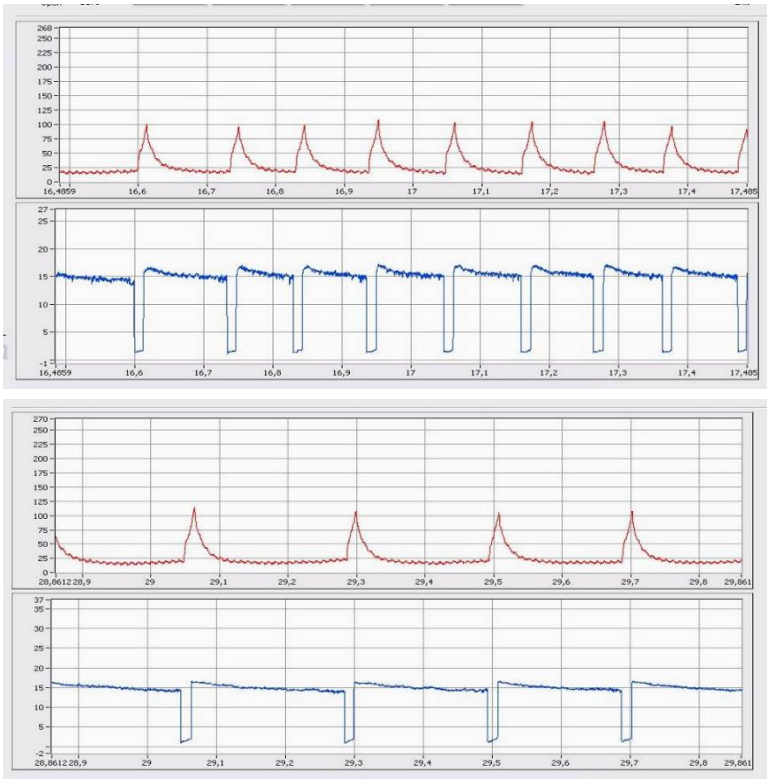


Рисунок 2 – Осцилограми процесу зварювання конструкцій із тонколистового алюмінію з різницею струму включення зворотного зв'язку: 1–10 А; 2–20 А

Література

[1] Изготовление сварных крупногабаритных панелей из высокопрочных алюминиевых сплавов / Б.Е. Патон, В.Ф. Уткин, Л.М. Лобанов и др. //Автоматическая сварка 1989. № 10. С. 37–45.

[2] Lebedev V., Zhuk G. New system of electrode wire control, supply for mechanized electric welding and surfacing // Проблеми зварювання та споріднених технологій. Матеріали Всеукраїнської конференції. 17–19 вересня 2019. С. 34–35.

MECHANIZED WELDING OF THIN SHEET ALUMINUM STRUCTURESV

V.A. Lebedev, S.A. Loi

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University.

Abstract. Attention is focused on the MIG welding process for thin-sheet aluminum alloys. It is demonstrated that a welding process utilizing pulsed electrode wire feeding ensures high-quality welds in thin-sheet aluminum. The study notes that this process is enabled by a new type of equipment capable of delivering a metered feed of the electrode wire. Process oscillograms and weld samples are presented.

Keywords: electric arc welding, aluminum, equipment, pulse.

УДК 621.793.6

ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ ТА РОЗМІРУ КРИСТАЛІТІВ У ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ

Макаров Д.О.,
аспірант кафедри матеріалознавства і технології металів
d.makarovw@gmail.com
Бобров М.М.,
кандидат технічних наук, доцент
в.о. завідуючого кафедрою будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
maksym.bobrov@nuos.edu.ua
Савенков О.І.,
начальник науково-дослідної частини
oleg.savenkov@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. За допомогою рентгеноструктурного аналізу та методу Вільямсона-Холла визначено рівень мікронапружень і розмір кристалітів у електродугових покриттях зі сталі Св-08. Встановлено, що покриття мають нанорозмірну структуру з розміром областей когерентного розсіювання 81,0 ± 12,8 нм. Величина мікродеформації кристалічної ґратки становить 0,004218. Доведено ефективність роздільного розрахунку структурних параметрів гетерогенних шарів за методом Вільямсона-Холла на відміну від рівняння Шеррера

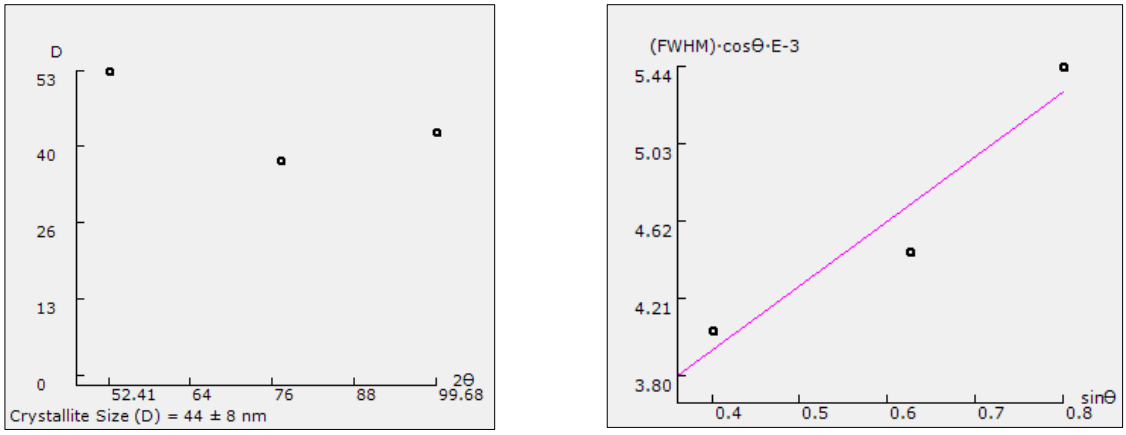
Ключові слова: електродугове напилення, рентгеноструктурний аналіз, метод Вільямсона-Холла, мікронапруження, кристаліти.

Вступна частина. Газотермічні покриття, отримані методом електродугового напилення, формуються в умовах надшвидкого охолодження розплавлених крапель металу, що зумовлює виникнення значних залишкових мікронапружень та подрібнення зеренної структури в деяких випадках до нанокристалічного стану. Ці структурні параметри – розмір областей когерентного розсіювання (ОКР), що ототожнюють з розміром субзерен, та рівень мікронапружень кристалічної ґратки – безпосередньо визначають експлуатаційні характеристики покриття: твердість, зносостійкість, тріщиностійкість та схильність до відшарування від підкладки. Надмірний рівень внутрішніх напружень є однією з основних причин передчасного руйнування та відшарування напилених покриттів під час експлуатації, тому їх кількісна оцінка є необхідною умовою прогнозування довговічності та оптимізації технологічних режимів напилення. Визначення розміру ОКР методами Шеррера та Вільямсона-Холла дозволяє встановити взаємозв'язок між параметрами напилення (струм дуги, дистанція напилення, тиск розпилювального газу) та сформованою мікроструктурою покриття, що є основою для науково обґрунтованого підбору оптимальних режимів нанесення та деформаційно-термічної обробки покриттів із заданими експлуатаційними властивостями.

Мета роботи – визначення рівня мікронапружень та розміру субзерен (ОКР) електродугових покриттів за допомогою рентгеноструктурного аналізу.

Основна частина. Об'єктом досліджень обрано електродугові покриття зі сталевого дроту марки Св-08. Для формування зазначених покриттів застосовували комплект електродугового напилення КДМ-2, що оснащений модернізованим розпилювачем ЕМ-14М. Оптимальний режим нанесення зазначених покриттів встановлено у роботах [1, с. 115]: сила струму – 120 А, напруга на дузі – 30В, дистанція напилення – 8 мм, тиск стисненого повітря – 0,4…0,6 МПа. Експериментальні дослідження виконувались на модульному дифрактометрі PROTO AXRD (*Proto Manufacturing*, Канада). Для порівняльного аналізу використовували два методи визначення ОКР: метод Шеррера та Вільямсона-Холла. Останній дозволяє уникнути штучного заниження розміру ОКР. Фізичне розширення дифракційних піків у напилених гетерогенних структурах є суперпозицією двох факторів: розмірного ефекту та мікродеформацій кристалічної ґратки. Побудова лінійної залежності за методом Вільямсона-Холла дає змогу математично розділити ці внески. Це забезпечує можливість одночасного розрахунку істинного розміру областей когерентного розсіювання (ОКР) та оцінки рівня внутрішніх мікронапружень за нахилом апроксимуючої прямої [2, с. 27]. У якості стандартного зразку для віднімання інструментального уширення застосовували зразок відпаленого технічного заліза. Зйомку еталону та зразку з електродуговим покриттям проводили на наступному режимі: кут 2θ: 45…105°, крок 0,02°, експозиція 1с. Розрахунок внутрішніх напружень та

розміру кристалітів у електродугових покриттях проводили у програмному забезпеченні *PDAnalysis*. Результати наведено на рис. 1.



а *б*

Рисунок 1 – Результати розрахунків: а – метод Шеррера; б – метод Вільямсона-Холла

Аналіз приведених результатів показує, що середній розмір ОКР, розрахований за методом Шеррера по трьом дифракційним максимумам складає близько 44±8нм. Щодо методу Вільямсона-Холла, то результати апроксимації експериментальних точок у координатах $\beta \cdot \cos\theta - \sin\theta$ (де β – фізичне уширення дифракційного піка після врахування інструментального внеску еталона) представлено рівнянням прямої $y = 0{,}0042 \cdot x + 0{,}0021$ з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0{,}9073$, що свідчить про задовільну лінійну кореляцію між отриманими значеннями. За результатами розрахунку розмір ОКР становив $D = 81{,}0 \pm 12{,}8$ нм. Величина мікродеформації кристалічної ґратки склала $\varepsilon = 0{,}004218 \pm 0{,}000848$. Виявлена мікродеформація кристалічної ґратки свідчить про наявність локальних структурних спотворень у матеріалі електродугового покриття. Кількісне перетворення мікродеформації в напруження потребує врахування ефективних пружних констант покриття, його структурної неоднорідності та характеру напруженого стану. Тому отримане значення мікродеформації розглядається як структурний параметр, що характеризує стан кристалічної ґратки, а не як безпосередньо виміряне макроскопічне залишкове напруження.

Порівняльний аналіз методів Шеррера та Вільямсона–Холла показав відмінність в оцінених розмірах ОКР. Виявлена розбіжність може бути зумовлена врахуванням методом Вільямсона–Холла деформаційного внеску в загальне уширення дифракційних піків. Отримані результати підтверджують доцільність застосування методу Вільямсона–Холла для комплексного аналізу структурного стану електродугових покриттів, за умови коректного врахування інструментального уширення та відповідності використаної математичної моделі.

Література

[1] Карпеченко А.А., Бобров М.М., Лимар О.О. Електродугове напилення композиційних металополімерних покриттів *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 2. С. 114–119. doi:10.31649/1997-9266-2021-155-2-114-119.

[2] Kaya M. An approach on determining micro-strain and crystallite size values of thermal spray barrier coated Inconel 601 super alloy / M. Kaya, R. Yilmaz // *The International Journal of Materials and Engineering Technology*. – 2023. – Vol. 6, No. 1. – P. 25–34. https://izlik.org/JA33AY65DX

DETERMINATION OF INTERNAL STRESSES AND CRYSTALLITE SIZE IN ELECTRIC-ARC COATINGS USING X-RAY STRUCTURAL ANALYSIS

Bobrov Maksym Mykolaiovych, Savenkov Oleh Ihorovych, Makarov Danil Oleksiiovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The microstress levels and crystallite sizes in Sv-08 steel electric-arc coatings were determined using X-ray diffraction and the Williamson-Hall method. The coatings exhibit a nanoscale structure with a coherent scattering domain size of 81.0 ± 12.8 nm. The lattice microstrain equals 0.004218. The study confirms the efficiency of the Williamson-Hall plot for separating structural parameters in heterogeneous layers compared to the Scherrer equation.

Keywords: electric-arc spraying, X-ray structural analysis, Williamson-Hall method, microstresses, crystallites

UDC 621.791

STUDY OF THE INFLUENCE OF INTERLAYER THICKNESS ON THE STRESS-STRAIN STATE OF WELDED AND BRAZED JOINTS OF HEAT-RESISTANT ALLOYS UNDER AXIAL LOADING

Matviienko M.V.,
PhD, Associate Professor, Head of the Welding Department,
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Kherson, Ukraine, maksym.matvienko@nuos.edu.ua

Abstract. The stress-strain state within the elastic range under axial loading of cylindrical specimens with soft and hard interlayers was studied by computer simulation. A soft interlayer has a lower elastic modulus than the base metal, a hard one a higher modulus. It was found that changing the thickness of both interlayer types in the range 0.050 to 0.20 mm does not affect the character or magnitude of the stresses in the zone of three-dimensional stress state, and changes only the extent of that zone, which reaches about five interlayer thicknesses. Over most of the joint length the arising stress state has almost no effect on the strength of the base metal and causes only local softening (soft interlayer) or hardening (hard interlayer) near the outer surface. This must be taken into account when selecting the interlayer or filler metal to improve joint formation during diffusion welding and brazing.

Keywords. welded and brazed joints, soft and hard interlayer, computer simulation, stress-strain state, force loading, interlayer thickness.

Heat-resistant nickel alloys are the main structural material in both aircraft and marine gas-turbine engineering. Raising turbine efficiency requires a higher gas working temperature, and therefore higher heat resistance and oxidation resistance of nozzle and rotor blade materials. This is achieved through solid-solution and precipitation hardening by the γ' phase $Ni_3(Al, Ti)$. As the amount of γ' phase grows, the weldability of the alloys deteriorates, and cast alloys cannot be fusion-welded without defects because of a sharp drop in ductility and cracking at subsolidus temperatures, on reheating, or during heat treatment. Such alloys lose their structure and properties on melting [1].

For joining such materials the most promising methods are pressure welding (diffusion welding, friction welding) and brazing. Brazing is the more universal method [2], which is why several new processes have been developed, in particular pressure brazing with a composite filler, known in the literature as TLP bonding [1]. Since the filler has a lower melting point and a different composition than the base metal, in the joint it acts as an interlayer that, depending on its composition and thickness, can affect joint performance differently. In diffusion welding interlayers are also often used to activate the surfaces being joined, but their influence has not been sufficiently studied. The first finite-element studies of the stress-strain state in diffusion welding were carried out under the guidance of V.I. Makhnenko [3], and the approach was later extended to assemblies with interlayers under force and thermal loading [4, 5, 6]. This makes the present work relevant.

The purpose of the work is to study the influence of soft and hard interlayers 0.050 to 0.20 mm thick on the formation of the stress-strain state and on joint formation during diffusion welding and brazing of heat-resistant nickel alloys.

The study was carried out by the finite element method using the ANSYS software. The stress-strain state was analysed under axial compression of cylindrical assemblies made of a heat-resistant nickel alloy joined through an intermediate interlayer. All properties of the joined materials were assumed identical, and the interlayer differed from the base metal only in elastic modulus. Owing to symmetry about the mid-thickness of the interlayer, the model was built for the upper half of the specimen. The model dimensions are: cylinder diameter d = 2 mm, height h = 2 mm, half interlayer thickness $s/2$. Six variants were computed: soft interlayers (variants 1 to 3) and hard interlayers (variants 4 to 6). The base metal modulus was $E_{bm} = 2 \cdot 10^5$ MPa, the Poisson ratio of both base metal and interlayer 0.3. The soft interlayer modulus was $1.5 \cdot 10^5$ MPa, the hard one $2.5 \cdot 10^5$ MPa. The interlayer thickness was s = 0.050, 0.125 and 0.20 mm, which corresponds to a relative thickness s/d of 0.0025 to 0.010. The assembly was loaded with an axial compressive stress of 10 MPa.

Over most of the assembly the base metal retains a linear stress state, in which only axial stresses equal to the external pressure exist and all other components are zero. A three-dimensional stress state appears only in small regions near the interlayer and the outer edge of the assembly. Comparison of all stress components and equivalent stresses in this zone shows that interlayer thickness affects neither the character of the stress state nor the magnitude of the stresses. Changing the thickness proportionally changes only the size of the three-dimensional zone, whose extent from the outer surface into the base metal is about five interlayer thicknesses for all thicknesses studied.

Radial stresses in the base metal are close to zero over most of the joint and reach about 0.5 to 0.6 MPa at the joint edge, that is 5 to 6 % of the applied axial stress, tensile in assemblies with a soft interlayer and compressive

with a hard one. In the interlayer the radial stresses are opposite in sign, about ±1.1 MPa over most of the joint (about 11 % of the applied load), and decrease to ±0.5 MPa near the edge. Circumferential stresses are distributed similarly to radial ones but are somewhat lower. Axial stresses stay at the level of the applied pressure, −10 MPa, over most of the joint and change by about 5 % at the edge, to −9.5 MPa with a soft interlayer and −10.6 MPa with a hard one. Tangential stresses are absent over about 95 % of the joint length and rise to 0.4 to 0.45 MPa only at the very edge, that is about 4 to 5 % of the applied axial stress.

Equivalent stresses over the middle part of the joint are constant and, in the base metal, close to the applied load of 10 MPa in all variants. In the interlayer they are about 8.95 MPa with a soft interlayer, which is 10 % lower than in the base metal, and about 11.05 MPa with a hard interlayer, 10 % higher. Near the edge, at a distance of about ten interlayer thicknesses, the equivalent stresses change by 2 to 3 %.

To assess the effect of the three-dimensional stress state on the strength of the material, the stress-state rigidity coefficient is used, equal to the ratio of the maximum principal stress (σ_1 in tension, σ_3 in compression) to the equivalent stress, $k_s = \sigma_{1\,(3)}/\sigma_{eq}$ [4]. In a linear stress state $k_s = 1$. When $k_s < 1$ the yield strength decreases and ductility increases, that is the metal softens. When $k_s > 1$ the yield strength increases and ductility decreases, that is the metal hardens. In the base metal over most of the joint length (up to 80 %) this coefficient is close to 1, decreasing to 0.95 with a soft interlayer and increasing to 1.04 with a hard one only near the edge. In the interlayer the picture is different: with a soft interlayer the metal hardens over the whole joint length, k_s rising to 1.12, while with a hard interlayer it softens, k_s staying near 0.905.

Thus, from the standpoint of joint formation the optimal interlayer is one made of a material whose stiffness (elastic modulus) is higher and whose strength (yield point) is lower than those of the base metal. To raise the serviceability of the assembly and bring the properties of the interlayer (filler) closer to those of the base metal, an interlayer with lower stiffness and higher strength than the base metal should be used.

Conclusions.

1. The thickness of both soft and hard interlayers has almost no effect on the character of the stress-strain state or the magnitude of the stresses in the three-dimensional zone at the joint edge, and changes only the size of that zone. Its extent from the outer surface is about five interlayer thicknesses. Beyond this zone the stress state remains practically linear.
2. The maximum radial and circumferential stresses in the base metal are about 5 to 6 % of the applied load, and about 11 % over most of the interlayer. Tangential stresses are absent over about 95 % of the joint and appear only at the edge, about 4 % of the applied load. Equivalent stresses are close to 10 MPa in the base metal and differ by more than 10 % in the interlayer for the soft and hard variants.
3. For all interlayer thicknesses the distribution and magnitude of the rigidity coefficient are practically the same. In the base metal it is close to 1, changing to 0.95 or 1.04 only at the edge. In the interlayer the metal of a soft interlayer hardens (k_s up to 1.12) and that of a hard interlayer softens (k_s down to 0.905).
4. Increasing the stiffness of the interlayer material relative to the base metal promotes the appearance and development of plastic deformation in it through higher equivalent stresses and its softening. Decreasing the stiffness reduces the equivalent stresses in it and raises its yield point, which improves the properties of the interlayer (filler) and brings them closer to those of the base metal. This must be taken into account when selecting the interlayer type to improve joint formation during diffusion welding and brazing and to raise the serviceability of the assembly.

References

[1] Kvasnytskyi V., Korzhyk V., Kvasnytskyi V., Matviienko M., Buturlia Y., Lahodzinskyi I. Designing brazing filler metal for heat-resistant nickel alloys of new generation marine gas turbines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023, Vol. 5, No. 12 (125), P. 31–46. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288340

[2] Yermolaiev H.V., Kvasnytskyi V.V., Kvasnytskyi V.F. et al. Brazing of materials: textbook / ed. by V.F. Khorunov, V.F. Kvasnytskyi. Mykolaiv, NUS, 2015, 240 p.

[3] Makhnenko V.I., Kvasnitsky V.V., Ermolaev G.V. Stress-strain state of diffusion bonds between metals with different physical-mechanical properties. *The Paton Welding Journal*, 2008, No. 8, P. 2–6.

[4] Kvasnytskyi V.V., Kvasnytskyi V.F., Dong Chunlin, Matvienko M.V., Yermolayev G.V. Stressed state of welded and brazed assemblies from similar materials with a soft interlayer under axial loading. *The Paton Welding Journal*, 2018, No. 4, P. 6–10.

[5] Ermolaev G.V., Martynenko V.A., Olekseenko S.V., Labartkava A.V., Matvienko M.V. Effect of the rigid interlayer thickness on the stress-strain state of metal-graphite assemblies under thermal loading. *Strength of Materials*, 2017, Vol. 49, No. 3, P. 422–428. https://doi.org/10.1007/s11223-017-9882-4

[6] Kvasnytskyi V.V., Matviienko M.V., Buturlia Y.A. Influence of the interlayer solder properties on the stress-strain state of brazed assemblies of heat-resistant alloys. *Collection of Scientific Publications of NUS*, 2020, No. 4, P. 119–128.

UDC 621.791.011

STUDY OF THE INFLUENCE OF INTERLAYER THICKNESS AND RIGIDITY ON THE STRESS-STRAIN STATE OF WELDED AND BRAZED JOINTS OF HEAT-RESISTANT ALLOYS UNDER THERMAL LOADING

Matviienko M.V.,
PhD, Associate Professor, Head of the Welding Department,
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Kherson, Ukraine, maksym.matvienko@nuos.edu.ua

Abstract. The stress-strain state within the elastic range under thermal loading was studied by the finite element method in assemblies of heat-resistant nickel alloys joined by diffusion welding with interlayers or by brazing. Three interlayer types were considered, soft, neutral and hard, 0.01 to 0.0 mm thick, on cooling from 1270 to 1100 °C. It was found that interlayer thickness does not affect the character or level of the stresses in the zone of three-dimensional stress state, and changes only the extent of that zone, about five interlayer thicknesses. The stress level grows with the interlayer rigidity and with the difference between the coefficients of linear thermal expansion of the interlayer and the base metal. The stress-state rigidity coefficient along the joint is practically independent of the rigidity and thickness of the interlayer, which must be taken into account when selecting the interlayer or filler metal.

Keywords. model, stresses, soft, neutral and hard interlayer, stress-state rigidity coefficient, thermal loading.

To raise the efficiency of gas turbines the gas working temperature must be increased, and therefore the heat resistance and oxidation resistance of nozzle and rotor blade materials. For this purpose, precipitation-hardening heat-resistant nickel alloys with the γ' phase $Ni_3(Al, Ti)$ are used, which cannot be fusion-welded without defects because of a sharp drop in ductility and cracking at subsolidus temperatures, on reheating, or during heat treatment. Such alloys lose their structure and properties on melting [1]. For joining these materials the most promising methods are pressure welding (diffusion welding, friction welding) and brazing. Since the filler has a lower melting point and a different composition and properties than the base metal, in the joint it acts as an interlayer that, depending on its composition and thickness, affects joint performance differently [2]. In diffusion welding interlayers are also used to activate the surfaces being joined, but their influence has not been sufficiently studied, which makes the work relevant.

The first finite-element studies of the stress-strain state in diffusion welding of dissimilar materials were carried out under the guidance of V.I. Makhnenko [3]. The approach was later extended to assemblies with interlayers under force and thermal loading [4–6]. Modelling of the stress-strain state during brazing and diffusion welding of heat-resistant alloys with account of the influence of TLP-joint interlayer thickness under thermal loading is performed for the first time.

The purpose of the work is to study the influence of interlayers of different rigidity, 0.01 to 0.0 mm thick, on the formation of stresses in the joint zone on cooling, which may superimpose on the stresses from external loading and significantly affect joint serviceability.

The study was carried out by the finite element method using the ANSYS software for models made of a heat-resistant nickel alloy. For the base metal, an average elastic modulus $E_{bm} = 0.5 \cdot 10^5$ MPa was taken over the range 20 to 1100 °C, approaching zero at the alloy melting onset temperature. The soft interlayer had an elastic modulus of $0.25 \cdot 10^5$ MPa, half that of the base metal, the neutral one equal to the base metal, and the hard one $1 \cdot 10^5$ MPa, twice that of the base metal. The Poisson ratio of both base metal and interlayer was 0.41. The coefficient of linear thermal expansion (CLTE) was taken as $20.8 \cdot 10^{-6}$ 1/deg for the base metal and $15 \cdot 10^{-6}$ 1/deg for the interlayer. The assembly was loaded by lowering the temperature from 1270 to 1100 °C, taking into account that the maximum permissible heating temperature of the alloy is 1270 °C. Four thickness variants were considered: 0.01, 0.03, 0.05 and 0.0 mm (variants 1 to 4) with a relative thickness *s/d* of 0.0005, 0.0015, 0.0025 and 0.004, and three interlayer rigidity variants.

Analysis of the fields of all stress components and equivalent stresses showed that in all thickness and rigidity variants the stresses are absent over most of the assembly, and a complex three-dimensional stress state arises only in a small zone near the interlayer at the joint edge and in the interlayer itself. Interlayer thickness affects neither the character of the stress state nor the magnitude of the stresses, only the size of this zone changes proportionally to the thickness. Its extent from the outer surface into the base metal is about five interlayer thicknesses, while the interlayer material is in a three-dimensional stress state over its whole length. Over more than 90 % of the assembly width the stress level is constant.

Radial stresses in the base metal are tensile, grow with radius and interlayer thickness, and at the edge reach 32, 43 and 60 MPa for the soft, neutral and hard interlayer in all thickness variants. In the interlayer the radial stresses

are close in magnitude but opposite in sign, decreasing almost to zero in the base metal and increasing more than twofold in the interlayer away from the edge. Axial stresses are close to zero over most of the joint and rise at the edge to 18, 42 and 109 MPa for the soft, neutral and hard interlayer. Circumferential stresses in the base metal at the edge are tensile, 16, 27 and 48 MPa, and in the interlayer compressive, at the level of −43, −85 and −170 MPa. Tangential stresses are absent over about 95 % of the joint and reach 20, 32 and 51 MPa at the edge. All components have their minimum level with the soft interlayer and maximum with the hard one.

Equivalent stresses over most of the joint are close to zero in the base metal, and in the interlayer amount to about 43, 85 and 170 MPa for the soft, neutral and hard interlayer, growing linearly with interlayer rigidity ($\sigma_{eq} = 170 \cdot 10^{-5} \cdot E_{int}$). Near the edge, at a distance of about fifty interlayer thicknesses, the equivalent stresses in the base metal rise to 38, 57 and 92 MPa, while in the interlayer they fall to a minimum of 39, 72 and 132 MPa at about five thicknesses from the surface and rise again at the edge to 54, 103 and 200 MPa.

To assess the effect of the three-dimensional stress state on strength and ductility, the stress-state rigidity coefficient is used, equal to the ratio of the maximum principal stress (σ_1 in tension, σ_3 in compression) to the equivalent stress, $k_s = \sigma_{1\,(3)}/\sigma_{eq}$ [4]. In the base metal over most of the joint the coefficient is below 1, rising from 0.68 at the assembly axis to 1 at about mm from the edge, and reaching 1.35 to 1.38 at the very edge. In the interlayer the coefficient is close to 1 over most of the joint, rises to 1.04 to 1.08 near the edge and drops sharply to 0.55 to 0.6 at the side surface of the assembly. The distribution of the rigidity coefficient is practically independent of the rigidity and thickness of the interlayer.

Conclusions.

1. Under thermal loading, in assemblies with an interlayer 10 to 80 μm thick whose elastic modulus and CLTE differ from those of the base metal, a three-dimensional stress state arises near and inside the interlayer. Proportionally to the interlayer thickness, only the size of the three-dimensional stress zone in the base metal changes, its extent from the joint edge being about five thicknesses. The stress level depends on the ratio of the elastic moduli of the base metal and the interlayer, the difference in their CLTE and the magnitude of the temperature change. As the interlayer rigidity decreases the stress level and the zone size decrease, and as it increases they grow. The maximum stress level is independent of the interlayer thickness.

2. The equivalent stresses that govern the appearance of plastic deformation on cooling from 1270 to 1100 °C are close to zero in the base metal over most of the joint. In the interlayer they amount to 43, 85 and 170 MPa for the soft, neutral and hard interlayer and grow linearly with rigidity ($\sigma_{eq} = 170 \cdot 10^{-5} \cdot E_{int}$), which indicates the likelihood of plastic deformation in the interlayer. The stress level grows in proportion to the CLTE difference between the interlayer and the base metal and to the interlayer elastic modulus.

3. The character of the change of the rigidity coefficient along the joint, both in the base metal and in the interlayer, is practically independent of the interlayer rigidity. In the base metal the coefficient rises from 0.68 at the axis to 1.35 to 1.38 at the edge, that is the stress state reduces the strength and raises the ductility of the base metal over most of the joint and hardens it only near the outer surface. In the interlayer over most of the joint (up to 90 %) the coefficient is close to 1 and drops sharply to 0.55 to 0.6 at the side surface. Thus, under thermal loading the thickness and rigidity of the interlayer do not affect the rigidity coefficient, and consequently the strength and ductility of the base metal and the interlayer.

References

[1] Kvasnytskyi V., Korzhyk V., Kvasnytskyi V., Matviienko M., Buturlia Y., Lahodzinskyi I. Designing brazing filler metal for heat-resistant nickel alloys of new generation marine gas turbines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*s, 2023, Vol. 5, No. 12 (125), P. 31–46. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288340

[2] Yermolaiev H.V., Kvasnytskyi V.V., Kvasnytskyi V.F. et al. Brazing of materials: textbook / ed. by V.F. Khorunov, V.F. Kvasnytskyi. Mykolaiv, NUS, 2015, 240 p.

[3] Makhnenko V.I., Kvasnitsky V.V., Ermolaev G.V. Stress-strain state of diffusion bonds between metals with different physical-mechanical properties. *The Paton Welding Journal*, 2008, No. 8, P. 2–6.

[4] Kvasnytskyi V.V., Kvasnytskyi V.F., Dong Chunlin, Matvienko M.V., Yermolayev G.V. Stressed state of welded and brazed assemblies from similar materials with a soft interlayer under axial loading. *The Paton Welding Journal*, 2018, No. 4, P. 6–10.

[5] Ermolaev G.V., Martynenko V.A., Olekseenko S.V., Labartkava A.V., Matvienko M.V. Effect of the rigid interlayer thickness on the stress-strain state of metal-graphite assemblies under thermal loading. *Strength of Materials*, 2017, Vol. 49, No. 3, P. 422–428. https://doi.org/10.1007/s11223-017-9882-4

[6] Kvasnytskyi V.V., Matviienko M.V., Buturlia Y.A. Influence of the interlayer solder properties on the stress-strain state of brazed assemblies of heat-resistant alloys. *Collection of Scientific Publications of NUS*, 2020, No. 4, P. 119–128.

УДК 629.5.023:678.664

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІБРИДНИХ СИНТАКТНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ КОРПУСІВ МАЛИХ СУДЕН

Нужин А.Г.,
Аспірант кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
drewlya@gmail.com

Анотація. Роботу присвячено розробці гібридних синтактних композитів з еластичною поліуретановою матрицею для малотоннажного суднобудування та оцінці їхніх експлуатаційних характеристик. Розглянуто дві групи легких заповнювачів багатошарових сендвіч-конструкцій: серію С з органічним наповнювачем (спінений полістирол) та серію П з мінеральним наповнювачем (спучений перліт). Експериментально визначено їхню стійкість до циклічного кріогенного впливу, вогнестійкість, хімічну стабільність та адгезійну сумісність із захисними покриттями. Отримані результати підтверджують високу технологічність розроблених систем та формують наукове підґрунтя для їх впровадження у виробництво непотоплюваних корпусів суден.

Ключові слова: синтактні пінопласти, спучений перліт, спінений полістирол, поліуретанова матриця, плавучість, кліматична стійкість.

Вступ. Радикальна мінімізація маси корпусу є ключовим стратегічним завданням сучасного малого суднобудування, що безпосередньо впливає на швидкісні характеристики та корисне навантаження катерів чи морських дронів. Використання тришарових сендвіч-конструкцій із легким внутрішнім ядром (core material) дозволяє забезпечити необхідну жорсткість конструкції та гарантований запас непотоплюваності. Проте традиційні заповнювачі на основі ПВХ або жорстких епоксидних систем схильні до крихкого руйнування та розшарування під дією ударних навантажень або внутрішніх напружень, викликаних циклічними фазовими переходами вологи. Перспективним вирішенням є застосування гібридних синтактних матеріалів на основі еластичних поліуретанових матриць, здатних демпфувати локальні напруження.

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка складів та комплексне дослідження фізико-механічних і експлуатаційних властивостей гібридних синтактних пінопластів на основі еластичної поліуретанової матриці з мінеральним (склад П30) та органічним (склади С10, С20) наповнювачами, для того щоб встановити закономірності впливу агресивних чинників морського середовища на структурну цілісність та функціональну надійність матеріалу ядра для сендвіч-конструкцій малих суден.

Основна частина. Для виготовлення дослідних зразків використовували еластичну двокомпонентну ПУ-систему Everad RPM VP 2664/12. Склад П3 містив 70 % спученого агроперліту за об’ємом (вагове співвідношення 30 г наповнювача на 70 г зв’язуючого). Склади С10 та С2 містили гранули спіненого полістиролу (ваговий вміст наповнювача 10 г та 20 г відповідно). Формування здійснювали методом вологоініційованого реакційного пресування при температурах 18–22°С. Попереднє змочування внутрішніх поверхонь форм водою забезпечило утворення на поверхні зразків інтегрованої щільної водонепроникної «технологічної кірки». Встановлено, що склад С20 демонструє оптимальний баланс із середньою щільністю 148,5 кг/м³. Випробування на циклічне заморожування та відтавання (+60°С…−18°С) продемонстрували високу кріогенну стійкість систем: за рахунок еластичності матриці композити демпфують внутрішній тиск льоду без утворення мікротріщин, виявляючи ефект кріогенного самоосушення. Вогневі випробування підтвердили термічну інертність складу П30 та здатність складу С20 до самозатухання. Крім того, розроблені заповнювачі показали повну хімічну стійкість до морської води, бензину й дизельного пального, а також високу адгезійну сумісність із конструкційними епоксидними шарами на основі смоли ЕД-20 (на рівні 1,2–1,4 МПа).

Висновки. Розроблено нові склади легких гібридних синтактних композитів на основі високоеластичного поліуретанового зв’язуючого та різнорідних пористих наповнювачів. Доведено, що формування інтегрованої поверхневої кірки та еластичність інтерфейсу «матриця–наповнювач» надійно захищають заповнювач від гідротермічної деградації. Створені матеріали поєднують низьку питому вагу із кліматичною живучістю й технологічністю, що дозволяє рекомендувати їх як ефективну альтернативу традиційним заповнювачам для тришарових конструкцій малотоннажного суднобудування.

Література

[1] Afolabi, L. O., Ariff, Z. M., Hashim, S. F. S., … & Muhammad, I. D. (2020). Syntactic foams formulations, production techniques, and industry applications: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (5), 10698–10718.

[2] Afzal, M. A. F., Browning, A. R., Goldberg, A., Halls, M. D., Gavartin, J. L., Morisato, T., … & Goose, J. E. (2021). High-throughput molecular dynamics simulations and validation of thermophysical properties of polymers for various applications. *ACS Applied Polymer Materials*, 3, 620–630.

[3] Ali, M. H., Rubel, R. I., Yusuf, S. S., & Siddique, M. A. (2019). A review on syntactic foams processing, preparation and applications. *Proceedings of the ICMERE 2019*.

[4] Blumm, J., & Lindemann, A. (2003/2007). Characterization of the thermophysical properties of molten polymers and liquids using the flash technique. *High Temperatures – High Pressures*, 35/36, 627–632.

[5] Carolan, D., Mayall, A., Dear, J. P., & Fergusson, A. D. (2020). Micromechanical modelling of syntactic foam. *Composites Part B*, 183, 107701.

[6] Cosse, R. L., Araújo, F. H., Pinto, F. A., Carvalho, L. H., Morais, A. C., Barbosa, R., & Alves, T. S. (2019). Effects of the type of processing on thermal, morphological and acoustic properties of syntactic foams. *Composites Part B*, 106933.

[7] Gupta, N., Karthikeyan, C. S., Sankaran, S., & Kishore. (1999). Correlation of processing methodology to the physical and mechanical properties of syntactic foams with and without fibers. Elsevier Science Inc.

[8] Hohe, J., Beckmann, C., Böhme, W., Weise, J., Reinfried, M., Luthardt, F., … & Diemert, J. (2019). An experimental and numerical survey into the potential of hybrid foams. *Mechanics of Materials*, 136, 103063.

[9] Hu, G., & Yu, D. (2011). Tensile, thermal and dynamic mechanical properties of hollow polymer particle-filled epoxy syntactic foam. *Materials Science and Engineering: A*, 528 (15), 5177–5183.

[10] Kidalov, S., Voznyakovskii, A., Vozniakovskii, A., … & Auchynnikau, Y. (2023). The Effect of Few-Layer Graphene on the Complex of Hardness, Strength, and Thermo Physical Properties of Polymer Composite Materials. *Materials*, 16, 1157.

[11] Lee, S. J., Yoon, S. J., & Jeon, I. Y. (2022). Graphene/Polymer Nanocomposites: Preparation, Mechanical Properties, and Application. *Polymers*, 14, 4733.

[12] Liu, G. (2019). Novel test method for the hydrostatic properties of syntactic foams. *Results in Materials*, 1, 100010.

[13] Movahedi, N., Murch, G. E., Belova, I. V., & Fiedler, T. (2019). Functionally graded metal syntactic foam: Fabrication and mechanical properties. *Materials and Design*, 168, 107652.

[14] Orbulov, I. N., & Szlancsik, A. (2021). On the Mechanical Properties of Aluminum Matrix Syntactic Foams. *Advanced Engineering Materials*.

[15] Png, Z. M., Wang, C.-G., Yeo, J. C. C., … & Zhu, Q. (2023). Stimuli-responsive structure–property switchable polymer materials. *Molecular Systems Design & Engineering*, 8, 1097.

[16] Rizzi, E., Papa, E., & Corigliano, A. (2000). Mechanical behavior of a syntactic foam: experiments and modeling. *International Journal of Solids and Structures*, 37, 5773–5794.

[17] Taherishargh, M., Belova, I. V., Murch, G. E., & Fiedler, T. (2014). On the mechanical properties of heat-treated expanded perlite–aluminium syntactic foam. *Materials and Design*, 63, 375–383.

[18] Wouterson, E. M., Boey, F. Y. C., Hu, X., & Wong, S.-C. (2005). Specific properties and fracture toughness of syntactic foam: Effect of foam microstructures. *Composites Science and Technology*, 65 (11–12), 1840–1850.

[19] Zegeye, E., Ghamsari, A. K., & Woldesenbet, E. (2014). Mechanical properties of graphene platelets reinforced syntactic foams. *Composites: Part B*, 60, 268–273.

RESEARCH INTO THE OPERATIONAL PROPERTIES OF HYBRID SYNTACTIC COMPOSITES FOR SMALL CRAFT HULL STRUCTURES

Andrii Nuzhin

National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov

Abstract. This work is dedicated to the development of hybrid syntactic composites with an elastic polyurethane matrix for small craft shipbuilding and the evaluation of their operational properties. Two types of sandwich core fillers were investigated: the organic C-series (expanded polystyrene) and the mineral P-series (expanded perlite). Experimental tests proved their high cryogenic stability under cyclic freeze-thaw conditions, fire resistance, hydrocarbon durability, and excellent adhesion with epoxy outer face sheets. The obtained performance data justify their engineering suitability for reliable unsinkable hull manufacturing.

Keywords: syntactic foams, expanded perlite, expanded polystyrene, polyurethane matrix, buoyancy, climate resistance.

УДК 669.018.2:539.4

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ КІНЕТИКИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У ПРУЖИННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ІЗ СПЛАВІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ

Познанський А.С.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування,
andrii.poznanskyi@nuos.edu.ua
Поліщук В.А.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування,
vitpolishchuk@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розроблено феноменологічну модель кінетики мартенситно-аустенітного фазового переходу в пружинних елементах зі сплавів з ефектом пам'яті форми на основі концепції внутрішньої змінної. Отримано визначальні рівняння та рівняння ліній початку й закінчення фазових перетворень, наведено методику визначення коефіцієнтів моделі за граничними умовами.

Ключові слова: ефект пам'яті форми, сплав з пам'яттю форми, термочутливий елемент, фазове перетворення, внутрішня змінна, кінетика перетворення.

Для реалізації зворотно-поступального руху у виконавчих механізмах приладів терморегулювання та приводах циклічної дії одними з найбільш перспективних вважаються термомеханічні схеми з термочутливими елементами (ТЧЕ) у вигляді гвинтових пружин з ефектом пам'яті форми (ЕПФ), що поєднують достатню амплітуду переміщення й зусилля, просте регулювання цих параметрів, високу циклічну довговічність та зручність компонування [1–3; 6].

Для розрахунку таких пристроїв в умовах складного термічного та деформаційно-силового навантаження феноменологічні (макроскопічні) моделі є більш прийнятними порівняно з мікромеханічними [3; 4], які потребують великої кількості мікроскопічних параметрів і призводять до значних розбіжностей з експериментом, та графоаналітичними методами, що описують лише дискретні стани сплаву і не придатні для адаптивних елементів систем безперервного регулювання. Крім того, для нелінійних пружинних ТЧЕ загальні методи розрахунку гвинтових пружин дають лише наближений розв'язок, оскільки діаграми σ–ε сплавів з ЕПФ нелінійні, а модуль зсуву й крива $\sigma = f(\varepsilon)$ залежать від термічної та деформаційної передісторії матеріалу. Найбільш перспективним є опис фазового перетворення введенням внутрішньої змінної, що характеризує ступінь його розвитку [3; 5] за еволюційним рівнянням кінетики перетворення.

Метою роботи є розроблення феноменологічної моделі деформаційно-силових і температурних параметрів пружинних силових елементів із сплавів з ефектом пам'яті форми з урахуванням кінетики мартенситно-аустенітного фазового переходу та методики визначення її коефіцієнтів за граничними умовами.

У процесі термомеханічного мартенситного перетворення розглядаємо лише дві фази – «мартенсит» та «аустеніт», тому вводимо об'ємну частку мартенситу у вигляді скалярної внутрішньої змінної ξ (об'ємна частка високотемпературної фази дорівнює 1–ξ). Для тіла зі сплаву з ЕПФ після стабілізуючого термомеханічного циклування термомеханічні параметри матеріалу визначаються системою $d\sigma/dt = f(d\varepsilon/dt,\ dT/dt,\ d\xi/dt)$, $\xi = \varphi(\sigma,\ T)$, друге рівняння якої описує кінетику бездифузійного фазового перетворення, що залежить не лише від температури, а й від прикладених напружень. Рівняння $0 = \varphi(\sigma,\ T)$ і $1 = \varphi(\sigma,\ T)$ визначають граничні поверхні у просторі «напруження – температура», точки яких відповідають початку та завершенню перетворення. Для пружинного силового елемента ця система набуває вигляду

$$\begin{cases} \dfrac{d\tau}{dt} = K\dfrac{d}{dt}(G[\gamma - \gamma_{rev} - \gamma_{res}]^m); \\ \xi = 1 - e^{a_M b_M (M_S - T) + a_M \tau}; \\ \xi = e^{a_A b_A (A_S - T) + a_A \tau}; \end{cases} \quad (1)$$

за умов

$$\begin{aligned} a_M b_M (M_S - T) + a_M \tau \le 0; \\ a_A b_A (A_S - T) + a_A \tau \le 0; \\ \gamma_{res} + \gamma_{rev} \le \gamma \le \gamma_{in}, \end{aligned} \tag{2}$$

де перше рівняння системи (1) описує зв'язок деформаційно-силових і температурних параметрів у інтервалі фазового перетворення, а друге й третє – кінетику прямого та зворотного перетворень [3, 5]; K, m, a_M, b_M, a_A, b_A – параметри матеріалу, що визначаються за експериментальними даними; $G = A\xi + B$ – модуль зсуву; M_S (M_F) та A_S (A_F) – характеристичні температури початку (закінчення) прямого та зворотного мартенситних перетворень; $\gamma_{rev} = K_1\xi$ – оборотна деформація пам'яті форми; γ_{res} – сумарна залишкова деформація, яка визначається як функція кількості термоциклів N і деформації ініціювання ЕПФ γ_{in} [1].

Коефіцієнти A, B, K_1 визначаються з граничних умов: за $T < M_F$ маємо $\xi = 1$, $G = G_M$, $\gamma_{rev} = \gamma_{rev}^{max}$; за $T > A_F$ – $\xi = 0$, $G = G_A$, $\gamma_{rev} = 0$ (G_A, G_M – модулі зсуву фаз). Звідси $A = G_M - G_A$, $B = G_A$, $K_1 = \gamma_{rev}^{max}$, тобто $G(\xi) = (G_M - G_A)\xi + G_A$, $\gamma_{rev}(\xi) = \gamma_{rev}^{max}\xi$.

При деформуванні пружинного елемента враховуємо лише напруження кручення, тому поверхні початку та кінця фазового переходу вироджуються в лінії, рівняння яких визначаються з другого й третього рівнянь системи (1) за умови, що перетворення вважається завершеним, коли частка нової фази досягає 0,99:

$$\tau = b_M (T - M_S); \quad \tau = -\frac{2\ln 10}{a_M} + b_M (T - M_S). \tag{3}$$

$$\tau = b_A (T - A_S); \quad \tau = -\frac{2\ln 10}{a_A} + b_A (T - A_S). \tag{4}$$

Область між лініями початку та закінчення перетворення (2) називають смугою фазового переходу. Лінії закінчення перетинають вісь абсцис у точках M_F і A_F, для яких $a_M b_M = 2\ln 10/(M_F - M_S)$ та $a_A b_A = 2\ln 10/(A_F - A_S)$, а ширина смуг $\Delta\tau_M = -2\ln 10/a_M$, $\Delta\tau_A = 2\ln 10/a_A$, звідки $a_M < 0$, $a_A > 0$, b_M, $b_A > 0$. Оскільки $M_F < M_S$, а $A_F > A_S$, межі та смуги перетворень у площині «напруження – температура» схематично подано на рис. 1.

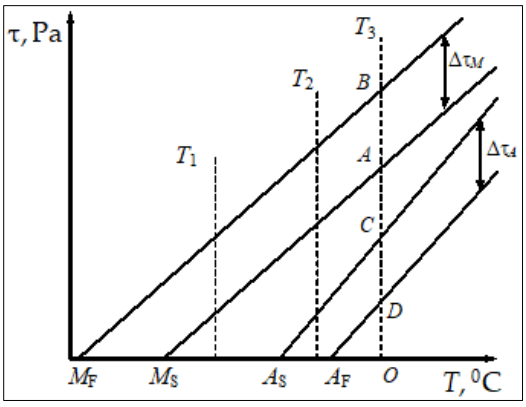


Рисунок 1 – Межі та смуги фазових перетворень

За сталих параметрів матеріалу лінії початку перетворення є прямими (випадок Клаузіуса–Клапейрона [3]); якщо ж ширина смуг $\Delta\tau_M$, $\Delta\tau_A$ лінійно залежить від температури, відповідні вирази для a_M і a_A отримують з тієї ж умови. Система рівнянь (1)–(4) повністю визначає деформаційно-силові й температурні параметри пружинного ТЧЕ у всьому робочому діапазоні та є основою для подальшого графоаналітичного аналізу й експериментальної перевірки моделі.

Висновки:

1. Розроблено феноменологічну модель деформаційно-силових і температурних параметрів пружинних силових елементів із сплавів з ефектом пам'яті форми, яка на основі концепції внутрішньої

змінної враховує кінетику прямого та зворотного фазових перетворень у всьому робочому діапазоні температур і напружень.

2. Отримано рівняння ліній початку й закінчення фазових перетворень і залежності для ширини смуг перетворення, що дають змогу визначати параметри матеріалу a_M, b_M, a_A, b_A та характеристичні температури M_F і A_F за експериментальними даними.

Література

[1] Polishchuk V. A., Nikolaev O. L., Zadorozhnaya T. P. Determination of spring elements characteristics using shape memory effect during thermomechanical impact. *Scientific Bulletin of NUS*, Mykolaiv, 2016, no. 1, P. 26–29. DOI: https://doi.org/10.15589/jnn20160104.

[2] Solovyev S. N., Polishchuk V. A., Nikolaev O. L. Calculation methodic of the oil temperature controller functional elements for gas-turbine engine lubrication system. *Aerospace Technic and Technology*, 2005, no. 10/26, P. 183–187.

[3] Otsuka K., Ren X. Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. *Progress in Materials Science*, 2005, vol. 50,P. 511–678. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2004.10.001.

[4] Carpinteri A., Di Cocco V., Fortese G., Iacoviello F., Natali S., Ronchei C., Scorza D., Vantadori S., Zanichelli A. *Acta Mechanica et Automatica*, 2018, vol. 12, no. 2, P. 105–108. DOI: https://doi.org/10.2478/ama-2018-0017.

[5] Bujoreanu L. G. Materials Science and Engineering A, 2008, vol. 481, P. 395–403. DOI: https://doi.org/ 10.1016/j.msea.2006.12.223.

[6] Thermomechanical Parameters Modelling of Spring Force Elements Made of Shape Memory Alloys / O. Łastowska, V. Polishchuk, A. Poznanskyi. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (Journal – Materials)*. 2025. Vol. 18 (13), id. 3055. DOI: https://doi.org/10.3390/ma18133055.

A PHENOMENOLOGICAL MODEL OF PHASE TRANSFORMATION KINETICS IN SPRING ELEMENTS MADE OF SHAPE MEMORY ALLOYS

Polishchuk Vitaliy, Poznanskyi Andrii

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A phenomenological model of the martensite–austenite phase transition kinetics in spring elements made of shape memory alloys is developed, based on the internal variable concept. Constitutive equations linking deformation-force and temperature parameters, and the equations of the phase transformation start/finish lines, are obtained, with a method for determining the model coefficients from boundary conditions.

Keywords: shape memory effect, shape memory alloy, thermosensitive element, phase transformation, internal variable, transformation kinetics.

УДК 621.791.75

РОЗРАХУНОК ПОГОННОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЗВАРЮВАННІ АНКЕРНИХ СТРИЖНІВ РОЗТЯГНУТОЮ ДУГОЮ ПІД ФЛЮСОМ

Гладченко Д.С.,
аспірант кафедри зварювального виробництва
gladchenko304@gmail.com
Драган С.В.,
кандидат технічних наук, професор НУК, в.о. зав. кафедри зварювального виробництва
dragan.welding@gmail.com
Чигрін В.О.,
Магістрант, chirikv27@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Показано, що розтягнута дуга під шаром флюсу відноситься до нормально-колового джерела нагріву. Експериментально, на підставі дослідження характеру плавлення основного металу, підтверджена гіпотеза можливості оцінки погонної енергії зварювання анкерних стрижнів за допомогою вибраного типу джерела нагріву. Визначено рівняння для розрахунку величини погонної енергії зварювання.

Ключові слова: зварювання, розтягнута дуга під флюсом, нормально-колове джерело нагріву, погонна енергія.

Важливим параметром для дослідження та розрахунків дугових процесів зварювання є погонна енергія – питома інтегральна кількість теплової енергії, введеної в зону зварного шва. Для поширених способів зварювання використовують стандартну формулу розрахунку цього параметра [1]:

$$q_{\text{п}} = \frac{I \cdot U \cdot \eta}{v} \quad (1)$$

де $q_{\text{п}}$ – погонна енергія Дж/см; I – зварювальний струм, А; U – напруга на дузі, В; η – ефективний ККД нагріву виробу зварювальною дугою, для зварювання під флюсом $\eta = 0{,}95$; v – швидкість зварювання, см/с.

Під час зварювання арматурних стрижнів розтягнутою дугою під флюсом відсутнє поздовжнє переміщення зварювальної дуги, тобто $v = 0$. Таким чином, стандартна формула розрахунку $q_{\text{п}}$ не працює, і виникає необхідність іншого підходу для визначення цієї важливої характеристики зварювальної дуги.

Величину погонної енергії у даному випадку можна розрахувати, дослідивши характер плавлення основного металу під дією розтягнутої дуги, що горить під флюсом. Авторами висунута гіпотеза, згідно з якою розтягнуту дугу під флюсом за сукупністю основних характеристик можна класифікувати як нерухоме нормально-колове джерело нагріву [2].

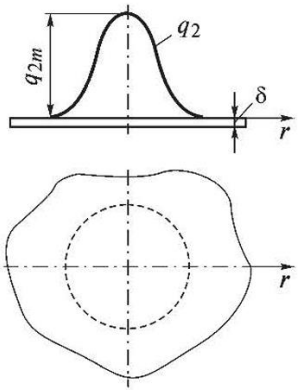


Рисунок 1 – Схема нагріву тонкої пластини нормально-коловим джерелом теплоти: q_{2m} – максимальна величина теплового потоку в центрі плями нагріву; δ – товщина пластини; r – радіус-вектор, відстань до центру нагріву

Спираючись на цю гіпотезу, зварювальну дугу подамо як розподілене джерело нагріву, інтенсивність якого змінюється за законом нормального розподілу (Рис. 1). Тоді величина погонної енергії дуги розраховується як:

$$Q = \frac{I \cdot U \cdot t \cdot \eta}{s_{\text{д}}}, \quad (2)$$

де $s_{\text{д}}$ – площа на поверхні виробу, яку займає дуга, см^2; t – час горіння дуги, с.

Розподіл температури в пластині, викликаний дією нормально-колового джерела, із урахуванням процесів тепловідведення, описується рівнянням [2]:

$$\Delta T(r,t) = \frac{Q}{4\pi\lambda\delta(t+t_0)} e^{b(t_0)} e^{\left(-\frac{r^2}{4a(t+t_0)} - b(t+t_0)\right)} \quad (3)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності (для сталі λ =0,38…0,42 Вт/см·°С); $t_0 = \frac{1}{4ak}$ – тривалість розповсюдження тепла фіктивного джерела, с; a – коефіцієнт температуропровідності (для сталі a = 0,08…0, см^2/с); k=5 – коефіцієнт зосередженості джерела (встановлено методом підбору), 1/см^2; $b = \frac{a}{c\rho\delta}$ – коефіцієнт тепловіддачі пластини із однією поверхнею (при зварюванні під флюсом), що віддає тепло; $c\rho$ – об'ємна теплоємність (для сталі $c\rho$ = 4,9…5,2 Дж/см^3·°С). Результати розрахунку термічного циклу для різних режимів зварювання арматурних стрижнів діаметром 1 мм наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати аналітичного моделювання та експериментальної перевірки процесу розповсюдження тепла при зварюванні анкерних стрижнів розтягнутою дугою під флюсом

Параметри режиму зварювання			**Відстань до ізотерми $T_{\text{пл}}$ (r), мм**		**Погонна енергія Q, кДж / см^2**
Струм I, А	**Напруга U, В**	**Час t, с**	**розрахунок**	**Експеримент (номер зразка)**	
1250	44	2	14,0	13,1 (11)	373
1250	44	3	15,1	15,3 (14)	559
1250	44	4	15,7	16,1 (17)	746

Перевірку адекватності результатів моделювання проводили шляхом наплавлення на сталеву пластину валика, зовнішній контур якого відповідає положенню ізотерми $T_{\text{пл}}$ наприкінці циклу зварювання арматурного стрижня зі сталі А500С. Параметри режиму процесу (I, U, t) фіксували за допомогою високошвидкісного цифрового осцилографу PICO Scope 2206B. Відстань r від ізотерми $T_{\text{пл}}$ до джерела нагріву при цьому відповідала половині діаметра зварного шва, який вимірювали за допомогою штангенциркуля з точністю 0, мм.

Зовнішній вигляд зразків та розміри наплавлених валиків (Рис. 2) підтвердили правильність вибору аналітичної моделі.



а *б* *в*

Рисунок 2 – Зразки заварені на режимах згідно з табл. 1.

Висновки

1. Експериментально підтверджена гіпотеза о можливості використання у розрахунках погонної енергії зварювання анкерних стрижнів розтягнутою дугою під флюсом моделі нормально-колового джерела нагріву.
2. У розрахунках температурного поля при зварюванні анкерних стрижнів коефіцієнт зосередженості джерела нагріву слід приймати k=5, що відповідає автоматичному способу зварювання під флюсом.

Література

[1] ДСТУ EN 1011-1:2022. Зварювання. Рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів. Частина 1. Загальні правила щодо дугового зварювання.

[2] Рикалін М. М. Розрахунки теплових процесів при зварюванні. М. : Державне науково-технічне видавництво машинобудівельної літератури, 1951. 29 с.

CALCULATION OF HEAT INPUT IN SUBMERGED DRAWN ARC WELDING OF ANCHOR RODS

Hladchenko D., Dragan S., Chyhrin V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. It is shown that the submerged drawn arc corresponds to a normal-circular heat source. Experimentally, based on the study of base metal melting behavior, the hypothesis regarding the feasibility of estimating the heat input for welding anchor rods using the selected type of heat source has been confirmed. An equation for calculating the welding heat input has been determined.

Keywords: welding, submerged drawn arc, heat input, normal-circular heat source.

УДК 621.762

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ПОРОШКОВИХ І ВОЛОКНОВИХ КОМПОЗИТІВ

Казимиренко Ю.О.,

докторка технічних наук, доцентка, завідувачка кафедри матеріалознавства і технології металів, yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua

Кібаров О.І.,

PhD, асистент кафедри матеріалознавства і технології металів, oleh.kibarov@nuos.edu.ua

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Анотація. В роботі охарактеризовано сучасні методи, які застосовуються для моделювання пористої структури функціональних матеріалів. Проаналізовано їх переваги, недоліки та обмеження. Надано практичні рекомендації щодо вибору методу для моделювання пористої структури металевих і керамічних композитів, отриманих за порошковою технологією, порошкових і волокнових фільтрів, технічного трикотажу тощо.

Ключові слова: композиційні і порошкові матеріали, пориста структура, моделі пористих структур.

Дослідження розвинутої пористої структури порошкових і волокнових композиційних матеріалів є важливою науково-практичною задачею, вирішення якої спрямовано на пошук ефективних шляхів управління технологічними параметрами виготовлення нових композицій з необхідними теплофізичними, фільтраційними та акустичними властивостями. Вирішення дослідницьких завдань поєднує у собі комплекс заходів із застосуванням експериментальних методик і моделюванням пористої структури матеріалів з певними геометричними характеристиками. Більшість експериментальних методів (адсорбційні, ртутної порометрії, фільтрації, мікроскопічного аналізу тощо) [1, с. 34–47] є складними, руйнівними та їх використання вимагатиме від дослідника порівняння з еталонними зразками. Тому вибір комплексу методик, які можна було б застосовувати для визначення об'єму відкритих і зачинених пор, їх форми, розміру, характеру розташування (розгалуженості і рівномірності), а також для обробки отриманих результатів залишається проблемним питанням, вирішити яке можливо шляхом впровадження синергетичних рішень. Це може бути інтеграція накопиченого експериментального досвіду у математичне моделювання з керованим синтезом матеріалів [2, с. 61-76].

Вибір методу моделювання пористої структури залежить від виду композитів (порошкові, волокнисті), їх призначення (для виготовлення фільтрів, технічного текстилю тощо), способу виготовлення (формування з прикладанням тиску, спікання у стані вільного компактування або ін.). Можливості, недоліки, обмеження сучасних методів моделювання, які застосовуються в проєктуванні металевих і керамічних композитів, отриманих за порошковою технологією, порошкових і волокнових фільтрів, технічного трикотажу наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз методів моделювання пористої структури порошкових і волокнових композитів

Приклади застосування матеріалів	**Метод моделювання пористої структури**	**Можливості і обмеження методу**
Металеві і керамічні композити, виготовлені за порошковою технологією	Прямі геометричні та обчислювальні методи (*Micro-CT-based*), що ґрунтуються на точній генерації цифрових двійників реальних фізичних зразків матеріалів	Метод враховує реальні дефекти матеріалу, еволюцію пор пресованих порошків та геометрію часткових контактів. Складність обчислювань і невелика кількість частинок у модельній комірці обмежують масштаби використання методу
Порошкові і волокнові фільтри для газів та рідин, паливні елементи, акустичні поглиначі	Сіткові методи (*Network Models*), які надають уявлення про капілярно-пористі моделі, що складаються з паралельних або перехресних капілярів різного діаметру та складних пористих структур у вигляді графу	Метод розкриває гідродинамічні властивості та проникність матеріалів, але опрацьовує спрощену геометрію пор
Технічний трикотаж для авіабудування, автомобільної промисловості, спортивного інвентарю	Застосовується текстильне моделювання (*Tex Gen, Wise Tex*) з моделюванням геометрії ниток, розрахунком пор геометричним контуром і алгоритмами випадкового генерування ліній (*Random Line Generation*), де волокна орієнтуються ізотропно, після чого як залишковий простір розраховується пористість	Метод характеризується високою точністю відтворення архітектури будь-якого плетіння з внутрішньо- і міжволокновими порами, проте не може бути використаний для коротких і хаотичних волокон. Побудова моделі залежить від точності експериментальних даних
Геополімери, біомедичні імпланти, будівельні конгломерати	Застосовуються методи, що базуються на природній аналогії з ґрунтом, а саме фрактальне моделювання, реконструкція за функціями просторової кореляції, ієрархічне і агрегатне моделювання	Практичне використання цих методів ускладняється через фокусування на хаотичності, багаторівняності та неідеальності структури матеріалів

Джерело: складено авторами за аналізом джерел [3–6]

Кожен з розглянутих методів не є універсальним, тому авторами пропонується застосовувати комбінований підхід із зазначенням послідовності методів і розстановкою пріоритетів. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою математичних моделей для кожного з дослідних видів композитів, а також вибором програмних продуктів.

Висновок. Проаналізовано та порівняно методи моделювання пористої структури металевих і керамічних композитів, отриманих за порошковою технологією, порошкових і волокнових фільтрів, технічного трикотажу тощо; визначено перспективи подальших досліджень авторів.

Література

[1] Криворучко Я.С., Лерман Л.Б., Шкода Н.Г. Моделі пористих середовищ. *Поверхня.* 2013. 5 (20). С. 34–47.

[2] Електрохімія функціональних матеріалів і систем (ЕФМС) / Г.Я. Колбасов, В.С. Кублановський, О.Л. Берсірова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, О.І. Кунтий, О.В. Решетняк, О.Ю. Посудієвський. *Укр. хім. журн.* 2021. № 3. Том 87. С. 61–76.

[3] Горбовий А.Ю., Лаговський В.В., Омельчук А.А. Штучний інтелект у текстильній промисловості. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2020. Том 3. № 22. С. 123–132.

[4] Алієв, Е. Б., & Литвинов, І. В. Чисельне моделювання системи «сито – частинки матеріалу – щітка». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. (12 (43).2). 154–164.

[5] Петренко О.Є., Носик А.М. Паралельні обчислювальні структури для рішення задач дискретної оптимізації: колективна наукова монографія. *Сучасний стан проведення наукових досліджень у IT-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфер*. Logos Science Publishing: 2020. С. 102–121.

[6] Дорофєєв Є.О. Порівняння методів побудови швидкодіючих цифрових обчислювальних пристроїв для визначення геометричних ознак виробів з природного каменю. *Інформаційні технології і системи в документознавчій сфері*. 2024. 36–38.

METHODS FOR MODELING A POROUS STRUCTURE POWDER AND FIBER COMPOSITES

Yuliia Kazymyrenko, Oleh Kibarov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper characterizes modern methods that are used to model the porous structure of functional materials. Their advantages, disadvantages and limitations are analyzed. Practical recommendations are given on the choice of a method for modeling the porous structure of metal and ceramic composites obtained by powder technology, powder and fiber filters, technical knitwear, etc.

Keywords: composite and powder materials, porous structure, models of porous structures.

УДК 621.771.6:621.771.23:621.981.12

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОФІЛЮВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛІВ З МАЛОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Новошицький А.В.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
anton.novoshytskyy@nuos.edu.ua
Боду С.Ж.,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
svitlana.bodu@nuos.edu.ua
Фабріциєв Д.В.,
аспірант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
dmytro.fabritsyiev@gmail.com
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова Миколаїв, Україна

Анотація. Представлена технологія виготовлення тонкостінних профілів з малопластичних матеріалів профілюванням с поздовжнім розтягом при розігріві заготовки електричним струмом в процесі профілювання.

Ключові слова: тонкостінні профілі; технологія профілювання; профілювання з поздовжнім розтягом; гнуття з поздовжнім розтягом; профілювання з розігрівом.

Виробництво профілів дрібними серіями широкої номенклатури безпосередньо на підприємстві можливе на основі технології профілювання гнуттям з поздовжнім розтягом [1, 2], яка розроблена в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова. Технологія передбачає послідовну локальну формозміну заготовки профілювальними роликами при дії на неї поздовжнього навантаження розтягу.

Технологія здійснюється за допомогою спеціальної розтяжної машини. Машина має нерухому і тягнучу згинальні головки зі штампами для деформування і закріплення кінців заготовки і її розтягнення, рухому каретку з роликами для деформування [3].

Метою даної роботи є розширення технологічних можливостей технології виготовлення тонкостінних профілів профілюванням з поздовжнім розтягом для одержання профілів з малопластичних матеріалів.

Для виготовлення профілів з малопластичних матеріалів запропоновано розігрів електричним струмом всієї заготовки в процесі її профілювання, на відміну від локального розігріву ділянки перед профілювальними роликами лазерним випромінюванням [4] або розігріву всього перерізу заготовки струмами високої частоти [5].

Технологічний процес виготовлення профілю зі стрічкової заготовки передбачає проведення наступних операцій: розміщення заготовки між захватами; деформування і затискання кінцевих ділянок; розтяг заготовки; подача каретки, оснащеної профілювальними роликами, до нерухомого захвату; включення джерела струму та розігрів заготовки; змикання профілювальних роликів і заготовки; переміщення каретки до рухомого захвату; відключення джерела струму; розвантаження; розмикання профілювальних роликів і захватів; виймання готового профілю, рис. 1.

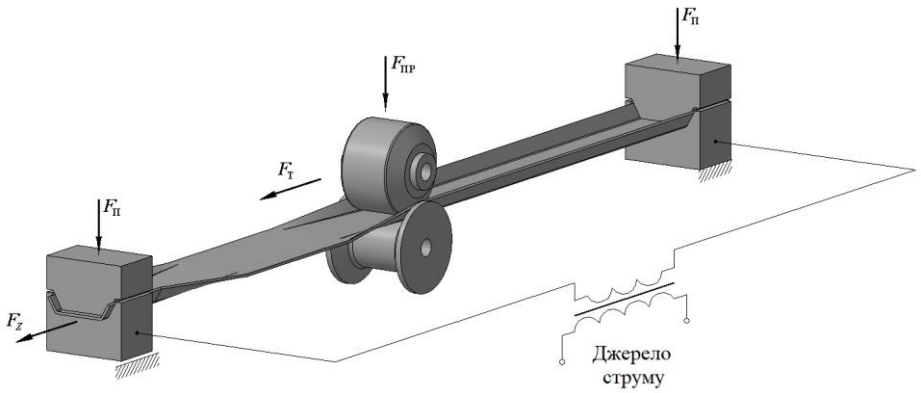


Рисунок 1 – Схема виготовлення профілю згідно технології профілювання з поздовжнім розтягом при розігріві заготовки електричним струмом

Початок контакту роликів із заготовкою відбувається біля нерухомого захвату в районі кінцевих згинальних деформацій, що виникають у результаті деформування кінцевої ділянки заготовки в захватах силою $F_П$ і наступного додавання сили розтягу F_Z. При прикладенні зусиль притиску $F_{ПР}$ до профілювальних роликів здійснюється деформування ділянки заготовки відповідно до форми робочих поверхонь роликів. У результаті переміщення роликів під дією зусилля F_T здійснюється послідовне формування профілю.

Створення навантаження розтягу в процесі профілювання забезпечує оптимальні умови формоутворення, поздовжні пластичні деформації від поперечного вигину заготовки компенсуються в результаті відповідного пластичного розтягу. Внаслідок розігріву заготовки та збільшення її пластичності необхідний згинальних момент зменшуються, також підвищується точність виготовлених профілів. Температуру розігріву вибирають в залежності від механічних і фізичних властивостей матеріалу заготовки.

При виготовленні профілів з малопластичних матеріалів, запропонована технологія може бути об’єднана з технологічними схемами наведеними в [6, с. 115 – 122], що дасть можливість одержувати профілі: підвищеної жорсткості, с плоскими кінцевими ділянками, с періодично повторюваними гофрами, с поздовжніми криволінійними гофрами, зі складною кривизною, рифлені та перфоровані профілі.

Висновок. Запропонована удосконалена технологія виготовлення високоточних тонкостінних профілів з малопластичних матеріалів профілюванням с поздовжнім розтягом, при розігріві заготовки електричним струмом в процесі профілювання. Наявність поздовжнього розтягу створює сприятливі умови для формоутворення, а розігрів заготовки викликає збільшення її пластичності і підвищення точності форми виготовленого профілю.

Література

[1] Новошицкий А. В. Технология изготовления тонкостенных профильных элементов судовых конструкций гибкой с продольным растяжением [Текст] : монография / А. В. Новошицкий. – Николаев : издательство Швец В. М., 2017. – 15 с.

[2] Декл. пат. 44451А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. № 2001031674; заявл. 12.03.01; опубл. 15.02.02, Бюл. № 2. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/354189/

[3] Декл. пат. 43149A Україна, МПК7 B 21 D 5/00, B 21 D 11/20. Розтяжна машина [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. № 2001031675; заявл. 12.03.01; опубл. 15.11.01, Бюл. № 10. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/352820/

[4] Патент на корисну модель. 156422 Україна, МПК B 21 D 5/00, B 21 D 11/20, B 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / А. В. Новошицький, С. Ж Боду; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. № u202306301; заявл. 25.12.2023; опубл. 19.06.2024, Бюл. № 25/2024. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1805631/

[5] Патент на корисну модель. 145415 Україна, МПК B 21 D 5/00, B 21 D 11/20, B 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / О. С. Рашковський, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. № u202003981; заявл. 02.07.20 ; опубл. 10.12.20, Бюл. № 23. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1467906/

[6] Новошицкий А. В. Технология изготовления модульных конструкций малотоннажных судов : монография / А. В. Новошицкий. Николаев : издательство Швец В.М., 2021. 16 с. https://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/5582

IMPROVEMENT OF THE ROLL-FORMING TECHNOLOGY FOR THIN-WALLED PROFILES MADE OF LOW-DUCTILITY MATERIALS

Novoshytskyi Anton, Bodu Svetlana, Fabritsyiev Dmytro
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Technology for manufacturing thin-walled profiles from low-ductility materials via roll forming with longitudinal tension, involving electric-current heating of the workpiece during the forming process.

Keywords: thin-walled profiles; roll forming technology; roll forming with longitudinal stretching; stretch bending; roll forming with heating.

УДК 621.921.34:544.72

ОГЛЯД ВПЛИВУ АЛМАЗІВ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ В СПРЯЖЕННЯХ КОВЗАННЯ МАШИН

Ошовський В.Я.,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри теплоенергетики та технологій машинобудування
Первомайського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова ,м. Первомайськ, Україна
oshovskyvikt@ukr.net

Анотація. В роботі проведено огляд досліджень різних авторів щодо позитивної та негативної поведінки поверхонь ковзання алмазів залежно від їх будови, зовнішнього середовища та інших впливаючих факторів. Спряження ковзання з використанням в поверхнях тертя алмазів при певних умовах можуть мати унікальні трибологічні властивості, а тому потребують подальших розробок і досліджень. Пропонується враховувати фактори впливаючі на властивості поверхонь тертя алмазів для розробки спряжень ковзання з алмазними включеннями в мікроструктурі обох поверхонь тертя. Такі спряження будуть мати надійний і тривалий ресурс роботи, як в нормальних так і в екстремальних умовах, при надзвичайно малих коефіцієнтах тертя.

Ключові слова: спряження ковзання, тертя алмазів, надзвичайно малий коефіцієнт тертя, властивості поверхонь алмазів, недоліки алмазних плівок, алмазні включення, надійність спряжень.

Зростає увага щодо використання алмазів для відповідальних спряжень ковзання машин, особливо в авіа, аерокосмічній, морській, транспортній та інших галузях. Для цього на поверхні ковзання деталей наносять алмазні плівки через підкладку, яка має високу адгезію до матеріалу деталі та алмазу.

Але алмазні плівки мають ряд недоліків [1–3]. Так, один з них в тому, що надтверда алмазна плівка, що забезпечує низький коефіцієнт тертя, водночас є крихкою і малої товщини. При дії багатократних механічних і пульсуючих сил на поверхневий шар це з часом призводить до втомних тріщин та її відшаровування від підкладки. Тому тонка суцільна плівка твердого алмазу, яка тримається на менш твердої підкладці не є достатньо надійною. В любий момент спряження може пошкодитися і навіть заклинити, що особливо небезпечно для повітряного, суднового і військового транспорту. Якщо порівняти

з шаром азотування стальних деталей, то в ньому тверді включення нітридів знаходяться у зв'язку іншими складовими меншої твердості, що унеможливлює їх відшаровування.

В останні роки з'являються результати досліджень, які доводять, що поверхні тертя повинні мати крім твердої складової структурно зв'язану з нею більш в'язку. Остання повинна забезпечувати твердим несучим включенням пружні мікрорухи під дією високих навантажень, наприклад коли між поверхнями шар мастила менше мінімального, достатнього для рівномірного навантаження через шар мастила.

Використання алмазів може надати високих трибологічних властивостей спряженням тертя в різних, в тому числі екстремальних умовах експлуатації.

Але алмази мають також властивості, які не дозволили отримати з розплаву сплави з алмазними включеннями в мікроструктурі.

З-за надвисокої твердості алмази широко використовують для механічної обробки матеріалів у вигляді порошків, паст та сплавів отриманих методом порошкової металургії, наприклад для бурового і металоріжучого інструментів.

Останнім часом приділяється увага щодо отримання алмазних включень тільки в структурі поверхонь тертя деталей спряження. Але потрібні розробка доступних методів і дослідження з урахуванням особливих властивостей поверхонь алмазних включень при відповідних умовах роботи спряжень.

Метою роботи є огляд наукових досліджень щодо відомостей про залежність властивостей поверхонь тертя алмазних зерен від контактних з ними матеріалів, середовища та термодинамічних умов для отримання в структурі поверхонь ковзання алмазних включень, а таким чином унікальних трибологічних властивостей, в тому числі надзвичайно малого коефіцієнта тертя і надійності роботи спряжень в екстремальних умовах.

В останні десятиліття знаходять застосування і досліджуються покриття поверхонь тертя алмазоподібним вуглецем (DLC) для ефективного зменшення коефіцієнту тертя та зносу [4-ст3]. Автори відмічають, що на трибологічні властивості алмазів впливають характеристики їх поверхонь – мікробудова, адгезія, шорсткість, наявність водню та інших елементів. Впливають також склад середовища, температура, тиск, відносна вологість, швидкість ковзання, навантаження та інші. Причому деякі з них можуть впливати як позитивно так і негативно через трибохімічні реакції між алмазним покриттям та добавками. Слід визначити, що деякі дослідники висловлюють суперечливості щодо пояснення механізму цієї складної взаємодії.

Коефіцієнт тертя алмазоподібних вуглецевих плівок (DLC) в основному залежить від адгезійних взаємодій між поверхням ковзання [5-ст11]. Моделюванням молекулярної динаміки авторами доведено, що додавання до контактної поверхні плівки DLC водню значно зменшує кількість ненасичених вуглецевих зв'язків у ній, а тому зменшує адгезію та коефіцієнт тертя.

Дослідження показують, що кристали алмазу мають високу поверхневу енергію і певну адсорбційну активність [6-ст8], яку можна змінювати. Так кислоти і луги сприяють адсорбції кисню та підвищенню гідрофільності поверхні. При термообробці гідрофільність зменшувалася, тому за висновками авторів ця властивість є одним з показників оцінки трибологічної якості поверхонь.

У роботі [7-ст9] відмічається, що підшипники з полікристалічного алмазного композиту (PCD) довели свою міцність і зносостійкість при використанні в екстремальних умовах при бурінні нафти і газу, в турбінах та морських гідрокінетичних (МГК) енергетичних машинах завдяки своїм надзвичайним тепловим і механічним властивостям. Такі підшипники можуть змащуватися різними технологічними рідинами, в тому числі водними середовищами. Так, занурена турбіна МГК, що працює в морській воді зі змінними навантаженнями, частими пусками та зупинками, мінімальним або відсутнім технічним обслуговуванням перевершує умови роботи традиційних підшипників. Випробування підшипників на морській воді довело, що вони витримують велику кількість пусків і зупинок без пошкоджень, мають вищий коефіцієнт теплопередачі при відведенні тепла від поверхонь ковзання порівняно з використанням на оліях, вищу надійність та малий знос. Також відмічається, що знос менший при покращанні якості механічної обробки поверхонь. Це ілюструє можливість забезпечити високу надійність, довговічність і низькообслуговуваність підшипників ковзання з PCD.

В роботі [8-ст10] представлені результати дослідження впливу середовища, навантаження та швидкості ковзання на трибологічні властивості природного алмазу, що ковзає по природному алмазу та CVD (алмазу отриманому хімічним осадженням з парової фази). Показано, що при терті між алмазами на повітрі досягаються надзвичайно низькі коефіцієнти тертя (0,05…0,15) в умовах надвисокого тиску. Причому присутність органічних мастил чи інших рідин в контакті поверхонь не знижує коефіцієнт тертя. Такі результати пояснюють наявністю на поверхнях тертя алмазів адсорбованих молекул домішок при терті на повітрі та низької адгезії поверхонь. Експериментально доведено, що коефіцієнт тертя між алмазами можна зменшувати порівняно з його значенням на повітрі шляхом подачі в зону контакту поверхонь води та інших рідин, тобто тих, які містять кисень. В умовах вакууму поверхні тертя не пасивуються адсорбованими молекулами і в результаті високої адгезії зв'язки на двох алмазних поверхнях на межах контакту можуть вільно зв'язуватися, що надає високий опір ковзанню і тому коефіцієнт тертя підвищується.

В роботах [9–12] приведено метод отримання в структурі поверхонь спряження колінчастий вал (сталь 40, твердість шийки 35HRC) – вкладиші (бабіт Б83) алмазних включень методом втиснення в процесі шаржування з суміші алмазної пасти з дисульфід-молібденовим мастилом. Метод тривалий, але показав можливість втиснення алмазних включень в поверхні, перетворення в графіт вершин виступів шаржованих в поверхні спряження алмазних включень, отримання мінімального зазору в спряженні та вирівнювання геометрії поверхонь до дзеркального стану. В процесі тривалої експлуатації компресора в екстремальних умовах навантажень не було ні зносу ні пошкоджень поверхонь тертя спряжень.

Висновок. Таким чином. За результатами огляду найменший коефіцієнт тертя та інші високі трибологічні властивості спряжень ковзання працюючих в атмосферних умовах можливо отримати при наявності опорних надтвердих алмазних включень у структурі обох поверхонь тертя. Одним з таких методів є шаржування під тиском з роздробленням зерен, втисненням у структуру поверхні та припрацюванням з перетворенням виступів алмазних включень у графіт. Розробка, дослідження і впровадження методів отримання в структурі поверхонь ковзання алмазних включень може надати надзвичайно малого коефіцієнту тертя і високу надійність в екстремальних умовах роботи спряженням ковзання відповідальної техніки.

Література

[1] Lu, F.; Liu, T.; Bai, X.; Wu, Y.; Wang, H.; Yan, G. Tribological Performance of Diamond Films with Different Roughnesses of Silicon Nitride Substrates and Carbon Source Concentrations. *Membranes*. 2022. 12 (3), 336.

[2] Kolawole F.O., Tschiptschin A.P., Kolawole S.K., Ramírez A.R. Failure of diamond-like carbon (dlc) coatings in automobile engines – a review. Proceedings on Engineering Sciences : *16th International Conference on Tribology.* Kragujevac, Serbia, 15–17 May 2019. P. 171–180.

[3] Erdemir, Ali. (2002). Friction and wear of diamond and diamond-like carbon films. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J : Journal of Engineering Tribology*. 216. P. 387-400.

[4] K.A.H. Al Mahmud, M.A. Kalam, H.H. Masjuki, H.M. Mobarak & N.W.M. Zulkifli. An updated overview of diamond-like carbon coating in tribology. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*. Volume 40, Issue 2 (2015), Page 90–118.

[5] Schall, J. David; Gao, Guangtu; Harrison, Judith A. Effects of Adhesion and Transfer Film Formation on the Tribology of Self-Mated DLC Contacts. *Journal of physical chemistry*. C, 01 Apr 2010, Vol. 114, Issue 12, P. 5321–5330.

[6] Ільницька Г.Д. Вплив термохімічних обробок на фізико-хімічні властивості шліфпорошків алмазу / В.І. Лавріненко, О.Б. Логінова, В.В. Смоквина, С.П. Старик, І.М. Зайцева, В.В. Тимошенко, Л.Й. Котинська, Т. О. Косенчук, Д. С. Чернецький. *Інструментальне матеріалознавство* : збірник наукових праць. Випуск 27, 2024. С. 164–170.

[7] Lingwall B.A., Sexton T.N., Cooley C.H. Polycrystalline diamond bearing testing for marine hydrokinetic application / US Synthetic Corporation, 1260 S. 1600 W. Orem, UT 84058, USA. Volume 302, Issues 1–2, 2013. P. 1514–1519.

[8] Grillo S.E., Field J.E. The friction of natural and CVD diamond. *Wear*, Volume 254, Issue 10, 2003. P. 945–949.

[9] Ошовський В.Я. Виробничі технології як альтернатива обкатування деталей ДВЗ. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* – Кіровоград : КНТУ, 2013. Вип. 43, ч. 1. С. 320–325.

[10] Ошовський В.Я., Григурко І.О., Капура І.А. Рідкопластичне формування поверхонь бабітових вкладишів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград : КНТУ, 2014. Вип. 44. С. 248–251.

[11] Ошовський В.Я. Підвищення ресурсу колінчастого валу алмазно-дісульфід-молібденовою приробкою поверхонь тертя. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград : КНТУ, 2016. Вип.46. С. 279–286.

[12] Ошовський В. Я. Підвищення зносостійкості поверхонь спряження деталей з підшипниками ковзання в екстремальних умовах тертя. *Science and innovation of modern world. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference.* Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2023. P. 273–281.

OVERVIEW OF THE INFLUENCE OF DIAMONDS ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF FRICTION SURFACES IN MACHINE SLIDING PAIRS

Oshovskyi Viktor Yakiv

Pervomaisk Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov national university of shipbuilding.

Abstract. The paper reviews studies by various authors on the positive and negative behavior of diamond sliding surfaces depending on their structure, external environment, and other influencing factors.

Sliding couplings using diamonds in friction surfaces under certain conditions may have unique tribological properties, and therefore require further development and research.

It is proposed to take into account the factors affecting the properties of diamond friction surfaces to develop sliding couplings with diamond inclusions in the microstructure of both friction surfaces. Such couplings will have a reliable and long service life, both in normal and extreme conditions, with extremely low friction coefficients.

Keywords: sliding coupling, diamond friction, extremely low coefficient of friction, properties of diamond surfaces, disadvantages of diamond films, diamond inclusions, reliability of couplings.

СЕКЦІЯ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТА СИСТЕМ

УДК 621.438:629.5.06

АДАПТАЦІЯ СЕРІЙНИХ АЕРОДЕРИВАТИВНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ДО УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛАВУЧОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

Чередніченко О.К.,
доктор технічних наук, професор, oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua
Личко Б.М.,
кандидат технічних наук, доцент, bogdan.lychko@nuos.edu.ua
Коробєйнікова Н.В.,
викладач, natalya.korobeinikova@nuos.edu.ua
Косоруков Є.Є.,
здобувач PhD, Kosorukoff1@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто засади адаптації серійних аеродеривативних газотурбінних двигунів до плавучих енергетичних платформ (ПЕС) методом реінжинірингу. Обґрунтовано дубль-блочну топологію ($2 \times$ ГТД $+ 2 \times$ КУ $+ 1 \times$ ПТ) зі спільним паровим колектором для дотримання суднобудівних обмежень за осадкою та надводним габаритом. За допомогою Марковських процесів оцінено надійність і функціональну живучість ПЕС при відмовах обладнання. Проаналізовано вплив воденьвмісних палив на паровіддачу котлів-утилізаторів та сформовано алгоритм багатокритеріальної оптимізації.

Ключові слова: плавуча електростанція, газотурбінна установка, реінжиніринг, дубль-блок, функціональна живучість, Марковські процеси, альтернативні палива.

Вступ та актуальність теми. Попит на плавучі електростанції зростає через потребу оперативного покриття дефіциту потужностей, резервування критичної інфраструктури та електропостачання прибережних і острівних територій [1]. Для внутрішніх водних шляхів і прибережних акваторій важливими є жорсткі обмеження за осадкою ($T \leq 3{,}5$м), надводним габаритом ($H_{\text{надв}} \leq 8{,}0$м), а також вимоги до живучості та маневреності [2]. Розроблення нових суднових ГТУ потребує значних часу й ресурсів, тому доцільним є реінжиніринг освоєних серійних аеродеривативних двигунів UGT25000 / DN80 із застосуванням розрахунково-чисельного моделювання.

Концепція реінжинірингу та схемно-топологічні рішення ПЕС [3,4]. Для подолання масогабаритних обмежень і підвищення живучості запропоновано дубль-блок: 2 ГТД UGT25000 по 25 МВт, 2 котли-утилізатори та спільний паровий колектор із паровою турбіною потужністю 15,2 МВт (рис. 1). Порівняно з моноблоком близько 65 МВт така схема зменшує висотні габарити КУ, сприяє дотриманню надводного габариту, забезпечує збереження частини генерації при відмові одного контуру та покращує остійність завдяки рознесенню мас.

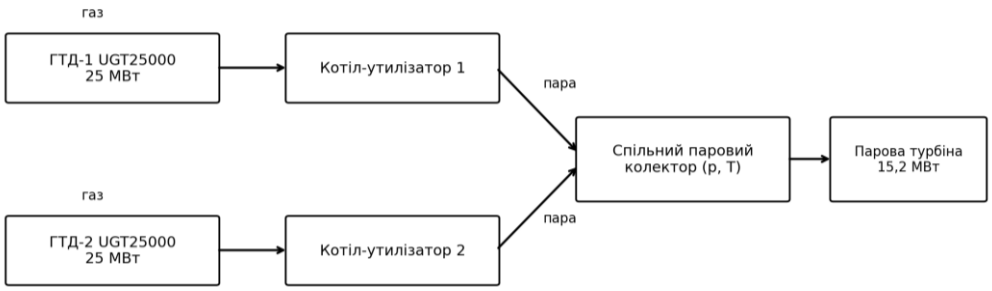


Рисунок 1 – Схема дубль-блочної топології ПЕС зі спільним паровим колектором

Математична модель та термодинамічний аналіз. Математичний опис газового тракту ГТУ базується на рівняннях Нав'є-Стокса та збереження енергії.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0, \quad \frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \otimes v) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho g$$

Інтеграція КУ створює додатковий протитиск за турбіною ($\Delta p_{\text{газ}}$), що зміщує робочу точку компресора до межі помпажу, тому контролюється запас газодинамічної стійкості.

$$\Delta K_s = \left(\frac{\pi_c^* / G_{\text{прив}}}{\left(\pi_c^* / G_{\text{прив}}\right)_{\text{пом}}} - 1 \right) \cdot 100\,\% \geq 10 \ldots 12\,\%$$

Верифікована термодинамічна модель дубль-блоку показала сумарну електричну потужність нетто близько 63,8 МВт. У структурі ексергетичних втрат найбільші складові пов'язані з камерою згоряння (42,5 %) та корисною електричною потужністю (40,0 %), тоді як газовий тракт і КУ становлять 10,5 %, парова турбіна та конденсація – 7,0 %.

Моделювання надійності та функціональної живучості. Функціонування системи «2 × ГТД + 2 × КУ + 1 × ПТ» описано безперервним Марковським процесом із переходами від номінального стану до часткових відмов ГТД, КУ або парової турбіни та повного простою.

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -P_i(t) \sum_{j \neq i} \lambda_{ij} + \sum_{j \neq i} P_j(t) \lambda_{ji}$$

Результати порівняльного аналізу надійності наведено в табл. 1 та рис. 2.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз показників надійності енергоустановок потужністю ~65 МВт

Показник	Моноблок (1+1+1)	Дубль-блок (2+2+1)
Коефіцієнт готовності (K_g)	0,9848	0,9889
Середній річний простій, год	133	97
P(t) безвідмовної роботи за 1000 год (збереження g_e 50 % N)	62,2 %	84,15 %

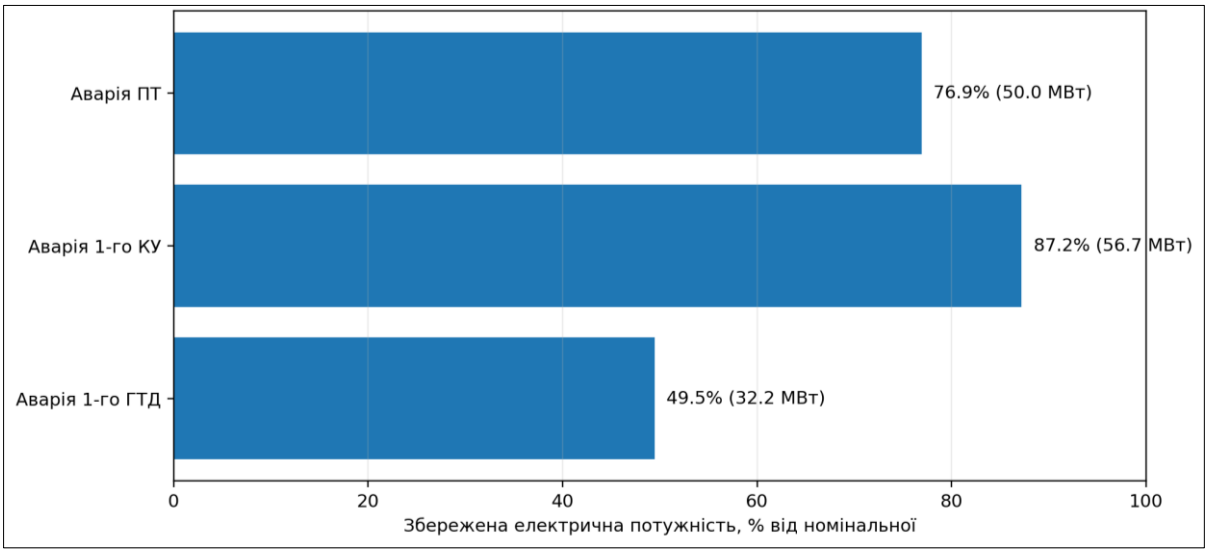


Рисунок 2 – Збережена електрична потужність та коефіцієнт функціональної живучості ПЕС при відмовах обладнання

Адаптація до альтернативних палив та декарбонізація. При спалюванні метано-водневих сумішей, ЗПГ та аміаку частка водяної пари у вихлопних газах зростає приблизно з 7–9 % до 12–18 %. Підвищення парціального тиску водяної пари збільшує випромінювальну здатність газу та його теплоємність, що забезпечує приріст паровіддачі КУ до 3–6 %. Для водню і аміаку розглянуто відповідні реакції утворення водяної пари.

Багатокритеріальна оптимізація параметрів установки. Оптимізація структурно-параметричних характеристик ПЕС здійснюється пошуком Парето-оптимальної множини з урахуванням обмежень за осадкою, надводним габаритом і запасом газодинамічної стійкості.

$$F(x) = \left[\max \eta_{\text{ел}}(x),\ \max \eta_{\text{ех}}(x),\ \min \frac{M_{\text{уст}}}{N_{\text{сум}}},\ \max K_{\text{surv}}(x) \right]^T$$

Для дубль-блоку 2 × UGT25000 визначено діапазони: тиск свіжої пари 3,2–4,5 МПа; температура пари 480–510 °C; питома площадова потужність не менше 45–55 кВт/м². Алгоритм включає введення обмежень, термодинамічний розрахунок, оцінку Ksurv, перевірку обмежень та формування Парето-оптимального проєкту.

Висновки

1. Методологія реінжинірингу придатна для адаптації серійних аеродеривативних ГТУ типу UGT25000 до плавучих енергетичних платформ.
2. Дубль-блок 2×ГТД+2×КУ+1×ПТ відповідає суднобудівним обмеженням та забезпечує електричний ККД нетто 51,8–52,5 % і питому площадову потужність 45–55 кВт/м².
3. За результатами Марковського моделювання коефіцієнт готовності дубль-блоку становить 0,9889 проти 0,9848 у моноблока.
5. Багатокритеріальна оптимізація параметрів утилізаційного контуру забезпечує адаптацію ГТУ до альтернативних палив, зокрема водневих сумішей, аміаку та ЗПГ.

Література

[1] Floating power plant market size, share, growth, report 2025 to 2034, Cervicorn Consulting, 2025. URL: https://www.cervicornconsulting.com/floating-power-plant-market.

[2] O. Cherednichenko, M. Tkach, and S. Serbin, "Determination of floating power plant parameters for emergency conditions in the Dnieper Basin," in Proc. IEEE 5th Int. Conf. Modern Electrical Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, P. 1–4.

[3] V. Raja and K. J. Fernandes, Eds., Reverse Engineering: An Industrial Perspective. London, U.K.: Springer-Verlag, 2008.

[4] M. Palmén, A. Lotrič, A. Laakso, V. Bolbot, M. Elg, and O. A. Valdez Banda, “Selecting appropriate energy source options for an Arctic research ship” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 12, p. 2337, 2023, doi: 10.3390/jmse11122337.

ADAPTATION OF SERIAL GAS TURBINE UNITS TO THE OPERATING CONDITIONS OF A FLOATING POWER PLATFORM

Cherednichenko Oleksandr Kostiantynovych, Lychko Bohdan Mykhailovych, Korobyeynikova Natalya Vitaliivna, Kosorukov Yegor Yevhenovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper considers adaptation of serial aeroderivative gas turbine engines for floating power plants using re-engineering. A double-block topology with a common steam header is substantiated to meet shipbuilding constraints. Markov processes are used to assess reliability and functional survivability under equipment failures. The influence of hydrogen-containing fuels on heat recovery steam generator steam output and a multi-objective optimization approach are considered.

Keywords: floating power plant, gas turbine unit, re-engineering, double-block, functional survivability, Markov processes, alternative fuels.

УДК 621.4:620.9

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ПРОПУЛЬСИВНИХ УСТАНОВОК ПРИ СТВОРЕННІ СУЧАСНИХ БЕЗЕКІПАЖНИХ ПЛАТФОРМ

Волошин А.Ю.,
начальник механічного відділу, кандидат технічних наук,
office@srdsc.com
Стодоля О.В.,
начальник сектору енергетичних установок,
office@srdsc.com
ТОВ «Дослідно-проєктний центр кораблебудування»

Анотація. Створення сучасного ефективного флоту безекіпажних багатоцільових морських катерів (БЕК) у сучасних умовах є запорукою протистояння та перемоги противника на морі. Головними завданнями, які має вирішувати застосування безекіпажних морських багатоцільових платформ малої водотоннажності у даний час є розвідувальні, ударні, протикорабельні, транспортні і спеціальні. Побудова ефективних пропульсивних комплексів є одним із першочергових завдань при проєктуванні та побудові сучасних БЕК.

Ключові слова: Пропульсивна установка, використання палива, зберігання енергії, гібрид, акумулятор.

Гібридні головні енергетичні установки (ГЕУ) поєднують традиційні теплові двигуни з електричними машинами (ЕМ). Така ГЕУ поєднує в собі високу ефективність і високий ККД при повному навантаженні, які характерні для дизельних пропульсивних установок, а також зручність використання і якість регулювання швидкості при малому навантаженні, властиві для дизель-електричних установок.

Застосування на морських суднах та катерах сучасних пропульсивних установок (ПрУ) гібридного типу, які поєднують в собі сучасні методи ефективного використання палива та зберігання енергії є набором сучасних технологій що дозволяють забезпечити більше ніж 60 % паливної економічності сучасного судна. Відповідно до інформації, яка наводиться в останніх звітах DNV ціна на морські акумулятори зменшується і їх застосування дозволяє тепловим двигунам в ПрУ працювати ефективніше та споживати менше палива.

Для надводних безпілотних платформ пріоритетними є міжпроєктна уніфікація, енергоефективність та гнучка взаємодія між елементами ПрУ в складі системи керування.

Стрімкий розвиток акумуляторних технологій та збільшення питомої ємності вмісту енергії на одиницю ваги акумулятора, сприяло розвитку гібридних енергетичних морських установок. Для БЕК найчастіше використовують AGM та літій-іонні батареї. Останній тип набуває все більш широкого застосування завдяки наступним технічним характеристикам: необслуговувані, швидко заряджаються, мають високу питому енергоємність і захист від перезарядження.

Серед літій-іонних батарей, які відрізняються матеріалами катодів і анодів, для малих плавзасобів широко застосовують LiFePO4 (літій-залізо-фосфатні) та Li-NMC (літій-нікель-марганець-кобальтові). LiFePO4 надійніші, безпечніші й дешевші за Li-NMC, проте значно поступаються їм за масо-габаритними показниками. Тому вибір типу батареї для БЕК залежить від потрібної потужності, допустимих масо-габаритних і вартості.

Наприклад, за останньою інформацією Caterpillar Marine заплановано до випуску в цьому році нового типу морського літій-залізо-фосфатного акумуляторів з рідинним охолодженням та високою швидкістю розряджання.

Причини зростання інтересу до гібридних ПрУ (наприклад, для патрульних катерів і безекіпажних катерів) наступні: майже безшумне патрулювання та рух на окремих ділянках спеціалізованих місій в електричному режимі, можливий режим роботи установки з нульовими рівнями викидів в порту і за його межами, менша витрата палива на крейсерській швидкості, можливість прискорюватися за допомогою електричної енергії під час розгону та збільшення максимальної швидкості під час операцій з перехоплення та швидкого відходу з небезпечних акваторій. Підтвердженням наведеного вище є приклад сучасної гібридної ПрУ від Scania з трансмісією Marine Jet Power для патрульного катеру M17. Зазначена конфігурація забезпечує збільшення максимальної швидкості з 45 вуз до 50+ вуз при вмиканні електричного прискорення. Тривалість роботи акумуляторів становить близько 6-8 годин при швидкості 6-7 вуз при цьому відсутня необхідність застосування допоміжних генераторів. З встановленою ємністю акумулятора катер може бути безшумним у спокою і енергетична установка буде забезпечувати роботу більшості споживачів протягом 30–40 годин без підзарядки акумуляторів.

В світовому аспекті актуальність теми зумовлена екологічними вимогами та економічною ефективністю для малих суден. В рамках воєнного часу гібридні установки знаходять широке застосування за рахунок розширеної ходової циклограми та своїх позитивних властивостей.

У разі застосування гібридної ПрУ досягається мінімізація витрати палива, збільшення дальності плавання та автономності, забезпечення гнучкості роботи у різних експлуатаційних режимах. Наряду з покращеними екологічними показниками забезпечується безшумні та малопомітні режими руху БЕК.

В загальному випадку гібридна ПрУ, складається з наступних основних елементів: ДВЗ, з'єднання та муфта; гібридний модуль (ГМ); редуктор; електрична машина (ЕМ); валопровід; рушій. Основними світовими виробниками гібридних установок є наступні компанії: Electric & Hybrid Technologies (FNM Marine Diesel Engines); Baumüller Nürnberg GmbH; TRANSFLUID S.p.A., BetaMarine, Marine Jet Power. Для безекіпажних морських багатоцільових платформ малої водотоннажності завдяки своїм порівняно зменшеними масо-габаритним показникам, витратам палива та повітря, тепловиділенням, розглядаються дизелі наступних виробників: Yanmar, Nanni, Beta Marine, Cummins, Volvo Penta.

Для платформ БЕК характерними є наступні режими роботи гібридної ПрУ:

– **Electric Mode** (Електричний хід). ДВЗ від'єднаний муфтою від ГМ, а вал редуктора обертається тільки від ЕМ.

Передача енергії відбувається за схемою:

Батарея → Інвертор → ЕМ → ГМ → Гвинт

Переваги: нульові викиди, практично безшумна робота, зручно для маневрування в порту та руху на малих швидкостях.

– **Diesel Mode** (Дизельний хід + електрогенерування). Муфта в зачеплені, дизель приводить гвинт. ЕМ працює як генератор та заряджає батарею.

Передача енергії відбувається за схемою:

ДД → ГМ → Гвинт

↓

ЕМ (генератор)

↓

Батарея

Особливості: потужність електрогенерації напряму залежить від обертів двигуна, невеликий зарядний струм при низьких обертах, максимальна генерація досягається поблизу номінальних обертів ДВЗ.

– **Booster Mode** (Гібридний розгін). ДВЗ і ЕМ одночасно працюють на гребний вал.

Передача енергії відбувається за схемою:

ДД ─┐

├─→ Редуктор → Гвинт

ЕМ ─┘

Особливості: додатковий крутний момент покращений розгін, можливість встановити двигун меншої потужності, компенсація пікових навантажень.

Слід звернути увагу, що можливі наступні додаткові практичні режими.

– **Shaft Generator Mode.** Режим більш орієнтований на зарядку АКБ. Під час руху під дизелем електромашина працює генератором для заряджання АКБ і живлення суднової мережі через інвертор.

– **Hotel Mode** Режим стоянки на якорі або в очікуванні – живляться тільки спеціальні пристрої та навігація.

Передача енергії відбувається за схемою:

Батарея → Інвертор → Суднова електромережа

Деякі схеми реалізації гібридних ПрУ для надводних БЕК на базі ГМ компаній TRANSFLUID (з окремо встановленим ЕМ) , Baumüller Nürnberg GmbH (з лінійним розміщенням компонентів) наведено на рисунку 1.

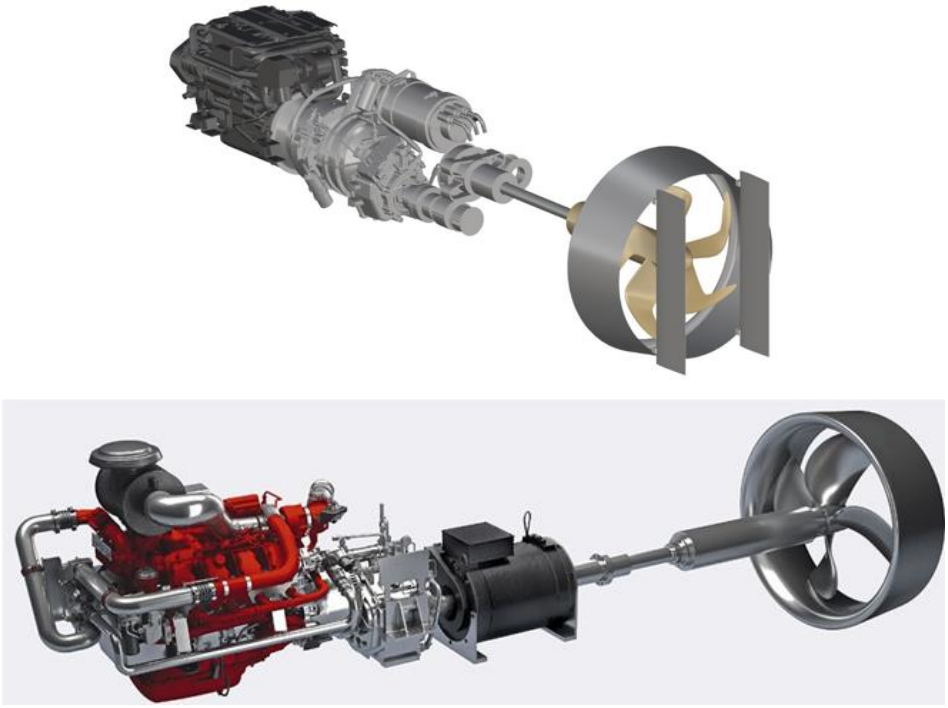


Рисунок 1 – Схеми компонування гібридних ПрУ

Узагальнений графік витрати палива дизель-гібридної ПрУ в залежності від навантаження та її режиму роботи наведено на рисунку 2.

Висновок. Застосування ПрУ гібридного типу у складі БЕК є абсолютно новою та найбільш розвиненою за насиченістю механізмами та обладнанням установкою, яка забезпечує підвищену дальність плавання, економію палива, резервування, збільшення режимів роботи. Але наряду з цим зазначені вище переваги потребують вирішення наступних питань: розміщення та інтеграція більшої кількості обладнання та механізмів, поєднання різних джерел енергії, побудова складної системи керування та електроенергетичної системи. Також до недоліків такого типу пропульсивних установок можна віднести втрати потужності при додаткових перетвореннях енергії, збільшення загальної маси та вартості ПрУ.

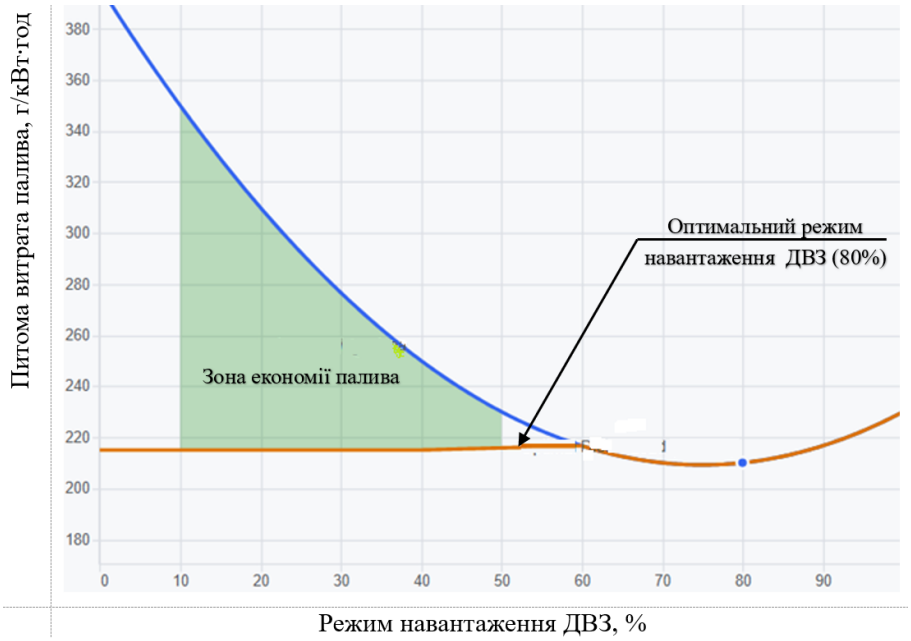


Рисунок 2 – Узагальнений графік витрати палива дизель-гібридної ПрУ

THE USE OF HYBRID PROPULSION SYSTEMS IN THE DESIGN OF MODERN UNMANNED PLATFORMS

Andrii Yuriyovych Voloshyn, Oleksandr Viktorovych Stodolya
Research and Design Shipbuilding Centre, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The creation of a modern, effective fleet of unmanned multi-purpose patrol boats in today's environment is key to countering and defeating the enemy at sea. The main tasks to be addressed by the deployment of unmanned, multi-purpose, light-displacement maritime platforms at present are reconnaissance, strike, anti-ship, transport and special operations. The development of effective propulsion systems is one of the priority tasks in the design and construction of modern USV.

Keywords: Propulsion system, fuel consumption, energy storage, hybrid, battery.

УДК 621.438

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДООКСИДНОГО ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА У СКЛАДІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ ІЗ СІРКОВОДНЮ

Ткач М.Р.,
д-р техн. наук, проф., mykhaylo.tkach@nuos.edu.ua
Тимошевський Б.Г.,
д-р техн. наук, проф., borys.tymoshevskyi@nuos.edu.ua
Митрофанов О.С.,
д-р техн. наук, проф., mitrofanov.al.ser@gmail.com
Проскурін А.Ю.,
канд. техн. наук, доц., arkadii.proskurin@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна, Миколаїв

Анотація. Розглянуто використання твердооксидного паливного елемента (ТОПЕ) у складі енерготехнологічної установки, у якій водень одержують термохімічною деструкцією сірководню. На основі математичної моделі електрохімічних процесів визначено параметри роботи ТОПЕ залежно від ступеня конверсії сірководню. За витрати водню 0,001048 кг/с розрахункова електрична потужність становить 92,4 кВт, а термодинамічний ККД енергоперетворення – 0,725.

Ключові слова: сірководень; водень; твердооксидний паливний елемент; термохімічний реактор; енерготехнологічна установка.

Вступ. Одержання водню із сірководню глибинних вод Чорного моря дає змогу поєднати видобування й переробку цієї сполуки з виробництвом електричної енергії. У запропонованій енерготехнологічній установці сірководень відокремлюють від морської води, подають до підсистеми термохімічної деструкції, а утворений водень використовують як паливо для ТОПЕ [1, 2]. Ефективність такої схеми залежить від ступеня конверсії сірководню та електрохімічних характеристик паливного елемента.

Мета роботи – проаналізувати можливість використання ТОПЕ для генерації електричної енергії з водню, одержаного в установці термохімічного розкладання сірководню, та визначити основні показники його роботи.

Основна частина. Після сепарації сірководень попередньо нагрівають у теплообміннику-регенераторі та подають до термохімічного реактора. У реакторі відбувається розкладання сірководню з утворенням водню й сірки. Вихідну суміш охолоджують, відокремлюють сірку, а залишковий H_2S після сепарації повертають до підсистеми деструкції. Відділений водень надходить до ТОПЕ, де з нього виробляють електроенергію.

Математичну модель ТОПЕ побудовано на матеріальному й енергетичному балансах та описі електрохімічних процесів. Електрорушійну силу визначено за рівнянням Нернста; для вихідної напруги враховано омічні, активаційні й концентраційні втрати [3, 4]. Розрахунок проведено для температури реакції 1023 К і тиску 111457,5 Па. За цих умов розрахункова електрорушійна сила становить 0,932 В.

Для розглянутої установки витрата сірководню становить 0,0178 кг/с. Зі збільшенням ступеня його конверсії зростають витрата одержуваного водню, необхідна витрата повітря та вихідна потужність ТОПЕ. За повної конверсії сірководню розрахункова витрата водню дорівнює 0,001048 кг/с (3,775 кг/год), а максимальна потужність ТОПЕ досягає 92,4 кВт. Термодинамічний ККД перетворення енергії водню в паливному елементі становить 0,725. Наведені показники отримано розрахунковим шляхом для прийнятих параметрів моделі; вони характеризують роботу ТОПЕ, а не сумарний ККД усієї установки.

Висновки. Математичне моделювання підтвердило можливість використання ТОПЕ для виробництва електричної енергії з водню, отриманого термохімічною деструкцією сірководню. За умов повної конверсії H2S у розглянутій установці розрахункова потужність паливного елемента становить 92,4 кВт при витраті водню 3,775 кг/год. Подальше оцінювання енергетичної ефективності потребує врахування витрат енергії на видобування, нагрівання, сепарацію та допоміжне обладнання установки.

Література

[1] Михайлюк О. Л. Перспективи використання енергетичного потенціалу сірководню Чорного моря. *Науковий вісник ОНЕУ*. 2012. № 21 (173). С. 91–100.

[2] Спосіб видобування сірководню з глибинних вод Чорного моря : пат. 140551 Україна / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, А. Ю. Проскурін, Ю. М. Галинкін. Опубл. 10.03.2020, Бюл. № 5.

[3] Stambouli A. B., Traversa E. Solid oxide fuel cells (SOFCs): a review of an environmentally clean and efficient source of energy. (2002). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 6, P. 433–455.

[4] Aguiar P., Adjiman C. S., Brandon N. P. Anode-supported intermediate temperature direct internal reforming solid oxide fuel cell. I: model-based steady-state performance (2004). *Journal of Power Sources*, Vol. 138, P. 120–136.

ANALYSIS OF THE USE OF A SOLID OXIDE FUEL CELL IN A PLANT FOR HYDROGEN PRODUCTION FROM HYDROGEN SULFIDE

M.R. Tkach, B.G. Tymoshevskyi, O.S. Mitrofanov, A.Yu. Proskurin

Admiral Makarov National University of Shipbuilding Ukraine, Mykolaiv

Abstract. The use of a solid oxide fuel cell (SOFC) as part of an energy technology plant producing hydrogen by thermochemical decomposition of hydrogen sulfide is considered. A mathematical model of the electrochemical processes was used to determine SOFC performance as a function of the hydrogen sulfide conversion degree. At a hydrogen flow rate of 0.001048 kg/s, the calculated electrical output is 92.4 kW and the thermodynamic energy conversion efficiency is 0.725. The fuel cell converts the produced hydrogen into electricity.

Keywords: hydrogen sulfide; hydrogen; solid oxide fuel cell; thermochemical reactor; energy technology plant.

УДК 531

ФОРМИ ТА ЧАСТОТИ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ПОРШНЯ МОТОЦИКЛЕТНОГО ДВИГУНА

Ткач М.Р.,
доктор технічних наук, професор
завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
mykhaylo.tkach@gmail.com
Галинкін Ю.М.,
кандидат технічних наук,
викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
yurii.galynkin@nuos.edu.ua
Монахов А.А.,
аспірант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
monachow88@gmail.com
Семенов Н.М.,
аспірант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
Nikizver15@gmail.com

Анотація. Робота присвячена дослідному та розрахунковому визначенню динамічних характеристик поршня двотактного мотоциклетного двигуна з робочим об'ємом близько 12 см^3. Розглянуто особливості формування вібраційних навантажень у кривошипно-шатунному механізмі під дією газових, інерційних та відцентрових сил. Для запобігання резонансним явищам застосовано метод спекл-інтерферометрії реального часу на стенді з DPSS-лазером потужністю 5 мВт. У результаті випробувань у діапазоні 0–10 кГц виявлено п'ять власних форм коливань деталі. Відхилення між експериментальними та розрахунковими даними не перевищує 2 %, що підтверджує високу точність розробленої моделі.

Ключові слова: власні коливання, частоти коливань, поршень, спеклінтерферометрія, комп'ютерне моделювання.

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) залишаються одними з найпоширеніших автономних енергетичних установок, що забезпечують високоефективне перетворення хімічної енергії вуглеводневого або альтернативного палива на механічну роботу. Така фундаментальна позиція в машинобудуванні пояснюється унікальним балансом між високою питомою потужністю, енергетичною щільністю та високим рівнем експлуатаційної надійності.

Висока надійність сучасних ДВЗ є результатом багатьох десятиліть конструкторського вдосконалення та технологічного відпрацювання їхніх вузлів. У більшості класичних компоновок основними робочими ланками виступають елементи кривошипно-шатунного механізму (КШМ), який здійснює безпосередню трансформацію зворотно-поступального руху поршня у обертовий рух колінчастого вала.

Специфіка функціонування ДВЗ полягає в глибокій циклічності робочих процесів (впуск, стиск, розширення/робочий хід, випуск). Ця періодичність у поєднанні з кінематикою КШМ призводить до виникнення суттєвих змінних за часом газових і значних інерційних сил, що діють на елементи циліндро-поршневої групи:

Основоположними чинниками виникнення інтенсивних динамічних навантажень у двигуні є циклічні зміни тиску газів, які створюють ударні імпульси безпосередньо на днище поршня під час спалювання паливно-повітряної суміші, а також сили інерції, що формуються внаслідок постійного прискорення й гальмування мас поршневої групи та верхньої головки шатуна під час їхнього зворотно-поступального руху. Додатковий негативний вплив чинять відцентрові сили, зумовлені обертанням неурівноважених мас колінчастого вала та нижньої головки шатуна, що в сукупності комплексно дестабілізує робочий режим силового агрегату та генерує підвищені вібраційні поля. Поєднання всіх силових факторів генерує інтенсивні вібраційні поля. Динамічні коливання не лише погіршують комфорт експлуатації та підвищують акустичне випромінювання, але й виступають головною причиною втомного руйнування деталі, локальної концентрації напружень та прискореного зносу сполучених поверхонь [1].

Особливу небезпеку для цілісності цих деталей становить збіг частоти вимушених коливань, зумовлених робочим циклом двигуна, з власними частотами коливань самих конструктивних елементів. Виникнення резонансу супроводжується різким зростанням амплітуд деформацій та еквівалентних напружень, що може призвести до швидкого втомного мікротріщиноутворення та раптового руйнування вузла. Тому визначення та врахування спектра власних частот і відповідних їм форм коливань є обов'язковим етапом як на стадії проєктування нових силових агрегатів, так і в процесі віброакустичної діагностики та оцінки залишкового ресурсу вже працюючих конструкцій [2].

В дослідженні обрано поршень одноциліндрового мотоциклетного двигуна двотактного типу, обладнаного системою повітряного охолодження. Робочий об'єм даної силової установки становить близько 12 см^3, максимальна потужність 7,5 кВт. Втрати потужності мінімізуються за рахунок безпосереднього агрегатування вузла з чотириступінчастою механічною коробкою передач. Функціональна специфіка даної конструкції зумовлена відсутністю класичного клапанного механізму газорозподілу. Його роль виконує безпосередньо юбка поршня, зовнішня циліндрична поверхня якої під час зворотно-поступального руху почергово перекриває та відкриває впускні, продувальні й випускні вікна, розташовані у гільзі циліндра.

Для досягнення поставленої мети використано високотехнологічний метод дослідження – спеклінтерферометрію реального часу, що належить до оптичних методів неруйнівного контролю [3]. Цей підхід забезпечує можливість отримання надточної інформації про поведінку об'єкта без втручання у його структуру.

Результати досліджень у діапазоні 0…8 кГц представлено на рис. 1

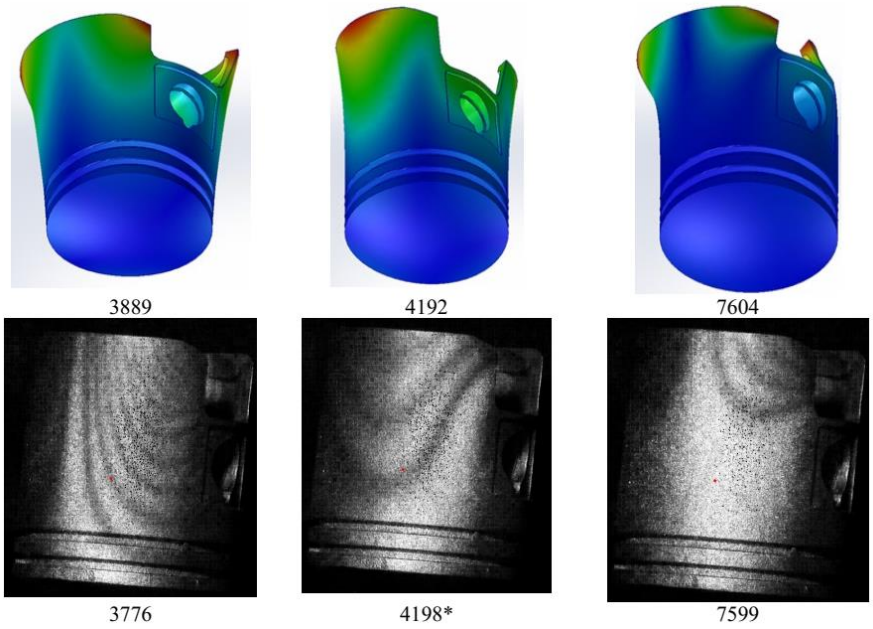


Рисунок 1 – Форми коливань поршня двотактного двигуна

Висновки. Таким чином, проведене дослідження демонструє ефективність застосування сучасних оптичних методів у задачах ідентифікації коливальних характеристик виробів машинобудування. У діапазоні 0…10 кГц отримано п'ять форм власних коливань розрахунково та експериментальним методом. Отримані данні дозволяють стверджувати про високу геометричну точність розробленої моделі, середньоквадратичне відхилення власних коливань не перевищує 2 %.

Література

[1] Bhalwankar, N., Aslekar, Y., Rautmare, S. (2016), Effect of Design Modifications of Piston Crown on Modal and Harmonic Response Analysis of Bajaj Kawasaki Four Strokes, Air Cooled, Diesel Engine Piston Using Finite Element Analysis. Int. J. Eng. Res. Dev., Vol. 12, Iss. 10, P. 58–66.

[2] Zavos, A. (2024), Investigation of the piston vibration modes of high-performance 2.2 L gasoline engine under different skirt lengths. Vib. Phys. Syst., Vol. 35, Iss. 2, Art. 2024220. https://doi.org/10.21008/j.0860-6897.2024.2.20

[3] Tkach M.R., Zolotiy Yu.G., Dovgan D.V., Guk I.Yu. (2015), Patent: Method of determining of forms of resonant vibrations shapes of blades of gas turbine engine by speckle interferogram, UA 103068.

SHAPES AND FREQUENCIES OF NATURAL VIBRATIONS OF A MOTORCYCLE ENGINE PISTON

Tkach Mykhailo, Yurii Halynkin, Andriy Monachov, Nikita Semenov
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The work is devoted to the experimental and computational determination of the dynamic characteristics of the piston of a two-stroke motorcycle engine with a working volume of about 124 cm3. The features of the formation of vibration loads in the crank mechanism under the action of gas, inertial and centrifugal forces are considered. To prevent resonance phenomena, the method of real-time speckle interferometry is applied on a stand with a DPSS laser with a power of 5 mW. As a result of tests in the range of 0–10 kHz, five natural forms of oscillations of the part were detected. The deviation between the experimental and computational data does not exceed 2 %, which confirms the high accuracy of the developed model.

Ключові слова: natural oscillations, oscillation frequencies, piston, speckle interferometry, computer modeling.

УДК 621.438

АНАЛІЗ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН МАКСИМАЛЬНОГО ТИСКУ ЗГОРЯННЯ НА НОРМАЛЬНІСТЬ ПРИ РОБОТІ ДВЗ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

Митрофанов О.С.,
д-р техн. наук, проф., mitrofanov.al.ser@gmail.com
Проскурін А.Ю.,
канд. техн. наук, доц., arkadii.proskurin@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна, Миколаїв

Анотація. Подано аналіз закону розподілу ймовірностей випадкових величин максимального тиску згоряння на нормальність при застосуванні різних видів палива у двигуні внутрішнього згоряння з примусовим запалюванням. Застосовуючи поєднання експериментального підходу зі статистичним аналізом великої вибірки індикаторних діаграм підтверджено відповідність розподілу максимального тиску згоряння нормальному закону за критерієм χ^2. *Визначено, що значення критерію χ^2 у найбільш нестабільному* випадку роботи двигуна зі ступенем нерівномірності робочого циклу 0,128 становило 3,427, що в 3,23 рази нижче за критичне значення для довірчої ймовірності 0,95 та ступеня свободи 5.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння з примусовим запалюванням; синтез-газ; максимальний тиск згоряння; нормальний закон розподілу ймовірностей випадкових величин; критерій відповідності.

Вступ. Аналіз робочого циклу двигуна, а також точність результатів розрахунку параметрів, що дають уявлення про закономірності зміни тепловиділення, температури в циліндрі та інших характеристик, здійснюються на основі обробки достовірних експериментальних індикаторних діаграм. При цьому важливо враховувати циклову нестабільність робочого процесу, а також усунути помилки, допущені під час зняття та обробки даних [1; 2].

Отримання та обробка достовірних експериментальних індикаторних діаграм двигунів здійснюються із застосуванням спеціально розроблених методик, що враховують ряд факторів, починаючи від особливостей реалізації робочого циклу і закінчуючи конструкцією [3; 4]. При цьому виникає необхідність в обробці значного масиву експериментальних даних, очищенні їх від систематичних помилок, проведенні специфічних розрахунків, пов’язаних з виконанням статистичного аналізу вимірюваних індикаторних діаграм, а також отриманні усередненої індикаторної діаграми [5]. На точність результатів розрахунку, отриманих під час аналізу такої усередненої діаграми, суттєво впливає вибір кількості одиничних циклів, що забезпечує достатній ступінь усереднення індикаторної діаграми. Завдання вибору кількості одиничних циклів вирішується методами математичної статистики залежно від ступеня нерівномірності робочого циклу.

Мета роботи – аналіз закону розподілу ймовірностей випадкових величин максимального тиску згоряння на нормальність при застосуванні різних видів палива у ДВЗ із примусовим запалюванням.

Основна частина. На першому етапі дослідження було отримано ряд індикаторних діаграм часткових режимів роботи двигуна 2Ч 7,2/6 із примусовим запалюванням на різних видах палива та при різних значеннях коефіцієнта надлишку палива.

Довірчі оцінки результатів експериментальних досліджень роботи двигуна 2Ч 7,2/6 із примусовим запалюванням базуються на гіпотезі про нормальність розподілу випадкових похибок вимірювання, у зв'язку із чим їх можна використовувати доти, доки отримані результати експерименту не суперечать цій гіпотезі. У зв'язку з неідентичністю наступних робочих циклів двигуна 2Ч 7,2/6, а особливо на режимах часткових навантажень, перед проведенням статистичного аналізу отриманих індикаторних діаграм необхідно виконати оцінку закону розподілу ймовірностей випадкових величин P_z^i на нормальність.

Для перевірки нормальності закону розподілу ймовірностей випадкових величин P_z^i використовується критерій відповідності χ^2 (хі-квадрат):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{l} \left(\frac{m_i - np_i}{np_i} \right)^2,$$

де l – кількість інтервалів, що охоплюють усю вісь $(-\infty; x_1)$, $(x_1; x_2)$,…, $(x_{l-1}; +\infty)$; n – загальна кількість результатів вимірювань ($n = m_1 + m_2 + \ldots + m_l$); m_i – кількість результатів вимірювання, що потрапили у відповідний інтервал; p_i – імовірність потрапляння у відповідний інтервал за нормального закону розподілу ймовірностей.

Імовірність потрапляння значення максимального тиску згоряння i-ї індикаторної діаграми у відповідний інтервал за нормального закону розподілу ймовірностей визначається як

$$p_i = \Phi(t_i) - \Phi(t_{i-1}), \text{ або } p_i = \Phi\left(\frac{P_z^i - \overline{P_z}}{s} \right) - \Phi\left(\frac{P_z^{i-1} - \overline{P_z}}{s} \right),$$

де $\overline{P_z}$ – середнє арифметичне значення максимального тиску згоряння; P_z^i – максимальний тиск згоряння i-ї індикаторної діаграми; s – середньоквадратична похибка (емпіричний стандарт); $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-0,5t^2} dt$ – інтеграл імовірностей.

Перед перевіркою закону розподілу ймовірностей випадкових величин P_z^i на нормальність результати виміряних значень максимального тиску згоряння були згруповані за інтервалами, що охоплюють усю вісь $(-\infty; +\infty)$. При цьому кількість значень максимального тиску згоряння в кожному обраному інтервалі була приблизно однаковою. Кількість інтервалів становила $l = 8$.

Результати перевірки нормальності закону розподілу ймовірностей випадкових величин за допомогою критерію відповідності χ^2 наведено на рис. 1. Отримане значення критерію відповідності χ^2 навіть у найгіршому випадку значно менше за критичне значення ($\chi^2 = 11,07$) при довірчій ймовірності $P = 0,95$ і ступені свободи $k = l - 3 = 5$.

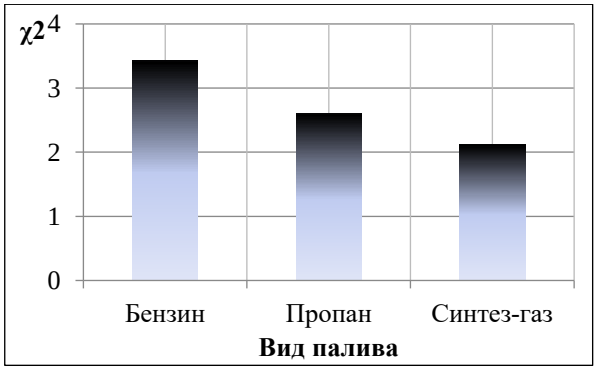


Рисунок 1 – Перевірка нормальності закону розподілу ймовірностей випадкових величин при використанні різних видів палива двигуном 2Ч 7,2/6

Крім того, доцільно оцінити мінімально необхідну кількість вимірювань під час наступних робочих циклів двигуна 2Ч 7,2/6 при використанні різних видів палива. Оскільки від загальної кількості вимірювань $n_{вим}$ безпосередньо залежать надійність довірчих оцінок і величина довірчого інтервалу для істинного значення тиску згоряння, мінімально необхідну кількість вимірювань для досягнення необхідної надійності та точності є можна оцінити за допомогою виразу

$$n \geq \left[\frac{t(P)}{\varepsilon}\right]^2 \sigma^2,$$

де $t = t(P)$ визначається відповідно до рівності інтеграла ймовірностей $2\Phi(t) = P$.

Мінімально необхідна кількість виміряних послідовних індикаторних діаграм двигуна 2Ч 7,2/6 при використанні різних видів палива з довірчою ймовірністю $P = 0{,}95$ і точністю вимірювання $\varepsilon = \pm 4\,\%$ наведена на рис. 2.

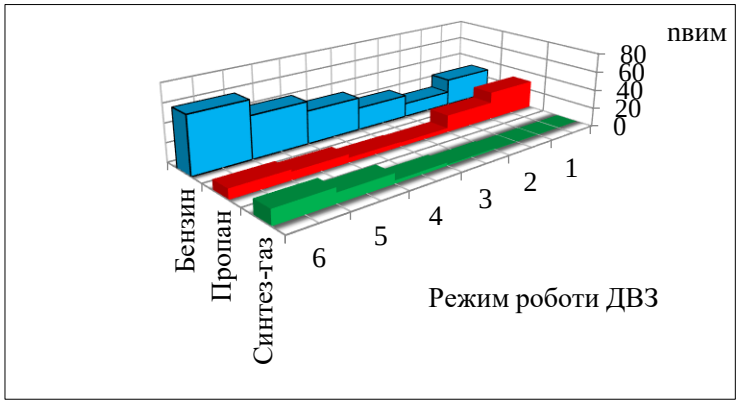


Рисунок 2 – Мінімально необхідна кількість індикаторних діаграм двигуна 2Ч 7,2/6 при використанні різних видів палива ($P = 0{,}95$; $\varepsilon = \pm 4\,\%$)

В умовах проведення експерименту мінімальна кількість послідовно виміряних індикаторних діаграм на всіх режимах роботи двигуна 2Ч 7,2/6 становила $n_{вим} = 100$, що є більше ніж достатнім для забезпечення точності отриманих результатів.

Висновки

1. Установлено, що значення максимального тиску згоряння, отримані на послідовних експериментальних індикаторних діаграмах двигуна з примусовим запалюванням за критерієм χ^2, відповідають закону нормального розподілу випадкових похибок.
2. Визначено, що значення критерію χ^2 у найбільш нестабільному випадку (під час роботи на бензині з $\delta = 0{,}128$) становило 3,427, що в 3,23 рази нижче за критичне значення для довірчої ймовірності 0,95 та ступеня свободи 5.
3. Оцінка мінімально необхідної кількості виміряних послідовних індикаторних діаграм і низькі значення ступеня нерівномірності робочого циклу під час роботи на синтез-газі показали, що при обробці експериментальних діаграм з $n_{вим}$ достатньо буде взяти кілька з них, у яких $P_z \approx \overline{P_z}$, що значно спрощує та прискорює процес обробки великого масиву даних.

Література

[1] Kosmadakis, G. M., Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D. (2021). Assessing the cyclic-variability of spark-ignition engine running on methane-hydrogen blends with high hydrogen contents of up to 50 %. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (34), 17 May 2021, 17955–17968. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921007151

[2] Azeem, N., Beatrice, C., Vassallo, A., Pesce, F., Gessaroli, D., Biet, C., Guido, C. (2024). Experimental study of cycle-by-cycle variations in a spark ignition internal combustion engine fueled with hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 60, 22 March 2024, 1224-1238. https://www.sciencedirect.com/science/ article/pii/S0360319924006049

[3] Martínez-Boggio, S. D., Curto-Risso, P. L., Medina A., Hernández A. C. (2016). Simulation of cycle-to-cycle variations on spark ignition engines fueled with gasoline-hydrogen blends. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (21), 8 June 2016, 9087–9099.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319916302282

[4] Kosmadakis, G. M., Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D. (2023). Effect of Two Mechanisms Contributing to the Cyclic Variability of a Methane–Hydrogen-Fueled Spark-Ignition Engine by Using a Fast CFD Methodology. *Journal of Energy Engineering*, 149 (1), February 2023. https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JLEED9.EYENG-4620

[5] Cuisano, J., Flores, F., Chirinos, L., Vaudrey, A. (2022). In-cylinder pressure statistical analysis and digital signal processing methods for studying the combustion of a natural gas/diesel heavy-duty engine at low load conditions. *Energy Conversion and Management*, 269, 1 October 2022, 116089. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890422008755

ANALYSIS OF THE PROBABILITY DISTRIBUTION FUNCTION OF RANDOM VARIABLES REPRESENTING MAXIMUM COMBUSTION PRESSURE FOR NORMALITY DURING INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATION ON VARIOUS TYPES OF FUEL

O.S. Mitrofanov, A.Yu. Proskurin
Admiral Makarov National University of Shipbuilding Ukraine, Mykolaiv

Abstract. This paper presents an analysis of the probability distribution of the maximum combustion pressure for normality when using different types of fuel in a spark-ignition internal combustion engine. By combining an experimental approach with statistical analysis of a large sample of indicator diagrams, it was confirmed that the distribution of the maximum combustion pressure conforms to a normal distribution according to the χ^2 criterion. It was determined that the value of the χ^2 statistic in the most unstable case of engine operation, with a working cycle unevenness factor of 0.128, was 3.427, which is 3.23 times lower than the critical value for a confidence level of 0.95 and 5 degrees of freedom.

Keywords: internal combustion engine with forced ignition; synthesis gas; maximum combustion pressure; normal distribution of random variables; conformity criterion.

УДК 621.438

АНАЛІЗ СТУПЕНЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВЗ ПРИ РОБОТІ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

Митрофанов О.С.,
д-р техн. наук, проф., mitrofanov.al.ser@gmail.com
Проскурін А.Ю.,
канд. техн. наук, доц., arkadii.proskurin@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна, Миколаїв

Анотація. Розглянуто вплив використовуваного палива та співвідношення паливо-повітряної суміші на ступінь нерівномірності робочого циклу ДВЗ із примусовим запалюванням. Показано, що наявність водню в складі синтез-газу значно зменшила ступінь нерівномірності робочого циклу ДВЗ із примусовим запалюванням. Установлено, що мінімальне значення ступеня нерівномірності робочого циклу ДВЗ із примусовим запалюванням спостерігається в межах коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 1{,}05…1{,}25$. По мірі збіднення *паливо-повітряної* суміші спостерігається поступове зростання ступеня нерівномірності робочого циклу. При досягненні $\alpha \approx 2$ нерівномірність робочого циклу ДВЗ із примусовим запалюванням на синтез-газі досягає мінімального значення нерівномірності при роботі на бензині з $\alpha = 0{,}9…1{,}0$.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння з примусовим запалюванням; синтез-газ; водень; паливо-повітряна суміш; нерівномірність робочого циклу.

Вступ. Циклова нестабільність робочого циклу двигуна внутрішнього згоряння залежить від багатьох факторів [1]. Так, наприклад, на режимах холостого ходу та малих навантажень ступінь нерівномірності робочого циклу зростає і, відповідно, потрібна більша кількість послідовних циклів для отримання усередненої індикаторної діаграми. Крім того, на ступінь нерівномірності робочого процесу істотно впливають вид палива [2–7], що використовується (особливо альтернативного), та коефіцієнт надлишку повітря [3]. Поряд із зазначеними факторами зростання використання альтернативних видів палива в загальному балансі енергоспоживання найбільшою мірою зумовлює актуальність подальшого проведення теоретичних та експериментальних досліджень у цій галузі.

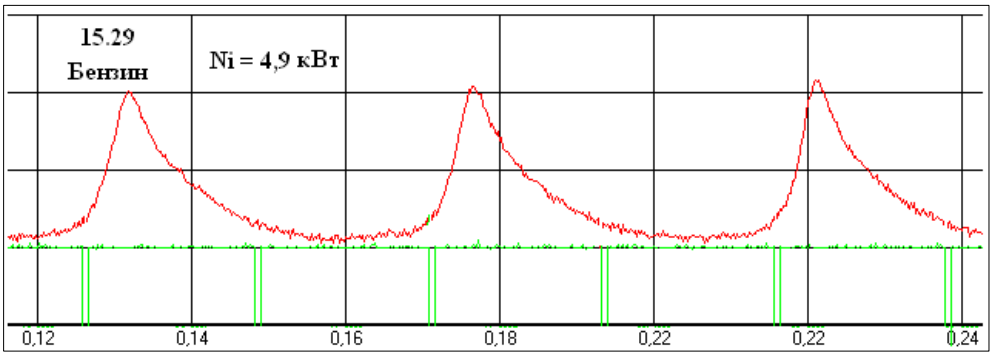
Мета роботи – на базі експериментальних досліджень проаналізувати вплив використовуваного палива та співвідношення паливо-повітряної суміші на ступінь нерівномірності робочого циклу ДВЗ із примусовим запалюванням.

Основна частина. Під час проведення серії випробувань на двигуні з примусовим запалюванням 2Ч 7,2/6 використовувалися такі види палива: бензин марки АІ-95, пропан-бутан, синтез-газ. Склад синтез-газу визначався за допомогою хроматографа Neo CHROM Class B.

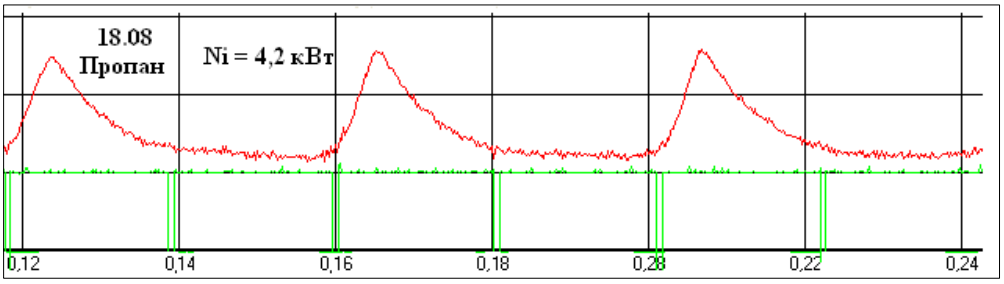
Основними складовими компонентами синтез-газу є водень (43 % за об’ємом), монооксид вуглецю (34 %) та метан (23 %). Питома нижча теплота згоряння такого складу синтез-газу становила 28,79 МДж/кг, а густина – 0,629 кг/м³. Наявність вільного водню (у даному випадку в складі синтез-газу) істотно змінює фізико-хімічні властивості паливно-повітряної суміші. У порівнянні з бензином наявність 43 % водню за

об'ємом у складі синтез-газу значно збільшує нормальну швидкість згоряння (0,9 м/с при α = 1), а також істотно розширює концентраційні межі займання паливно-повітряної суміші.

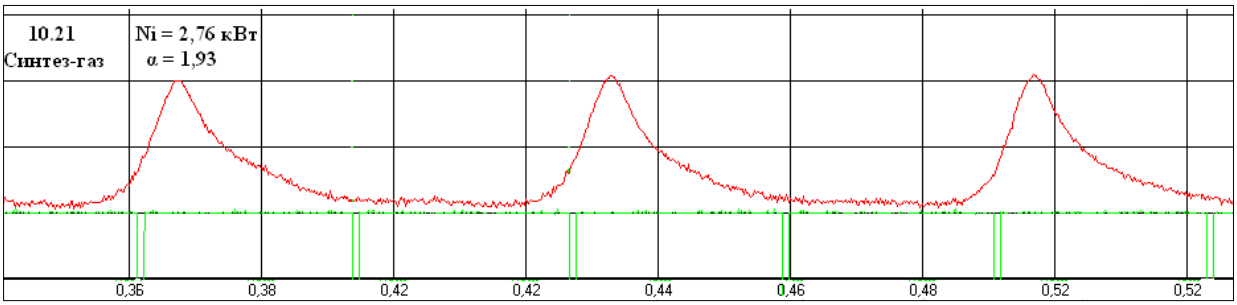
На рис. 1 наведено приклади фрагментів прямих вимірювань індикаторного тиску в циліндрі двигуна 2Ч 7,2/6 під час роботи на різних видах палива. Унаслідок фізико-хімічних властивостей водню для забезпечення нормальної та стабільної роботи двигуна на синтез-газі значення кута випередження запалювання Θ регулювалося в досить широкому діапазоні (Θ = 20…10° п.к.в. до ВМТ). Регулювання Θ забезпечило стабільну роботу двигуна без виникнення самозаймання, зворотних спалахів, детонації та різкого наростання тиску в робочому циліндрі. При цьому максимальний тиск згоряння та положення максимуму тиску після ВМТ не перевищували значень роботи двигуна на бензині. Зміна фаз газорозподілу на двигуні під час використання синтез-газу не здійснювалася.



а



б



в

Рисунок 1 – Фрагменти послідовних робочих циклів двигуна 2Ч 7,2/6 під час роботи на різних видах палива: а – бензин; б – пропан-бутан; в – синтез-газ

Ступінь нерівномірності робочого циклу визначається як

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{n_{вим}} \left| P_z^i - \overline{P_z} \right|}{n_{вим}\, \overline{P_z}},$$

де $\overline{P_z}$ – середнє арифметичне значення максимального тиску згоряння; P_z^i – максимальний тиск згоряння i-ї індикаторної діаграми; $n_{вим}$ – загальна кількість вимірювань.

У результаті аналізу значної кількості послідовних робочих циклів двигуна з іскровим запалюванням 2Ч 7,2/6 під час роботи на різних видах палива було отримано залежності ступеня нерівномірності від складу паливно-повітряної суміші (рис. 2).

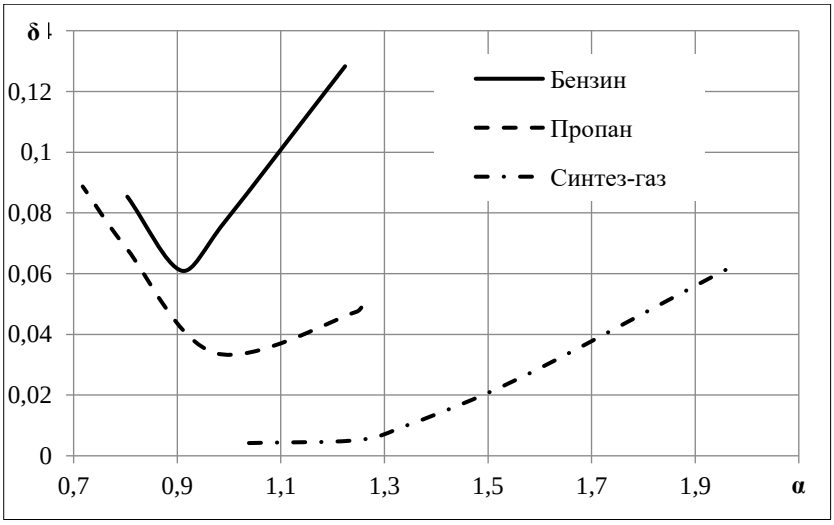


Рисунок 2 – Залежність ступеня нерівномірності робочого циклу двигуна 2Ч 7,2/6 від коефіцієнта надлишку повітря під час роботи на різних видах палива

Під час роботи двигуна 2Ч 7,2/6 на синтез-газі ступінь нерівномірності робочого циклу значно знижується. Мінімальний ступінь нерівномірності робочого циклу знаходиться в межах α = 1,05…1,25, а наявні відхилення пояснюється, насамперед, незначними коливаннями моменту подачі іскри запалювання відносно верхньої мертвої точки.

При збільшенні α (збіднення суміші) ступінь нерівномірності під час роботи на синтез-газі зростає і досягає мінімального значення нерівномірності робочого циклу під час роботи на бензині з коефіцієнтом надлишку повітря 0,9…1,0. Фактично вища рівномірність перебігу робочого циклу двигуна під час роботи на синтез-газі дозволяє зміщувати максимум індикаторного ККД в область бідніших паливо-повітряних сумішей.

Висновки

1. Визначено, що на нерівномірність робочого циклу двигуна з іскровим запалюванням значний вплив мають коефіцієнт надлишку повітря та наявність вільного водню у складі використовуваного палива.
2. Установлено, що під час роботи двигуна на стандартних видах палива в області бідних сумішей спостерігається значне збільшення ступеня нерівномірності робочого циклу (в деяких випадках навіть окремі пропуски згоряння), а під час роботи на синтез-газі явище пропусків згоряння було відсутнє на всіх замірах, що обумовлено досить широкими межами займання паливо-повітряної суміші, високими значеннями нормальної швидкості згоряння водню, а також значенням мінімально необхідної енергії займання (0,02 МДж проти 0,26…0,28 для стандартних видів палива).
3. Установлено, що під час роботи двигуна на синтез-газі ступінь нерівномірності робочого циклу є найменшим порівняно з іншими випробуваними видами палива. При цьому мінімальне значення δ спостерігається в межах α = 1,05…1,25. У міру збіднення суміші δ для синтез-газу зростає і в межах α ≈ 2 досягає мінімального значення нерівномірності робочого циклу двигуна, що працює на бензині з α = 0,9…1,0.

Література

[1] Duan, X., Feng, L. Xia, Y. (2024). The mechanism and effect factors of the combustion cycle-to-cycle variations in the spark ignition engine. *Energy Science & Engineering*, 12 (10), October 2024, 4773–4787. https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.1879

[2] Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Kosmadakis, G. M., Mavropoulos, G. C. (2024). Assessing the cyclic variability of combustion and NO emissions in hydrogen-methane fueled HSSI engine via quasi-dimensional modeling under the influence of flame-kernel turbulence and equivalence ratio variation mechanisms. *Energy*, 288, 1 February 2024, 129813. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544223032073

[3] Azeem, N., Beatrice, C., Vassallo, A., Pesce, F., Gessaroli, D., Biet, C., Guido, C. (2024). Experimental study of cycle-by-cycle variations in a spark ignition internal combustion engine fueled with hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 60, 22 March 2024, 1224–1238. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319924006049

[4] Kosmadakis, G. M., Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D. (2021). Assessing the cyclic-variability of spark-ignition engine running on methane-hydrogen blends with high hydrogen contents of up to 50 %. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (34), 17 May 2021, 17955–17968. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921007151

[5] Georgescu, R., Pană, C., Negurescu, N., Cernat, A., Nuțu, C., Sandu, C. (2024). The Influence of Hydrogen Addition on a SI Engine – Theoretical and Experimental Investigations. *Sustainability*, 16 (16), 6873. https://www.mdpi.com/2071-1050/16/16/6873

[6] Leyko, J., Słobi´nski, K., Jaworski, J., Mitukiewicz, G., Bou Nader, W., Batory, D. ()2023. Study on SI Engine Operation Stability at Lean Condition – The Effect of a Small Amount of Hydrogen Addition. *Energies*, 16, 6659. https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6659

[7] Pan, S., Wang, J., Liang, B., Duan, H., Huang, Z. (2022). Experimental Study on the Effects of Hydrogen Injection Strategy on the Combustion and Emissions of a Hydrogen/Gasoline Dual Fuel SI Engine under Lean Burn Condition. *Applied Sciences*, 12 (20), 10549. https://www.mdpi.com/2076-3417/12/20/10549

ANALYSIS OF THE DEGREE OF IRREGULARITY IN THE OPERATING CYCLE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE POWERED BY DIFFERENT TYPES OF FUEL

O.S. Mitrofanov, A.Yu. Proskurin

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. The influence of the fuel used and the fuel-air mixture ratio on the degree of irregularity in the operating cycle of a spark-ignition internal combustion engine is examined. It is shown that the presence of hydrogen in the synthesis gas significantly reduced the degree of irregularity in the operating cycle of a spark-ignition internal combustion engine. It was established that the minimum value of the operating cycle non-uniformity of a spark-ignition internal combustion engine is observed within the air excess ratio range of $\alpha = 1.05…1.25$. As the fuel-air mixture becomes leaner, a gradual increase in the degree of operating cycle non-uniformity is observed. When $\alpha \approx 2$ is reached, the non-uniformity of the operating cycle of a spark-ignition internal combustion engine running on synthesis gas reaches the minimum value of non-uniformity observed when running on gasoline with $\alpha = 0.9…1.0$.

Keywords: internal combustion engine with forced ignition; synthesis gas; hydrogen; fuel-air mixture; irregularity of the operating cycle.

УДК 612.181.27.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРИ СПАЛЮВАННІ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ РІЗНОЇ ЯКОСТІ

Димо Б.В.,
кандидат технічних наук, професор
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
borys.dymo@nuos.edu.ua
Колбасенко О.В.,
PhD in Engineering ,Ch/Eng. m/v"Al Harthy Tide" Tide Water company USA
rekamore45@gmail.com
Анастасенко С.М.,
кандидат технічних наук, доцент
ТОВ «Мотортєх» м. Первомайськ, Миколаївської обл., Україна
ondi2008@ukr.net
Багдасарян О.В., Щербіна А.О., Стеценко С.В.,
студенти бакалавріату ХННІ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі досліджено вплив складу водопаливних емульсій та режимних параметрів роботи котельних установок на інтенсивність низькотемпературної корозії поверхонь нагріву. На основі експериментальних даних визначено залежності швидкості корозії від температури стінки, коефіцієнта надлишку повітря, вмісту сірки та води в паливі, а також встановлено межі корозійно-небезпечної зони при змінних навантаженнях котла. Показано, що застосування водопаливної емульсії з водовмістом близько

30 % сприяє зниженню швидкості низькотемпературної корозії та підвищенню надійності низькотемпературних поверхонь нагріву при змінних режимах роботи.

Ключові слова. Водопаливна емульсія, котельна установка, низькотемпературна корозія, поверхні нагріву, швидкість корозії

Вступна частина. Вимоги до надійності та довговічності роботи енергетичних установок та їх окремих елементів при одночасному забезпеченні високих техніко-економічних і екологічних показників значно зростають особливо для устаткування, що відпрацювало свій нормативний ресурс. При спалюванні сірчистих палив на рівень цих показників істотний вплив має інтенсивність теплохімічних процесів – забруднення та корозія високотемпературних і низькотемпературних поверхонь нагріву (НТПН). Так як при експлуатації допоміжної котельної установки постійно відбуваються коливання значень коефіцієнта надлишку повітря α, температур газів і металу $t_{ст}$, то необхідно оцінити вплив цих коливань на сумарне значення швидкості низькотемпературної корозії (НТК) і на розширення корозійнонебезпечної зони в НТПН котлів при змінних навантаженнях, що може дуже сильно впливати на надійність роботи.

Тому актуальними є питання інтенсивності НТК, діапазони впливу змін параметрів роботи котлів у межах та вище припустимого значення швидкості НТК (0,2…0,2 мм/рік) при коливаннях t_w і α, що є необхідною інофрмацією при оцінці ефективності роботи, надійності й довговічності елементів енергетичних установок при проєктуванні та у процесі експлуатації.

Опубліковано значну кількість даних, узагальнених у роботах [1; 2], присвячених процесам утворення SO_3 і пари H_2SO_4, конденсації цієї пари, інтенсивності НТК і забруднення НТПН при спалюванні стандартних мазутів (при W^r = 2,0 %) при t_w НТПН нижче температури точки роси $t_{тр}$ пари H_2SO_4. Але в публікаціях представлено недостатньо даних щодо інтенсивності НТК при спалюванні водопаливних емульсій [3–5] і відсутні дані щодо впливу на НТК змінних режимів роботи НТПН. Причому, розглядаються тільки якісні показники процесів, про зниження швидкості НТК судять по збільшенню періоду між ремонтами НТПН, а про зменшення забруднень – по періоду між очищеннями, про зміну механізму НТК – по переходу місцевих локальних корозійних ушкоджень металу до рівномірної корозії при спалюванні ВПЕ, що можливо пов'язане із процесами пасивації поверхні металу [6].

На думку авторів [7] при спалюванні ВПЕ з W^r=30 % процеси НТК при t_w у межах 75…130 ºС відбуваються при пасивному стані поверхні металу внаслідок абсорбції N_2O_3 конденсатом H_2SO_4.

Мета роботи. Метою роботи є експериментальне дослідження впливу складу водопаливних емульсій, вмісту сірки, коефіцієнта надлишку повітря та змінних режимів роботи котельної установки на швидкість низькотемпературної корозії поверхонь нагріву, визначення меж корозійно-небезпечної зони та оцінювання впливу зазначених факторів на надійність і довговічність низькотемпературних поверхонь нагріву котлів.

Основна частина. Необхідно провести аналіз результатів досліджень швидкості розвитку НТК, що дозволяє оцінити вплив постійних і змінних режимів роботи на надійність і довговічність роботи НТПН при спалюванні сірчистих стандартних палив з W^r= 2,0 % та ВПЕ з W^r до 30 % під впливом постійно діючих факторів (S^r, α, W^r), а також змінних режимів (коливання α, t_w). Дослідження процесів НТК були проведені на експериментальній установці при спалюванні мазутів М40, М100 і ВПЕ на їхній основі при зміні вмісту сірки S^r від 0,7 до 2,0 %, коефіцієнту надлишку повітря α від 1,01 до 1,5 при значеннях W^r, що дорівнювали 4, 10, 15, 17 і 30 % за умов забезпечення стабільності параметрів роботи. Деякі дані наведено на Рисунку у вигляді залежності швидкості корозії K, гр/(м²·год) від температури стінки t_w.

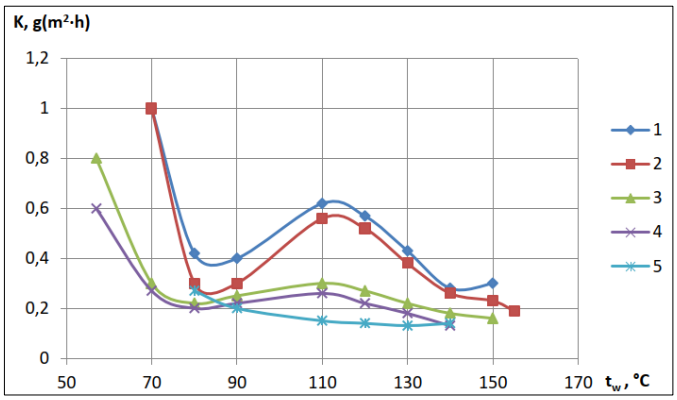


Рисунок 1 – Залежність швидкості корозії від температури стінки при згорянні палив та емульсій різної якості: 1 – М100 (S^r = 2.0 %; W^r = 2.0 %), α = 1.05, τ = 100 h; 2 – М100 (S^r = 2.0 %; W^r = 2.0 %;), α = 1.025, τ = 100 h; 3 – М100 (S^r = 2.0 %; W^r = 2.0 %), α = 1.01, τ = 100 h; 4 – М 40 (S^r = 2.0 %; W^r = 2.0 %;), α = 1.01, τ = 100 h; 5 – WFE М40 ((S^r = 1.8 %; W^r = 30 %;), α = 1.45, τ = 88 h

На підставі експериментальних даних по швидкості НТК при різних α і t_w були отримані межі зон корозійного ушкодження в результаті НТК при спалюванні стандартних мазутів і ВПЕ при зменшенні до 50 % і збільшенні навантаження котла D стосовно номінального навантаження $D_{ном}$.

На думку багатьох дослідників припустимим рівнем швидкості НТК вважається 0,2…0,2 мм/рік протягом 1000 годин роботи.

При спалюванні стандартних палив спостерігається кислотний пік, що обмежує мінімальне значення t_w, а значить і величину температури випускних газів та рівень ККД котла. Тому при зміні навантаження і відповідно температур металу відбувається переміщення корозійного піку, що розширює корозійно-небезпечну зону. Отримані залежності показують, що тільки при α = 1,01…1,025 швидкість НТК нижче припустимого значення $K_{пр,}$ рівного 0,2 мм/рік при будь-яких значеннях коливань t_w. Але зазначені режими неможливо здійснити в суднових допоміжних і промислових котлах. При більш високому значенні α з урахуванням змін t_w вся корозійно-небезпечна зона розташовується вище лінії припустимої швидкості $K_{пр}$.

При спалюванні ВМЕ з W^p = 30 % відсутній корозійний пік. Тому для цих умов при прийнятих коливаннях навантаження D і відповідно t_w не відбувається розширення корозійної зони, чим забезпечується більш висока надійність роботи НТПН і можливість одночасно підвищити ККД, що пояснюється процесами пасивації НТПН оксидами азоту при t_w нижче точки роси пар сірчаної кислоти (до 65…80 ºС).

Висновки. Отримано експериментальні дані та регресійні рівняння залежностей швидкості НТК при спалюванні стандартних мазутів і ВПЕ на їх основі при вмісті сірки S^r від 0,98 до 2 %, значеннях α від 1,01 до 1,45 і водовмісті W^r від 2,0 до 30 %.

При водовмісті ВПЕ близько 30 % досягається мінімальна швидкість НТК на рівні 0, мм/рік (протягом 1000 годин) і мінімальні розміри корозійно-небезпечної зони при значеннях α нижче 1,45, що забезпечує надійність роботи НТПН при змінних режимах роботи котлів.

Література

[1] Schweitzer P. A. Fundamentals of corrosion: mechanisms, causes, and preventative methods. CRC Press London, New York, 2010. 430 p.

[2] Gordon B. Fundamentals of Corrosion and Corrosion Control in LWRs. Structural Integrity Associates Inc., 2011. 147 p. Available at https://www.nrc.gov/docs/ml1122/ML11229A047.pdf (accessed 20.07.2026)/

[3] Kassem Y. Basics of Corrosion in Oil and Gas Industry: Corrosion science, forms, monitoring, and control. Amazon Digital Services LLC-Kdp, 2019. 213 p.

[4] Kruger J., Begum S. Corrosion of metals: overview. *Reference Module in Materials. Sciece and Materials Engineering*, 2016,P. 1-10. doi:10.1016/b978-0-12-803581-8.02708-9

[5] Newman R.C., Williams D. Electrochemical fundamentals corrosion. Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. 2nd ed. 2025, vol. 1,P. 167-171. doi:10.1016/B978-0-323-96022-9.00244-9

[6] Fontana M.G. Corrosion Engineering. 3rd ed. McGraw-Hill India, 2005. 575 p.

[7] Parangusan H., Bradra J., Al-Thani N. A review of passivity breakdown on metal surfaces: influence of chloride- and sulfideion concentrations, temperature, and pH. *Emergent Materials*, 2021, vol. 4, P. 1187–1203. doi:10.1007/s42247-021-00194-6

RESEARCH ON THE RELIABILITY OF BOILER PLANT ELEMENTS WHEN COMBUSTING WATER-FUEL EMULSIONS OF DIFFERENT QUALITIES

Dymo B.V., professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Anastasenko S.M., associate professor, Motortech LLC

Abstract. The work investigates the influence of the composition of water-fuel emulsions and operating parameters of boiler plants on the intensity of low-temperature corrosion of heating surfaces. Based on experimental data, the dependences of the corrosion rate on the wall temperature, excess air coefficient, sulfur and water content in the fuel were determined, and the boundaries of the corrosion-hazardous zone were established at variable boiler loads. It is shown that the use of a water-fuel emulsion with a water content of about 30 % contributes to a decrease in the rate of low-temperature corrosion and an increase in the reliability of low-temperature heating surfaces at variable operating modes.

Keywords. Water-fuel emulsion, boiler plant, low-temperature corrosion, heating surfaces, corrosion rate

UDC 621.438(075)

GAS TURBINE POWER PLANTS WITH SUPERCRITICAL CO_2: CURRENT STATUS AND IMPLEMENTATION PROBLEMS

Patlaichuk V.M.,
Head of the Department of Turbines
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua

Abstract. The main advantages and disadvantages of using supercritical CO_2 as a working fluid in closed-cycle gas turbine power plants are analyzed. The main implemented projects of these power plants are reviewed.
Keywords: energy; gas turbine power plant; Brayton cycle; supercritical CO_2; Chaotan One.

Research into the Brayton cycle, which operates with supercritical CO_2, has a long history. The first mention of it dates back to 1948, when the Swiss company Sulzer patented a gas turbine power plant (GTPP) cycle with partial condensation of CO_2. The advantages of using CO_2 as a working fluid for a closed-cycle GTPP, especially with the aim of using this plant as an energy converter for nuclear power plants, were intensively studied in the 60s and 70s of the twentieth century. in the Soviet Union (D.P. Gochstein and G.P. Verkhivker), Italy (D. Angelino), the USA (E. Feher), Switzerland (Sulzer Brown – Boveri) and some other countries. But these ideas never reached practical implementation, mainly due to technical difficulties, at that time.

A revival of interest in the supercritical CO_2 gas turbine cycle occurred in the late 1990s in the United States and Japan. However, a real technological breakthrough in this field has only occurred in recent years, thanks to research by American and Chinese scientists.

What exactly attracts supercritical CO_2 to gas turbine plant designers? Carbon dioxide in a supercritical state near critical parameters (for CO_2, the critical temperature is 31 °C, critical pressure is 7.38 MPa) acquires properties that are intermediate between gas and liquid. In terms of viscosity, it is a typical gas, and in terms of density (up to 400-500 kg/m3) it is almost an incompressible liquid. Compared to the open Brayton cycle on atmospheric air, the use of such a substance allows you to significantly reduce the turbine power spent on increasing the pressure in the compressor. According to [1], if the compressor of a traditional cycle consumes approximately 45 % or more of the total turbine power, then the compressor of a cycle with supercritical CO_2 will consume less than 30 % of this power. This allows this cycle to achieve higher thermodynamic efficiency at the same temperature parameters.

Gas turbine power plants with CO_2 have some more advantages, which are due to the closed cycle rather than the working fluid. First, it is the exceptional compactness of the equipment. This is explained by the fact that the closed cycle of the GTPP is characterized by the use of increased pressures at all points of the path (for CO_2 up to 20 MPa). This leads to a reduction in the passage cross-sections and a radical reduction in the size and weight of turbomachines and heat exchangers.

Secondly, this is an effective overall use of heat through advanced recovery (in particular, thanks to the Printed circuit heat exchangers). In open-cycle gas turbines, heat recovery is often complicated by the significant dimensions of heat exchangers and significant pressure losses, due to which a significant part of the heat is simply discharged into the atmosphere.

Compared to the open Brayton cycle in atmospheric air, the closed cycle with supercritical CO_2 has certain disadvantages. The main ones are the following.

1. Extremely high operating pressures of the cycle (up to 20 MPa). This requires the use of strong, thick-walled housings, heavy pipelines and the development of extremely reliable seals to prevent gas leaks.
2. The “pinch point” problem. Due to the sharp change in the properties of CO_2 near the critical point, the heat capacity of the gas on the hot and cold lines is very different. This leads to the emergence of a zone with a minimum temperature difference inside the recuperator, which significantly limits heat transfer. To overcome this problem, it is necessary to significantly complicate the thermal scheme of the power plant, introducing recompression, separation of working fluid flows and additional compressors.
3. High sensitivity of the power plant to ambient temperature. The CO_2 cycle is closed and critically depends on cooling the working fluid in the cooler to a temperature as close as possible to the critical one (~ 32 °C). An increase in the compressor inlet temperature to only 50 °C leads to a drop in cycle efficiency by approximately 5 %. This requires a constant source of large amounts of cold water and a complex final heat removal system.
4. Poor compatibility with fossil fuels. The CO_2 cycle is optimized for a very narrow temperature range of heat supply (the temperature difference at the inlet and outlet of the source is about 150 °C). When used in thermal power plants, this leads to extremely low efficiency of using flue gas heat.
5. Difficulty in controlling power at partial loads. This is especially evident when using a recompression cycle with two compressors operating in parallel.

Feasibility study of various variants of thermal scheme of supercritical CO_2 gas turbines shows that the recompression cycle (Fig. 1) is the most rational choice for next-generation nuclear power. It provides a combination of high efficiency (45–50 %) with a radical reduction in capital costs (18–24 %) [1].

The gas parameters at the inlet to the main compressor should be as close as possible to the critical point of CO_2, since it is under such conditions that this gas has maximum density and minimum compressibility. Accordingly, the temperature is chosen at 32 °C, and the pressure is 7.69–7.76 MPa.

In designs studied by MIT (USA), the recompression compressor takes 37-42 % of the total flow bypassing the cooler. The gas temperature in front of it is 69–71 °C, the pressure is 7.70–7.77 MPa. The gas pressure in front of the turbine is 20 MPa. The gas temperature in front of the turbine is 550-650 °C, which provides an effective cycle efficiency of 45.3–49.7 % [1].

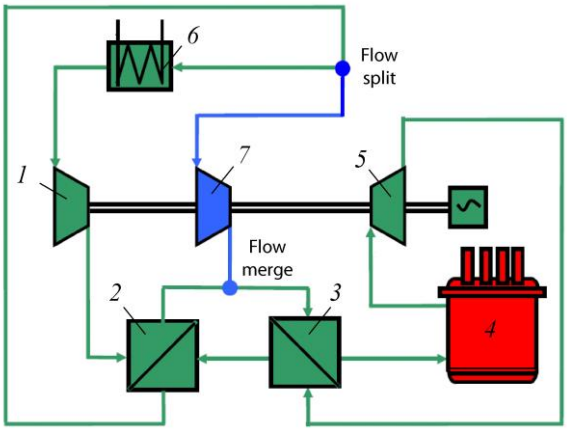


Figure 1 – Brayton recompression cycle with supercritical CO2 [1]:
1 – main compressor; 2 – low-temperature recuperator; 3 – high-temperature recuperator; 4 – heat source; 5 – turbine; 6 – cooler; 7 – recompression compressor

In October 2023, construction was completed in San Antonio (Texas, USA) and experimental studies of the first 10 MW supercritical CO_2 gas turbine plant in the United States began in 2024. The $15 million STEP (Supercritical Transformational Electric Power) project was implemented jointly by Southwest Research Institute (SwRI), Gas Technology Institute (GTI) Energy, GE Vernova, and the National Energy Technology Laboratory (NETL) (U.S. Department of Energy) [2; 3].

The world's first commercial supercritical CO_2 gas turbine power plant began operation in China on December 20, 2025. The Chaotan One demonstration project, which consists of two 15 MW gas turbine generators and uses waste heat from a steel works in Liupanshui, Guizhou Province, to heat the working fluid, was created by a group of Chinese companies led by the Nuclear Power Institute of China (NPIC), part of the China National Nuclear Corporation (CNNC) [4].

Conclusions

1. Closed-cycle gas turbine power plants with supercritical CO_2 have reached the level of commercial operation for the first time in their history in recent years.
2. These power plants have higher efficiency than those made using the Rankine cycle, which indicates the prospects for their application in certain energy sectors.

References

[1]. Dostal V., Driscoll M.J., Hejzlar P. A supercritical carbon dioxide cycle for next generation nuclear reactors. MIT-ANP-TR-100. March 10, 2004. 326 p.

[2]. Talbot D. Dest-size turbine could power a town. *MIT Technology Review*. URL: https://www.technologyreview.com/2016/04/11/161060/desk-size-turbine-could-power-a-town/#/set/id/601246/

[3]. Blain L. Supercritical CO2 pilot aims to make steam turbines obsolete. *New Atlas*. URL: https://newatlas.com/energy/supercritical-co2-turbines/

[4]. Paleja A. World's first commercial supercritical carbon dioxide power generator begins operation. *Interesting Engineering*. URL: https://interestingengineering.com/energy/worlds-first-sco2-based-power-generator-china.

UDC 621.4

MATHEMATICAL MODELING OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE "BOX-COOLER" TYPE HEAT EXCHANGER

Patlaichuk V.M.,
Head of the Department of Turbines
volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua
Kozyrko O.A.,
Postgraduate student of the Department of Turbines
oleh.kozyrko@nuos.edu.ua
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The features of thermal design calculation of the "box-cooler" type heat exchangers are considered. A mathematical model of this heat exchanger is developed.

Keywords: ship power engineering; heat exchanger; box cooler; mathematical model; heat transfer.

The "box-cooler" type heat exchanger consists of a bundle of U-shaped tubes fixed in a tube sheet and vertically arranged in the ship's sea chest. Cooling of the fresh water passing through these tubes is carried out mainly by natural convection of the sea water in the sea chest [1; 2; 3]. Circulation and constant renewal of the sea water is ensured by special openings in the inlet and outlet grilles (Fig. 1).

The removal of heat from the fresh water of the first cooling circuit of the ship power plant in the box-cooler is a multi-stage process, which can be conventionally divided into the following stages:

– the process of heat transfer by convection from the fresh water of the cooling system to the inner walls of the box cooler pipes;

– the process of heat transfer by thermal conduction through the walls of pipes;

– the process of heat transfer by convection from the outer walls of the pipes to the sea water located inside the sea chest;

– the process of heat exchange between the seawater inside the sea chest and the seawater washing the box from the outside.

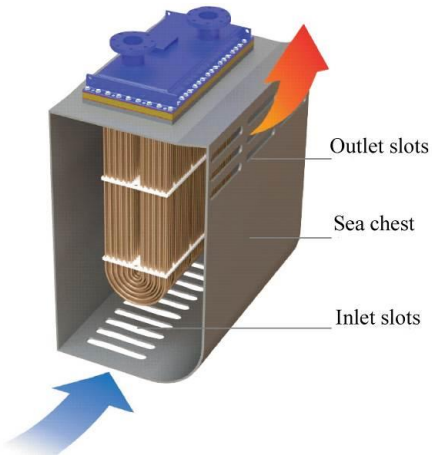


Figure 1 – Design of the heat exchanger [2]

1. The process of heat exchange between the seawater inside the sea chest and the seawater washing this box from the outside is realized by heat transfer through the sea chest wall and by water exchange due to natural circulation.

The heat flow removed by the seawater due to natural circulation will be equal to:

$$Q_{sw} = G_{sw}\, c_p\, \Delta t_{sw} = \mu F_{вх}\, \rho\, c_p\, \Delta t_{sw} \sqrt{2\beta \Delta t\, g\, H}\ , \text{kW},$$

where G_{sw} – mass flow of seawater through the sea chest due to natural convection, kg/s; c_p – specific heat capacity of seawater, kJ/(kg·K); $\Delta t_{sw} = t_{sw2} - t_{sw1}$ – temperature difference of seawater at the outlet and inlet of the sea chest, K; μ – flow ratio; $F_{вх}$ – area of the passage section of the entrance grille, m^2; ρ – density of seawater, kg/m^3;

β – coefficient of volumetric thermal expansion of seawater; 1/K; $\Delta t = t_{ст} - t_{sw1}$ – difference between the average temperature of the outer walls of the heat exchanger along the length and the temperature of the sea water at the entrance to the sea chest, K; g = 9.81 m/s^2 – acceleration of free fall; H – height of the heat exchanger tube bundle, m.

2. The process of transferring heat from the fresh water of the cooling system to the sea water inside the sea chest.

The tubes used to create a box cooler can be characterized as having thin cylindrical walls (their outer diameter to inner diameter ratio does not exceed 1.5). Therefore, to calculate the heat transfer through them, a universal formula for a flat multilayer wall can be used [4]:

$$Q_{\text{охл}} = k\,F\,\Delta t_{\text{ср}}\cdot 10^{-3} = \frac{F\,\Delta t_{\text{ср}}\cdot 10^{-3}}{\frac{1}{\alpha_{\text{г}}} + R_{\text{бр г}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + R_{\text{бр х}} + \frac{1}{\alpha_{\text{х}}}},$$

where k – average heat transfer coefficient for the entire heat exchange surface, W/(m^2·K); F – surface area of the pipes on the side where the heat transfer coefficient is lower (in this case, this is the outer surface), m^2; $\Delta t_{\text{ср}}$ – average temperature head, K; $\alpha_{\text{г}}$ and $\alpha_{\text{х}}$ – heat transfer coefficients, respectively, from fresh water to pipe walls and from pipe walls to sea water, W/(m^2·K); $R_{\text{бр г}}$ and $R_{\text{бр х}}$ – thermal resistance of pollution, respectively, from the hot and cold side of the walls, (m^2·K)/W; $\lambda_{\text{ст}}$ – thermal conductivity coefficient of the pipe material, W/(m·K); $\delta_{\text{ст}}$ – pipe wall thickness, m.

For the heat exchanger under consideration, the limiting factor for the heat transfer coefficient is the heat transfer by natural convection from the outer surface of the pipes to the sea water, the coefficient of which can be estimated by the criterion equation

$$\alpha_{\text{х}} = C\cdot(\text{Gr}\cdot\text{Pr})^{n}\cdot K\cdot\frac{\lambda}{\chi},$$

where $\text{Gr} = \frac{g\,\chi^3\,\beta\,\Delta t}{\nu^2}$ – Grashof number; $\chi = H$ – characteristic size, m; ν – kinematic viscosity of seawater, m^2/s; Pr – Prandtl number for seawater; λ – thermal conductivity coefficient of seawater, W/(m·K).

When the condition is met $(\text{Gr}\cdot\text{Pr}) \le 10^9$ (for laminar motion) the empirical coefficients are equal to [5]:

$$C = 0.8;\ n = 0.25;\ K = \left[1+\left(1+\frac{1}{\sqrt{\text{Pr}}}\right)^2\right]^{-0,25}.$$

Provided $(\text{Gr}\cdot\text{Pr}) > 10^9$ (for turbulent motion):

$$C = 0.0246;\ n = 0.4;\ K = \left[\frac{\text{Pr}^{1/6}}{1+0,494\cdot\text{Pr}^{2/3}}\right]^{0,4}.$$

Heat transfer coefficient from fresh water to the inner walls of the pipes:

$$\alpha_{\text{г}} = C\cdot\text{Re}_{fw}^{m}\,\text{Pr}_{fw}^{n}\cdot K\cdot\frac{\lambda_{fw}}{d_e},$$

where $\text{Re}_{fw} = \frac{w\,d_e}{\nu_{fw}}$ – Reynolds number for fresh water; d_e – equivalent diameter (in this case, the inner diameter of the pipes), m; w – speed of fresh water in pipes, m/s; ν_{fw} – kinematic viscosity of fresh water, m^2/s; Pr_{fw} – Prandtl number for fresh water; λ_{fw} – thermal conductivity coefficient of fresh water, W/(m·K).

For turbulent water movement in pipes ($\text{Re}_{fw} \ge 10000$) empirical coefficients [5]:

$$C = 0.027;\ m = 0.8;\ n = 0.33;\ K = \left(\frac{\mu_{fw}}{\mu_{\text{ст}}}\right)^{0,14},$$

where μ_{fw} – dynamic viscosity of fresh water at its average temperature, Pa·s; $\mu_{\text{ст}}$ – dynamic viscosity of fresh water at wall temperature, Pa·s.

For the coolant flow scheme implemented in the heat exchanger, the average temperature head is determined by the formula:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \Delta t'_{\text{ср}}\,\varepsilon_{\Delta t},$$

where $\Delta t'_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}$ – average temperature head determined for counterflow (for this case $\Delta t_{\text{б}} = t_{fw1} - t_{sw2}$ and $\Delta t_{\text{м}} = t_{fw2} - t_{sw1}$); $\varepsilon_{\Delta t} = f(P,R)$ – correction for deviation of the coolant flow pattern from counterflow (determined

depending on the coefficients P and R using special nomograms compiled for each coolant flow scheme separately (see, for example, [6, p. 48]).

Functional coefficients that affect the value of this correction:

$$P = \frac{t_{sw2} - t_{sw1}}{t_{fw1} - t_{sw1}} \text{ and } R = \frac{t_{fw1} - t_{fw2}}{t_{sw2} - t_{sw1}}.$$

Conclusions

1. In the process of mathematical modeling, the features of thermal design calculation of the "box-cooler" type heat exchangers for double-circuit cooling systems of ship power plants were considered.
2. A mathematical model of this heat exchanger has been developed, which can be used both for its design and for verification analysis of operation in various modes.

References

[1]. Патлайчук В. М., Козирко О. А. Аналіз можливостей використання теплообмінників «бокс-кулер» в системах охолодження суднових газотурбінних агрегатів. *Збірник наукових праць НУК*. 2025. № 2. С. 95–103.

[2]. Patlaichuk V. M., Kozyrko O. A. Using of box coolers in central cooling systems of ship power plants. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : Матеріали XVI Міжн. наук.-техн. конференції. Миколаїв: НУК, 2025. С. 241–244.

[3]. Patlaichuk V. M., Kozyrko O. A. Estimation of the thermal load on the ship's cooling system from gas turbine engines and their systems. *Суднова енергетика: стан і проблеми*: Матеріали XII Міжн. наук.-техн. конф. Миколаїв: НУК, 2025. С. 232–235.

[4]. Lienhard IV J., Lienhard V J. A heat transfer textbook. Cambridge: Phlogiston Press, 2020. 784 p.

[5]. Wong H. Handbook of essential formulae and data on heat transfer for engineers. London and New York: Longman Group, 1977. 216 p.

[6]. Kakas S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat exchangers: Selection, rating, and thermal design. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. 624 p.

UDC 621.4

INFLUENCE OF OPERATING AND GEOMETRIC PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF THE "BOX-COOLER" HEAT EXCHANGER

Patlaichuk V.M.,
Head of the Department of Turbines
volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua
Kozyrko O.A.,
Postgraduate student of the Department of Turbines
oleh.kozyrko@nuos.edu.ua
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The influence of the output thermal power on the characteristics of the heat exchanger is analyzed. The influence of the height of the tube bundle and the temperature of the seawater on the heat transfer from the tube surface to the seawater is considered in detail.

Keywords: ship power engineering; heat exchanger; box cooler; operational parameters; geometric parameters.

In recent years, box-cooler heat exchangers have become widespread in the power plants of small and medium-displacement vessels [1–3]. The purpose of this study was to analyze the features of thermal calculation of box-cooler heat exchangers for double-circuit cooling systems of ship gas turbine units. The working processes in box-cooler heat exchangers were chosen as the object of study. The subject of the study was the thermal characteristics of these heat exchangers.

The heat flow $Q_{\text{охл}}$ that must be removed to the sea water from marine simple cycle gas turbine power plants in the vast majority of cases is regulated by the amount of heat removed during cooling of the oil from the lubrication systems of the gas turbine engine and its gearbox. Based on the developed mathematical model [4],

using the traditional sequence of constructive thermal calculation for the logarithmic mean temperature difference method, we will assess the influence of the output thermal power $Q_{охл}$ on the characteristics of the heat exchanger of the "box-cooler" type.

In the analysis, we will assume that the heat exchanger tubes with a size of 16 x 0.8 mm are made of copper-nickel alloy МНЖМц10−1-1 (CuNi10Fe1Mn), which has a thermal conductivity $\lambda_{ст}$ = 50 W/(m·K). The height of the tube bundle H = 1.5 m. We will also assume as constant the temperature of fresh water at the inlet and outlet of the box cooler t_{fw1} = 43 °C and t_{fw2} = 31 °C; the temperature of sea water at the inlet t_{sw1} = 15 °C; the flow rate μ = 0.41; the thermal resistance of contaminants, respectively, on the hot and cold sides of the walls $R_{бр\,г}$ = 0.86·10^{-4} (m^2·K)/W and $R_{бр\,х}$ = 4·10^{-4} (m^2·K)/W; the velocity of fresh water in the tubes w = 2 m/s.

The calculation results show that with fixed values of the specified parameters, the qualitative characteristics of heat transfer remain almost unchanged when varied $Q_{охл}$: Rayleigh number $(Gr \cdot Pr)$ = 9.64·10^{11}; heat transfer coefficient from the outer surface of the pipes to the sea water α_x = 477 W/(m^2·K); Reynolds number for fresh water Re_{fw} = 40 742; heat transfer coefficient from fresh water to the inner walls of the pipes $\alpha_г$ = 9592 W/(m^2·K); average heat transfer coefficient for the entire heat exchange surface k = 370 W/(m^2·K); mean temperature difference $\Delta t_{ср}$ = (19.6…19.8) °C. The change $Q_{охл}$ leads only to an almost directly proportional change in quantitative indicators – sea G_{sw} and fresh G_{fw} water consumption, which is clearly visible from Fig. 1, *a*. The dependence of the required area of the heat exchange surface of the box cooler on the initial heat load on it is shown in Fig. 1, *b*.

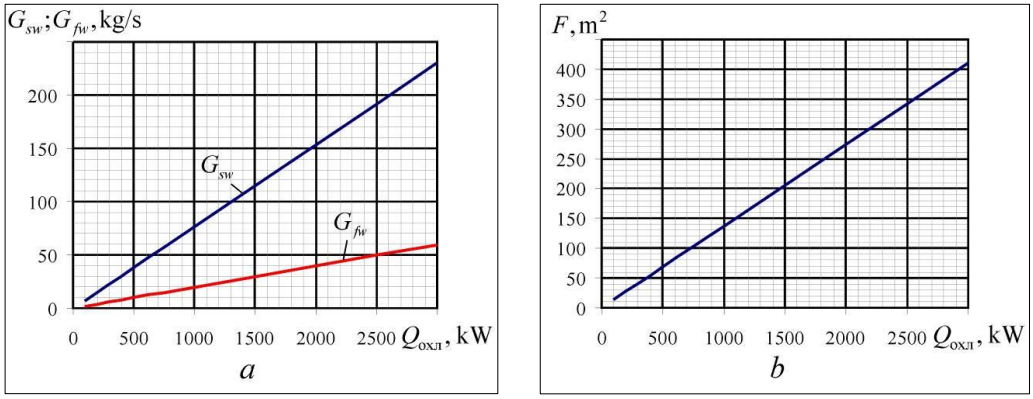


Figure 1 – Dependence of coolant consumption (a) and the required area of the heat exchange surface (b) on the thermal load on the box cooler

Considering that the limiting influence on heat transfer in the heat exchanger is the heat transfer from the outer surface of the pipes to the sea water, which is realized due to natural convection, we will separately consider the influence on this factor of the height of the pipe bundle H and the sea water temperature t_{sw1}. Calculations will be carried out with the previously specified fixed parameters under the condition $Q_{охл}$ = 1000 kW.

In the first case, with a constant value of t_{sw1} = 15 °C, we vary the height of the pipe bundle H in the range from 1 to m. The calculation results are shown in Fig. 2.

The nature of the change in the heat transfer coefficient α_x is mathematically explained by the functional dependence of this parameter on H, which follows from the corresponding criterion equation. Increasing the height of the tube bundle from 1 to m leads to an increase in the coefficient α_x by 13 %. As a result, the heat transfer coefficient k increases by 10 %, and the required area of the heat exchange surface F decreases by 11 %.

In the second case, with a constant value of H = 1.5 m, we vary the temperature of the sea water at the entrance to the sea chest t_{sw1} in the range from 15 to 25 °C. The results of the calculations are shown in Fig. 3.

The increase in the temperature of the sea water t_{sw1} causes a decrease in the temperature difference Δt (in the analyzed range from 17.0 to 8.8 K) and a corresponding decrease in the Grashof number, which leads to a decrease in the heat transfer coefficients α_x (by 10 %) and k (by 8 %). It should be noted that the significant

increase in the required heat exchange surface area F (by 2.18 times) is explained mainly not by the influence of heat transfer α_x, but by the simultaneous decrease in the mean temperature difference Δt_{cp} (from 19.6 to 9.8 K).

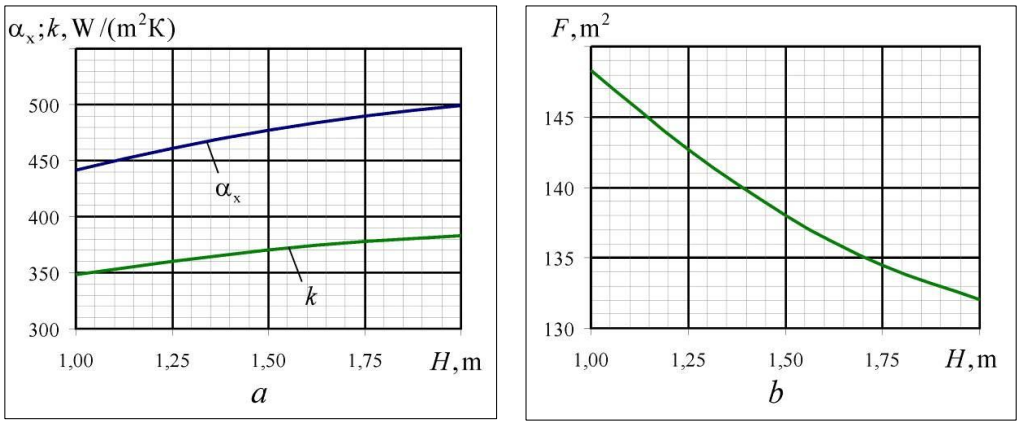


Figure 2 – Dependence of heat transfer coefficients (a) and the required heat exchange surface area (b) on the height of the tube bundle

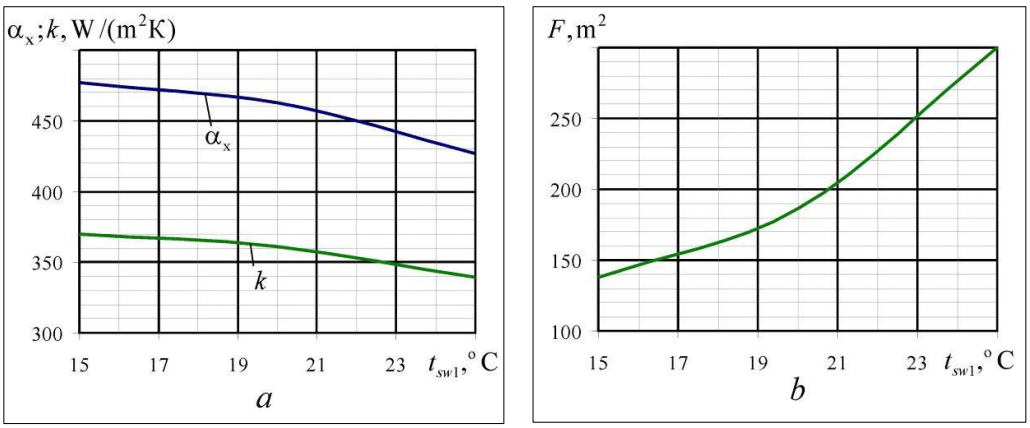


Figure 3 – Dependence of heat transfer coefficients (a) and the required heat exchange surface area (b) on the temperature of the sea water

Conclusions

1. The influence of the output thermal power on the characteristics of the heat exchanger has been analyzed; the dependence of the qualitative and quantitative indicators of heat transfer on it has been established.

2. Taking into account the limiting influence on the transfer of heat from the outer surface of the pipes to the sea water, the influence of the height of the pipe bundle and the sea water temperature on this factor has been considered in detail. It has been determined that the increase in the latter leads not only to a deterioration in heat transfer, but also to a simultaneous decrease in the mean temperature difference in the heat exchanger.

References

[1] Patlaichuk V. M., Kozyrko O. A. Using of box coolers in central cooling systems of ship power plants. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : Матеріали XVI Міжн. наук.-техн. конференції. Миколаїв: НУК, 2025. С. 241-244.

[2] Патлайчук В. М., Козирко О. А. Аналіз можливостей використання теплообмінників «бокс-кулер» в системах охолодження суднових газотурбінних агрегатів. *Збірник наукових праць НУК*. 2025. № 2. С. 95–103.

[3] Патлайчук В. М., Козирко О. А. Оцінка теплового навантаження на централізовану систему охолодження судна від газотурбінних агрегатів простого циклу. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : Матеріали XVI Міжн. наук.-техн. конференції. Миколаїв : НУК, 2025. С. 244–247.

[4] Патлайчук В. М., Козирко О. А. Особливості теплового розрахунку теплообмінників «бокс-кулер» для систем охолодження суднових газотурбінних установок. *Shipbuilding and marine infrastructure*. 2025. № 2. С. 112–123.

UDC 629.5:621.436

OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF A DIESEL ENGINE FUELED WITH AN ALTERNATIVE FUEL DERIVED FROM PLASTIC WASTE

Tymoshevskyy B.,
Dr.E.Sc, prof., Internal Combustion Engines, Plants and Techical Operation Department, borys.tymoshevski@nuos.edu.ua
Tkach M.,
Dr.E.Sc, prof., Engineering and Mechanical Technology Department, mykhaylo.tkach@gmail.com
Popov O.,
Ph.D aspirant, Internal Combustion Engines, Plants and Techical Operation Department, popov_metc@ukr.net
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The use of alternative fuels is currently an important issue in ensuring Ukraine's energy independence. One potential source of alternative fuels is waste thermoplastic polymers, whose elemental composition consists predominantly of carbon and hydrogen. It has been established that the main parameters of the diesel engine operating process when fueled with conventional and alternative fuels exhibit certain deviations. However, with an appropriate selection of operating conditions, these deviations do not significantly affect engine efficiency. The results demonstrate that, with appropriate adjustment of the fuel injection system, alternative fuels can be used in diesel engines without significant modifications to their design.

Keywords: alternative fuel, specific fuel consumption, exhaust gas temperature, efficiency.

Introduction. Against the backdrop of rising prices for petroleum-based energy resources, the search for alternative raw materials for fuel production has become increasingly important. The processing of such resources can yield fuels whose properties make them suitable for use in marine and stationary engines.

One promising alternative resource is waste thermoplastic polymers, the global accumulation of which amounts to hundreds of millions of tones and continues to increase. Thermoplastic polymers are particularly attractive because they are produced through organic synthesis, primarily from natural gas. Such polymers include polyethylene, polypropylene, polystyrene, and others. Unlike crude oil, these materials do not contain high-molecular-weight compounds, heavy metals, or other undesirable components.

The elemental composition of thermoplastic polymers consists predominantly of hydrogen and carbon. Through a controlled catalytic cracking process, these materials can be converted into a mixture of liquid hydrocarbons, which can subsequently be separated by rectification and blended with appropriate additives to produce motor fuels. Furthermore, the conversion of waste thermoplastic polymers into motor fuels can contribute to reducing the environmental burden associated with the accumulation and disposal of these harmful wastes. Preliminary estimates also indicate that the production cost of alternative diesel fuels derived from polymer feedstocks may be 35–45 % lower than that of comparable petroleum-based fuels [1].

The technology for converting polymer waste into alternative fuels, developed by the authors [2], makes it possible to adjust the properties of the resulting fuels to ensure their efficient use in internal combustion engines. Of particular importance is the production of sulfur-free heavy fuels for low-speed marine diesel engines and fuels of appropriate viscosity for medium-speed marine diesel engines. The absence of sulfur in these alternative fuels is explained by the absence of sulfur-containing compounds in the polymer feedstock.

The main objective in the effective usage of alternative fuels is to enable their use in diesel engines with minimal modifications to the engine design and the organization of the operation process. Addressing this challenge could have a positive impact on the fuel and energy balance, reduce the cost of maritime transportation expressed in tone-miles, and decrease the environmental burden associated with the accumulation of polymer waste.

Purpose

– to determine the influence of the properties of alternative diesel fuel obtained by processing polymer waste on the main parameters of the working process of a ship's engine;

– to determine the necessary constructive and organizational measures to ensure the adaptation of a ship's diesel engine for the effective use of alternative fuel.

Results. In the laboratory of promising energy technologies of the National University of Shipbuilding, a technology for obtaining motor fuels from thermoplastic polymer waste was developed, implemented and implemented.

Techno-chemical analysis of diesel fuel was carried out by the State Enterprise Ukrainian Research Institute "MASMA" and its structural-group and physicochemical composition was determined, which allows us to hope for the possibility of using this alternative fuel in diesel engines.

The physicochemical properties of the obtained alternative fuel do not differ significantly from those of conventional diesel fuel in accordance with DSTU 7688:2015. The main differences are the slightly higher acidity, which amounts to 8. mg KOH per 100 cm³ compared with the standard value of 7. mg KOH per 100 cm³, and the lower density, which is 788 kg/m³ compared with the standard value of 800 kg/m³. These results are in good agreement with similar findings reported by a number of international researchers [3, 4].

Experimental studies conducted on a 6ЧН12/1 marine diesel generator showed that the engine performance parameters obtained when operating on standard and alternative diesel fuels are quite similar. In particular, the in-cylinder pressure, brake-specific fuel consumption, and rate of pressure raise, $dP/d\varphi$, exhibit only minor differences when the engine is operated on conventional diesel fuel compliant with DSTU 7688:2015 and on the alternative fuel. These results are also in good agreement with data from foreign researchers [5, 6].

Conclusions

1. It was determined that the properties of alternative diesel fuel produced from polymer waste do not differ significantly from those of conventional diesel fuel. Any deviations from the requirements of DSTU 7688:2015 can, if necessary, be corrected through the addition of appropriate additives.
2. It was established that the proposed alternative fuel can be used in medium-speed marine diesel engines without significant design modifications, provided that appropriate adjustments to the fuel injection equipment are made.
3. The results of the conducted studies indicate that alternative diesel fuels obtained through the processing of thermoplastic polymers can be used in stationary power generation, land transportation, and marine power plants.

References

[1] Ship & Bunker 2026. URL: https://shipandbunker.com/prices

[2] ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. *Технічні умови.* URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62099

[3] N.K. Ndiaye, N.S.A. Derkyi, E. Amankwah. Pyrolysis of plastic waste into diesel engine-grade oil. *Scientific African.* Volume 21, September 2023, e01836. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227623002922

[4] Paitoon Laodee, Preecha Sriprapakhan, Sakda Somkun, Nuwong Chollacoop, Pisit Maneechot. Plastic waste-derived fuel in diesel engine for 4 kW power generation supporting smart grid stabilization. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. Volume 13, June 2026, 101350. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016426000290

[5] Sutrisno Sutrisno, Hadi Prasutiyon, Alif Rizky Saputro. Experimental Study of Plastic Waste Fuel in Diesel Engine to Overcome Fuel Shortage Towards a Green Economy Facing IMO Tier III Standards. *International Journal of Marine Engineering innovation andresearch.* Vol. 9, No 1 (2024). URL: https://iptek.its.ac.id/index.php/ ijmeir/article/view/20050

[6] Weerachai Arjharn, Pansa Liplap,* Somkiat Maithomklang, Kontorn Thammakul, Sathaporn Chuepeng, Ekarong Sukjit. Distilled Waste Plastic Oil as Fuel for a Diesel Engine: Fuel Production, Combustion Characteristics, and Exhaust Gas Emissions. ACS Publications, ACS Omega 2022, 7, 9720–9729. URL: https://pubs.acs.org/search-results?field1=Contrib&text1=%22Weerachai+Arjharn%22&field2=AllField&text2=&publication=&accessType=allContent&Earliest=&ref=pdf

УДК 621.436:621.43.038:662.769

ВПЛИВ ВИСОКОНАПІРНОГО ВВЕДЕННЯ МІКРОДОМІШОК ВОДНЮ В ПАЛИВНУ МАГІСТРАЛЬ НА ПРОЦЕС ПАЛИВОПОДАЧІ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ

Шалапко Д.О.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
shalapko.denys@gmail.com
Гречка Н.В.,
здобувач вищої освіти
Національний університет цивільного захисту України,
м. Черкаси, Україна
Маляренко О.С.,
здобувач освіти
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто спосіб введення мікродомішок водню безпосередньо у високонапірну паливну магістраль дизельного двигуна перед форсункою. На відміну від традиційної подачі H_2 у впускний тракт або його окремого безпосереднього впорскування в циліндр, запропонований підхід передбачає використання водню як активного компонента не лише процесу згоряння, але й гідродинаміки паливоподачі. Проаналізовано вплив введення H_2 на хвильові процеси в трубопроводі, швидкість витікання палива, дисперсність розпилювання та геометричні характеристики паливного факела. Визначено конструктивні та безпекові обмеження, які необхідно враховувати під час адаптації технології до дизельних двигунів суден.

Ключові слова: судновий дизель, водень, паливна система високого тиску, паливоподача, розпилювання, хвиля тиску, форсунка, мікродомішка водню.

У цій роботі розглядається принципово інший спосіб застосування водню – введення його в невеликій кількості у високонапірну магістраль рідкого дизельного палива на ділянці перед форсункою. Концепція не передбачає заміни значної частини циклової подачі дизельного палива воднем. H_2 використовується як мікродомішка, здатна впливати на фізичні умови паливоподачі та подальшого розпилювання.

Метою роботи є встановлення механізму впливу високонапірного введення мікродомішок водню в паливну магістраль дизельного двигуна на хвильові процеси паливоподачі та характеристики розпилювання, а також визначення конструктивних передумов застосування такого способу в суднових дизельних енергетичних установках.

Запропонована схема передбачає підведення H_2 через дозувальний тракт і зворотний клапан до паливної магістралі високого тиску безпосередньо перед форсункою. Розташування точки введення обрано з урахуванням необхідності локалізувати вплив водневої домішки на кінцевій ділянці паливоподачі та мінімізувати її взаємодію з нагнітальними елементами паливного насоса.

Для опису гідродинамічного процесу високонапірну магістраль доцільно розглядати як систему з розподіленими параметрами. В одномірному наближенні зміна тиску може бути представлена хвильовим рівнянням

$$\partial^2 p/\partial t^2 = a^2 \cdot \partial^2 p/\partial x^2,$$

де p – тиск у паливній магістралі; t – час; x – координата вздовж трубопроводу; a – швидкість поширення пружної хвилі в системі «паливо–трубопровід».

Після досягнення тиском значення відкриття форсунки миттєва швидкість витікання через сопловий отвір у першому наближенні визначається перепадом тиску:

$$u_j = C\_d \cdot \sqrt{[2(p_{inj} - p_c)/\rho_f]},$$

де C_d – коефіцієнт витрати соплового отвору; p_{inj} – миттєвий тиск перед соплом; p_c – тиск у циліндрі; ρ_f – густина рідкого палива.

Важливим показником якості розпилювання є середній діаметр крапель за Заутером

$$D_{32} = (\Sigma n_i d_i^3)/(\Sigma n_i d_i^2),$$

де d_i – діаметр крапель відповідної фракції; n_i – кількість крапель цієї фракції.

За результатами проведених досліджень для малих добавок H_2 встановлено виражену зміну характеристик паливного факела. У дослідженому діапазоні введення водню спостерігалося збільшення кута розкриття факела приблизно на 7–12 %, одночасно середній діаметр крапель D_{32} зменшувався орієнтовно на 6–11 %, а довжина факела – на 5–10 % порівняно з базовим дизельним режимом. Найбільш стійкий комплексний ефект відповідав малій масовій частці H_2 порядку 0,1 % від циклової подачі дизельного палива.

Таким чином, ефект запропонованої технології формується двома послідовними механізмами:

[1] гідродинамічним – зміна локальної стисливості середовища, характеристик хвилі тиску та умов витікання через форсунку;

[2] термохімічним – участь H_2 у процесі займання і поширення реакцій після надходження паливної суміші до циліндра.

Для практичного застосування мікродомішки повинні бути обмежені областю, в якій газова фаза не порушує безперервність передачі тиску та не викликає нестабільності циклової подачі. Тому оптимальна частка H_2 має визначатися не за максимумом енергетичного заміщення, а за комплексним критерієм

$$m_{\mathrm{h2}}, opt = f(p_{line}, D_{32}, \theta_s, L_s, p_{max}, (dp/d\varphi)_{max}),$$

де p_{line} – характеристика зміни тиску в магістралі; θ_s – кут розкриття факела; L_s – його довжина.

Висновки. Запропоноване введення мікродомішки водню в паливну магістраль високого тиску безпосередньо перед форсункою дозволяє розглядати H_2 не лише як додатковий енергоносій, а й як інструмент керування процесом паливоподачі. Встановлено, що мала частка водню впливає на хвильові процеси перед форсункою та створює передумови для збільшення кута розкриття паливного факела, зменшення середнього діаметра крапель і скорочення його осьової довжини. Для дослідженого діапазону найбільш раціональним виявилося мікродозування порядку 0,1 % від циклової маси дизельного палива, за якого покращення характеристик розпилювання не супроводжувалося критичним зростанням максимального тиску циклу.

Література

[1] Coratella C., Parry L., Li Y., et al. Experimental Investigation of the Rail Pressure Fluctuations Correlated with Fuel Properties and Injection Settings. *Automotive Innovation*. 2021. Vol. 4. P. 215–226. DOI: 10.1007/s42154-020-00133-x.

[2] Xu J., Fan L., Chen C., Lu G., Li B., Tu T. Study on fuel injection stability improvement in marine low-speed dual-fuel engines. *Applied Thermal Engineering*. 2024. Vol. 253. Article 123729.

[3] Rorimpandey P., Yip H. L., Srna A., Zhai G., Wehrfritz A., Kook S., Hawkes E. R., Chan Q. N. Hydrogen-diesel dual-fuel direct-injection (H_2DDI) combustion under compression-ignition engine conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48, No. 2. P. 766–783. DOI: 10.1016/j.ijhydene. 2022.09.241.

[4] Balitskii A. I., et al. Modifying Injection Equipment Components for Their Adaptation to Work with Greener Hydrogen-Containing Fuels for Non-Road Vehicle Engines. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 13. Article 3262. DOI: 10.3390/en17133262.

EFFECT OF HIGH-PRESSURE HYDROGEN MICRO-ADDITION INTO THE FUEL LINE ON THE INJECTION PROCESS OF A MARINE DIESEL ENGINE

Shalapko Denys. Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Grechka Nataliia. Educational and Scientific Institute of Operational and Rescue Forces, Cherkasy, Ukraine

Maliarenko Oleksandr. Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A method of introducing a hydrogen micro-addition directly into the high-pressure diesel fuel line upstream of the injector is considered. In contrast to conventional hydrogen intake fumigation or separate direct hydrogen injection, the proposed approach employs H_2 as an active component affecting both the injection-system hydrodynamics and the subsequent combustion process. The influence of hydrogen micro-dosing on pressure-wave propagation, fuel outflow velocity, droplet atomisation and spray geometry is analysed. The results indicate that small hydrogen fractions can improve spray dispersion while avoiding the substantial cylinder-pressure increase associated with high hydrogen substitution ratios. Design and safety constraints relevant to the application of the proposed technology in marine diesel engines are identified.

Keywords: marine diesel engine, hydrogen, high-pressure fuel system, fuel injection, atomisation, pressure wave, spray, hydrogen micro-dosing.

УДК 621.436:614.841.3:662.769

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖО- ТА ВИБУХОБЕЗПЕКИ ВОДНЕВИХ ПІДСИСТЕМ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ БАР'ЄРНО-СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ

Шалапко Д.О.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
shalapko.denys@gmail.com
Гречка Н.В.,
здобувач вищої освіти
Національний університет цивільного захисту України,
Навчально-науковий інститут оперативно-рятувальних сил, м. Черкаси, Україна
Шатайлов А.О.,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Анотація. Розглянуто формування багаторівневої системи пожежо- та вибухобезпеки водневих підсистем суднових енергетичних установок на основі сценарного аналізу аварійних витоків водню. Запропоновано оцінювати безпеку не окремими захисними заходами, а послідовністю взаємопов'язаних бар'єрів: запобігання витоку, локалізація, виявлення, автоматичне відсікання, декомпресія, інертизація або вентиляція та обмеження наслідків займання. Для попередньої кількісної оцінки введено критерії концентраційного та часового резерву безпеки. Показано, що для суднового застосування вентиляція не повинна розглядатися як самодостатній засіб захисту від значного витоку H_2, а основним принципом має бути недопущення надходження водню до машинного приміщення.

Ключові слова: водень, суднова енергетична установка, пожежна безпека, вибухобезпека, витік водню, газовиявлення, автоматичне відсікання, вентиляція, оцінка ризику.

Метою роботи є формування інженерного підходу до забезпечення пожежо- та вибухобезпеки водневих підсистем суднових енергетичних установок шляхом поєднання сценарного аналізу аварійних витоків із багаторівневою системою технічних бар'єрів і кількісної оцінки концентраційного та часового резерву безпеки.

Для аналізу доцільно розглядати типовий аварійний сценарій:

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4,$$

де S_0 – нормальна робота герметичної водневої підсистеми;
S_1 – порушення герметичності трубопроводу, арматури або з'єднання;
S_2 – формування локальної воднево-повітряної хмари;
S_3 – досягнення небезпечної концентрації за наявності джерела займання;
S_4 – пожежа, дефлаграція, детонація або вторинна аварійна ескалація.

Тому структуру захисту доцільно представити як систему послідовних бар'єрів:

$$B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6\},$$

де B_1 – забезпечення герметичності та конструктивної цілісності;
B_2 – вторинна оболонка або двостінний трубопровід;
B_3 – раннє виявлення витоку;
B_4 – автоматична ізоляція джерела H_2;
B_5 – декомпресія та продування ізольованої ділянки;
B_6 – інертизація, контрольоване розсіювання або вентиляція залишкового водню.

Ключовим є те, що для H_2 недостатньо розглядати вентиляцію як єдиний захисний захід. Дослідження EMSA показують, що механічне розбавлення може бути ефективним для обмежених малих витоків, але за значного аварійного надходження водню не гарантує недопущення формування вибухонебезпечного об'єму [2, с. 40–41]. У сучасних рекомендаціях IMO основним рішенням для закритих небезпечних приміщень визначено інертизацію або вакуумне огородження; застосування вентиляційної концепції допускається лише за умови окремого обґрунтування альтернативного проєкту [1, с. 34–35].

Для первинного інженерного оцінювання розвитку витоку можна використати баланс водню в контрольному об'ємі. За припущення рівномірного перемішування концентрація H_2 визначається рівнянням

$$d\varphi_{h2}/dt = \dot{V}_{h2}/V - (Q_v/V)\varphi_{h2},_{H_2},$$

де H_2 – об'ємна частка водню;
H_2 – об'ємна витрата аварійного витоку;
V – об'єм контрольованого простору;
Q_v – витрата вентиляційного повітря.
За сталої інтенсивності витоку розв'язок має вигляд

$$\varphi_{h2}(t) = (\dot{V}_{h2}/Q_v)\cdot[1 - \exp(-Q_{vt}/V)],$$

Для характеристики концентраційного запасу запропоновано використовувати критерій

$$K_C = \varphi_{h2},max/\varphi_{lim},$$

де H_2 – *мак*симальна прогнозована концентрація водню в контрольованій зоні; φ_{lim} – прийняте граничне значення. Умова

$$K_C < 1,$$

відповідає збереженню заданого концентраційного резерву.
Для оцінювання ефективності аварійної автоматики пропонується критерій

$$K_t = \left(t_{det} + t_{logic} + t_{valve} + t_{dep}\right)/t_{crit})$$

де t_{det} – час виявлення витоку;
t_{logic} – час оброблення сигналу системою безпеки;
t_{valve} – час закриття відсічної арматури;
t_{dep} – час зниження тиску та видалення залишкового H_2 із небезпечної ділянки;
t_{crit} – прогнозований час до формування критичного стану.
Необхідною умовою працездатності захисту є

$$K_t < 1.$$

У такому трактуванні безпечність водневої підсистеми визначається не лише номінальною наявністю датчиків і клапанів, а тим, чи встигає весь ланцюг "detect–decide–isolate–depressurize" завершити захисну дію до формування небезпечного стану.

Висновки. Безпечне застосування H_2 у суднових енергетичних установках повинно базуватися не на окремому засобі захисту, а на багаторівневій бар'єрній структурі, орієнтованій на припинення аварійного сценарію до формування вибухонебезпечної атмосфери. Основним конструктивним принципом є недопущення виходу водню безпосередньо до машинного приміщення шляхом герметизації первинного контуру та застосування вторинних огороджень. Газовиявлення, автоматичне відсікання, декомпресія та продування повинні розглядатися як єдина швидкодіюча функція безпеки, ефективність якої може бути кількісно охарактеризована часовим критерієм K_t. Вентиляція є важливим додатковим бар'єром, але за значних витоків не може замінювати заходи запобігання та локалізації. Запропоновані критерії K_C і K_t доцільно надалі використовувати спільно з CFD-моделюванням аварійних витоків для обґрунтування конструктивної допустимості конкретних схем подачі водню до суднових дизельних двигунів.

Література

[1] International Maritime Organization. Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Hydrogen as Fuel. MSC.1/Circ.1701. London: IMO, 7 July 2026. 49 p.

[2] European Maritime Safety Agency. Hazard Identification of Generic Hydrogen Fuel Systems: Study Investigating the Safety of Hydrogen as Fuel on Ships. Deliverable D.3.1. Lisbon: EMSA, 2025. 65 p.

[3] European Maritime Safety Agency. Risk Analysis of Generic Hydrogen Fuel Systems: Study Investigating the Safety of Hydrogen as Fuel on Ships. Deliverable D.3.2. Lisbon: EMSA, 2025. 53 p.

FIRE AND EXPLOSION SAFETY OF HYDROGEN SUBSYSTEMS IN MARINE POWER PLANTS BASED ON A BARRIER–SCENARIO APPROACH

Shalapko Denys, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
Hrechka Nataliia, National University of Civil Protection of Ukraine, Educational and Research Institute of Operational and Rescue Forces, Cherkasy, Ukraine
Shatailov Artem, Kherson Educational and Scientific Institute

Abstract. A multi-layer approach to fire and explosion safety for hydrogen subsystems in marine power plants is proposed, based on scenario analysis of accidental hydrogen releases. Safety is considered a sequence of

interacting barriers comprising leakage prevention, secondary containment, detection, automatic isolation, depressurization, inerting or ventilation, and consequence limitation. Concentration- and time-based safety criteria are introduced for a preliminary quantitative assessment of the protection system's ability to interrupt an accident sequence before a hazardous hydrogen atmosphere forms. It is demonstrated that ventilation should not be regarded as a stand-alone protection measure for significant hydrogen releases, while preventing hydrogen ingress into machinery spaces remains the primary design principle.

Keywords: hydrogen, marine power plant, fire safety, explosion safety, hydrogen leakage, gas detection, emergency shutdown, ventilation, risk assessment.

УДК 621.436:662.769

ВПЛИВ МАЛИХ ДОБАВОК ВОДНЮ НА РОБОЧИЙ ПРОЦЕС ТА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Шалапко Д.О.,
кандидат технічних наук, доцент
shalapko.denys@gmail.com
Каплін Є.В.,
здобувач вищої освіти
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджено вплив малих добавок водню до повітряного заряду дизельного двигуна на характер тепловиділення та енергетичну ефективність за змінного навантаження і температури повітря на впуску. Показано, що результативність водневої добавки визначається не лише її кількістю, а й режимом роботи та температурним станом заряду. За часткових навантажень помірне дозування H_2 сприяє інтенсифікації основної фази згоряння та підвищенню ефективного ККД. Обґрунтовано доцільність режимно-залежного керування подачею водню.

Ключові слова: дизельний двигун, водень, робочий процес, тепловиділення, CA50, ефективний ККД, часткове навантаження, температура впускного повітря.

Підвищення енергетичної ефективності суднових дизельних установок за одночасного скорочення використання вуглеводневого палива є одним із перспективних напрямів розвитку морської енергетики. Технологічно доступним способом часткової декарбонізації наявних двигунів є введення водню до повітряного заряду зі збереженням дизельного палива як джерела займання. Така схема не потребує принципової зміни базового дизельного циклу, однак впливає на кінетику згоряння, фазування тепловиділення та енергетичні показники двигуна.

Метою роботи є встановлення впливу малих добавок водню на параметри робочого процесу та енергетичну ефективність дизельного двигуна за різних навантажень і температури повітря на впуску.

Дослідження проводили на дизельному двигуні типорозміру 2Ч13,5/14 за частоти обертання n = 1500 хв$^{-1}$. Розглядали відносні навантаження N_e = 0,25; 0,50; 0,75 та 1,00, а температуру повітря на впуску підтримували на рівнях T_{in} = 20 і 48 °C. Масову частку H_2 змінювали в межах 0–2,0 % відносно масової подачі дизельного палива. Для кожної комбінації параметрів реєстрували серії зі 100 послідовних робочих циклів із трикратним повторенням режиму.

Для аналізу характеру згоряння використовували тиск у циліндрі p(φ), швидкість видимого тепловиділення dQ/dφ, положення CA50, максимальний тиск $p_{(max)}$ та максимальну швидкість наростання тиску (dp/dφ)_max. Швидкість видимого тепловиділення визначали за залежністю

$$\frac{dQ}{d\varphi} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} p \frac{dV}{d\varphi} + \frac{1}{\kappa - 1} V \frac{dp}{d\varphi},$$

де p – тиск у циліндрі; V – поточний об'єм робочої порожнини; φ – кут повороту колінчастого вала; κ – показник адіабати.

Експериментальні результати показали, що дія малих добавок H_2 найбільш виражена за часткових навантажень. За таких режимів нижчий температурний рівень базового дизельного процесу погіршує умови завершення окиснення. Наявність H_2 підвищує реакційну здатність попередньо сформованого заряду та після займання дизельного факела сприяє швидшому поширенню реакцій у камері згоряння.

Найбільш показовим виявився режим 50 % навантаження. За масової частки водню m_{h2} = 1,5 % приріст ефективного ККД відносно базового дизельного режиму становив близько 4,2 % при T_{in} = 20 °C та 5,8 % при T_{in} = 48 °C.

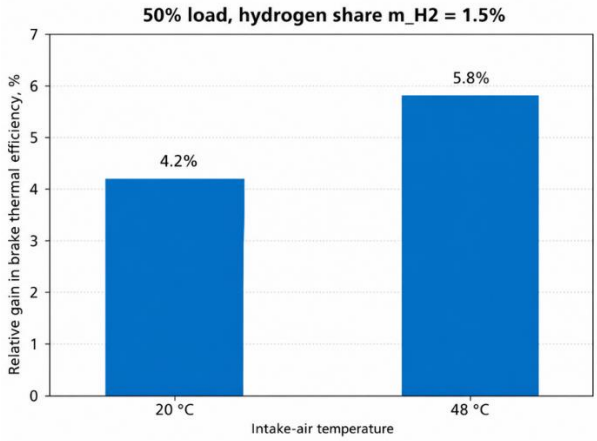


Рисунок 1 – Відносний приріст ефективного ККД при 50 % навантаження та m_{h2} = 1,5 %

Вищий відносний ефект H_2 за 48 °C не означає позитивного впливу нагрівання повітря на двигун. Підвищення температури впускного заряду зменшує його густину та погіршує масове наповнення циліндра. Отриманий результат характеризує компенсаційний ефект водневої добавки, коли інтенсифікація хімічної складової згоряння частково компенсує негативний вплив підвищеної температури повітря.

Для кількісного опису цього явища доцільно використовувати коефіцієнт компенсації

?????????????

де ΔY_{h2} – зміна обраного показника внаслідок введення водню; ΔY_T – його погіршення внаслідок зміни температури повітря.

Разом із тим, подальше збільшення частки H_2 не повинно розглядатися як безумовно позитивне. Зі зростанням кількості попередньо підготовленої горючої суміші тепловиділення концентрується поблизу верхньої мертвої точки, що може спричиняти підвищення p_{max} та $dp/d\varphi_{max}$. Експериментальні дослідження воднево-дизельних двигунів підтверджують звуження допустимого діапазону водневого заміщення зі збільшенням навантаження [1], а для суднових середньообертових двигунів значна частка H_2 може бути обмежена ризиком детонаційного згоряння [3].

Отже, раціональна доза водню повинна визначатися з урахуванням не одного показника ефективності, а комплексу режимних та індикаторних обмежень:

$$m_{H_2,opt} = f(N_e, t_{in}, CA50, p_{max}, (dp/d\varphi)_{max}, \eta_e).$$

Такий підхід особливо актуальний для суднових енергетичних установок, які працюють у широкому діапазоні навантажень і кліматичних умов. Фіксована доза H_2, оптимізована для одного режиму, не забезпечуватиме однакової ефективності під час маневрування, тривалої роботи дизель-генератора на частковому навантаженні або експлуатації судна в умовах підвищеної температури зовнішнього повітря.

Висновки. Встановлено, що малі добавки H_2 впливають на енергетичну ефективність дизельного двигуна передусім через зміну кінетики згоряння та фазування тепловиділення. Найбільш виражений позитивний ефект спостерігається за часткових навантажень. При 50 % навантаження та m_{h2} = 1,5 % приріст ефективного ККД становив близько 4,2 % при (20 °C) і 5,8 % при (48 °C), що підтверджує наявність компенсаційного ефекту водню за підвищеної температури впускного повітря. Для суднового застосування доцільним є режимно-залежне дозування H_2 з обмеженням за CA50, (p_{max}) та $(dp/d\varphi)_{max}$.

Література

[1] Liu X., Liu S., Shen L., Bi Y., Duan L. Study on the Effects of the Hydrogen Substitution Rate on the Performance of a Hydrogen–Diesel Dual-Fuel Engine under Different Loads. *Energies*. 2023. Vol. 16. Article 5971. DOI: 10.3390/en16165971.

[2] Scrignoli F., Pisapia A. M., Savioli T., Mancaruso E., Mattarelli E., Rinaldini C. A. Exploring Hydrogen–Diesel Dual Fuel Combustion in a Light-Duty Engine: A Numerical Investigation. *Energies*. 2024. Vol. 17. Article 5761. DOI: 10.3390/en17225761.

[3] Gu B., Zhou P., Chen N., Karvounis P., Theotokatos G., Yang L. Hydrogen–diesel dual-fuel combustion in marine medium-speed engines: Knocking suppression by direct water injection at high hydrogen substitution ratios. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2026. Vol. 197. Article 152569. DOI: 10.1016/j.ijhydene. 2025.152569.

EFFECT OF SMALL HYDROGEN ADDITIONS ON THE COMBUSTION PROCESS AND ENERGY EFFICIENCY OF A DIESEL ENGINE

Shalapko Denys , Kaplin Yevhenii
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The effect of small hydrogen additions to the intake charge of a diesel engine on combustion characteristics and energy efficiency under variable load and intake-air temperature was investigated. At partial load, moderate H_2 addition intensifies the main combustion phase and improves effective efficiency. At 50 % load and an H_2 mass fraction of 1.5 %, the relative increase in brake thermal efficiency reached approximately 4.2 % at an intake-air temperature of 20 °C and 5.8 % at 48 °C. The results substantiate load- and temperature-dependent hydrogen dosing rather than maintaining a constant hydrogen fraction across the engine operating range.

Keywords: diesel engine, hydrogen, combustion process, heat release rate, CA50, brake thermal efficiency, partial load, intake-air temperature.

УДК 621.436:665.75:662.769

ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ ПАЛИВНОЇ СТРАТЕГІЇ HVO–H_2 У СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Шалапко Д.О.,
кандидат технічних наук, доцент
shalapko.denys@gmail.com
Некряч Д.С.,
добувач освіти
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто перспективи сумісного застосування гідроочищеної рослинної олії HVO та водню як складових комбінованої паливної стратегії для суднових дизельних енергетичних установок. Проаналізовано функціональне поєднання властивостей HVO як відновлюваного парафінового палива з кінетичними особливостями згоряння водню. Показано, що доцільність стратегії HVO–H_2 визначається не лише ступенем заміщення викопного палива, а й узгодженням частки водню з навантаженням двигуна, характеристиками сумішоутворення та фазуванням тепловиділення. Обґрунтовано необхідність режимно залежного дозування H_2 для збереження HVO як основного палива запалювання.

Ключові слова: судновий дизельний двигун, HVO, водень, комбіноване паливо, енергетична ефективність, декарбонізація, робочий процес.

Посилення міжнародних вимог до скорочення викидів парникових газів із суден зумовлює необхідність пошуку технологічних рішень, які можуть бути реалізовані не лише в перспективних енергетичних установках, а й під час модернізації наявного флоту. Особливого значення набувають паливні стратегії, сумісні з дизельним принципом організації робочого процесу та такі, що не потребують повної заміни силової установки. У цьому контексті практичний інтерес становить HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) – гідроочищене відновлюване парафінове паливо, властивості якого дозволяють використовувати його в двигунах із запалюванням від стиснення, а також водень як безвуглецевий додатковий енергоносій.

Водночас перехід лише на HVO не усуває локальних викидів CO_2 під час згоряння, оскільки паливо залишається вуглеводневим. Інший підхід полягає у введенні водню в робочий процес дизеля як додаткового енергоносія. Водень не містить вуглецю, має високу швидкість поширення полум’я та широкі межі займистості, однак його застосування в дизельному циклі потребує забезпечення джерела примусового ініціювання займання. Саме тому поєднання HVO та H_2 становить інтерес як паливна система, у якій HVO одночасно виконує функції основного рідкого енергоносія й пілотного палива запалювання, тоді як водень використовується для часткового заміщення його енергетичної складової та коригування кінетики згоряння.

Метою роботи є обґрунтування принципів застосування комбінованої паливної стратегії HVO–H_2 у суднових дизельних енергетичних установках з урахуванням взаємного впливу фізико-хімічних властивостей палив, навантаження двигуна та частки енергії, що вноситься воднем.

Аналіз результатів досліджень HVO показує, що його високе цетанове число сприяє скороченню періоду затримки займання порівняно з традиційним дизельним паливом. Одночасно менший вміст

ароматичних компонентів і практична відсутність сірки створюють передумови для зменшення утворення твердих частинок і продуктів неповного окиснення [3; 4]. Експериментальні дослідження HVO та його сумішей із дизельним паливом підтверджують, що характер зміни екологічних показників залежить від режиму роботи, налаштувань системи впорскування та використання рециркуляції відпрацьованих газів [5].

Введення H_2 змінює механізм сумішоутворення та подальшого тепловиділення. За помірної частки водню підвищена реакційна здатність паливо-повітряного заряду може сприяти інтенсифікації основної фази згоряння. Проте збільшення ступеня заміщення рідкого палива воднем не забезпечує пропорційного зростання ефективності. За високих часток H_2 можуть збільшуватися максимальна швидкість наростання тиску та локальна температура згоряння, що створює передумови для зростання утворення NO_x. За малих навантажень, навпаки, низька температура газів у периферійних зонах камери згоряння може призводити до неповного окиснення водню [6].

Таким чином, ключовим параметром комбінованого режиму є не абсолютна витрата H_2, а його енергетична частка у загальній кількості підведеної з паливом енергії. Для її оцінювання доцільно використовувати співвідношення

$$X_{h2} = m_{h2}H_{u,h2} / (m_{hvo}H_{u,hvo} + m_{h2}H_{u,h2}).$$

де m_{H_2} і m_{HVO} – масові витрати водню та HVO відповідно;

H_{u,H_2} і $H_{u,HVO}$ – їхні нижчі теплоти згоряння.

Такий підхід принципово важливий для коректного порівняння режимів, оскільки значна відмінність нижчої теплоти згоряння H_2 і HVO робить безпосереднє зіставлення їхніх масових часток недостатньо інформативним.

Для суднового дизеля особливої уваги потребують часткові навантаження, характерні для допоміжних дизель-генераторів та для експлуатації головних двигунів у змінних режимах. За таких умов надмірне збільшення X_{H_2} може бути менш ефективним, ніж використання невеликої коригувальної добавки водню. Тому раціональна стратегія повинна передбачати зміну подачі H_2 залежно від навантаження, температурного стану двигуна та параметрів повітряного заряду, а не підтримання сталої частки водню в усьому робочому діапазоні.

Висновки. Сумісне застосування HVO та водню є перспективною проміжною стратегією декарбонізації суднових дизельних енергетичних установок, оскільки поєднує можливість використання відновлюваного рідкого палива в наявній паливній апаратурі з частковим заміщенням вуглеводневого енергоносія воднем. HVO доцільно розглядати як базове та пілотне паливо, яке забезпечує стабільне самозаймання, тоді як H_2 – як керовану додаткову складову робочого процесу. Ефективність такої комбінації визначається не максимально можливою часткою водню, а її узгодженням із навантаженням двигуна, температурним станом заряду та допустимими параметрами згоряння. Подальше дослідження доцільно спрямувати на формування режимних карт $X_{H_2} = f(N_e, n, T_{in})$, які дозволять визначати раціональну частку водню для конкретних експлуатаційних режимів суднової енергетичної установки.

Література

[1] IMO. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. International Maritime Organization. London, 2023.

[2] Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. *Official Journal of the European Union*. 2023.

[3] Szeto W., Leung D. Y. C. Is hydrotreated vegetable oil a superior substitute for fossil diesel? A comprehensive review of physicochemical properties, engine performance, and emissions. *Fuel*. 2022. Vol. 327. Article 125065. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125065.

[4] Dimitriadis A., Seljak T., Vihar R., Baškovič U. Ž., Dimaratos A., Bezergianni S., Samaras Z., Katrašnik T. Improving PM-NOx trade-off with paraffinic fuels: A study towards diesel engine optimization with HVO. *Fuel*. 2020. Vol. 265. Article 116921. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116921.

[5] Rimkus A., Žaglinskis J., Pukalskas S. Effects of Hydrotreated Vegetable Oil and Diesel Blends on Combustion, Energy Performance, and Emissions of a Compression Ignition Engine Under EGR-Controlled Operation. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2026. Vol. 14. Article 665. DOI: 10.3390/jmse14070665.

[6] Akhtar M. U. S., Asfand F., Khan M. I., Mishra R., Ball A. D. Performance and emissions characteristics of hydrogen-diesel dual-fuel combustion for heavy-duty engines. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2025. Vol. 143. P. 454–467. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.01.246.

[7] Pinto G. M., de Souza T. Z., da Costa R. B. R., Roque L. F. A., Frez G. V., Vidigal L. P. V., Pérez-Rangel N. V., Coronado C. J. R. Hydrogen and CNG dual-fuel operation of a 6-Cylinder CI engine fueled by HVO and diesel: Emissions, efficiency, and combustion analyses. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2025. Vol. 111. P. 407–432. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.02.306.

APPLICATION OF A COMBINED HVO–H_2 FUEL STRATEGY IN MARINE DIESEL POWER PLANTS

Shalapko Denys, Nekriach Dmytro
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The feasibility of the combined application of hydrotreated vegetable oil (HVO) and hydrogen in marine diesel power plants is considered. The complementary roles of HVO as a renewable paraffinic ignition fuel and of hydrogen as an additional carbon-free energy carrier are analyzed. It is shown that the efficiency of the HVO–H_2 strategy is governed primarily by matching the hydrogen energy fraction to engine load, charge conditions, and combustion constraints, rather than by maximizing hydrogen substitution. A load-dependent hydrogen-dosing strategy, with HVO retained as the primary ignition fuel, is therefore proposed as a rational approach to the gradual decarbonization of existing marine diesel engines.

Keywords: marine diesel engine, HVO, hydrogen, dual-fuel operation, energy efficiency, decarbonization, combustion.

УДК 621.436:629.5:662.769

РЕЖИМНО-КЛІМАТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЙ ПОДАЧІ ВОДНЮ В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Шалапко Д.О.,
кандидат технічних наук, доцент
shalapko.denys@gmail.com
Савченко В.С.,
здобувач освіти
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Запропоновано підхід до режимно-кліматичної оптимізації застосування водню в суднових дизельних двигунах, що передбачає спільний вибір способу подачі H_2 та його раціональної дози залежно від навантаження й температурного стану повітряного заряду. Введено систему критеріїв, яка враховує енергетичну ефективність, компенсацію кліматично зумовлених втрат, гранично допустиму частку водню та активний механізм, що обмежує подальше збільшення його подачі. Показано, що фіксована воднева стратегія не забезпечує оптимальних показників у всьому експлуатаційному діапазоні суднового двигуна. Обґрунтовано доцільність формування багатовимірних карт «режим – кліматичні умови – спосіб подачі – доза H_2», які можуть бути використані як основа для розроблення алгоритму адаптивного керування воднево-дизельною енергетичною установкою.

Ключові слова: судновий дизельний двигун, водень, режим роботи, кліматичні умови, оптимізація, воднева добавка, енергетична ефективність, адаптивне керування.

Оптимізація водневої технології повинна розглядатися як багатопараметрична задача, в якій разом зі зміною дози H_2 необхідно вибирати і спосіб його введення.

Метою роботи є формування методики режимно-кліматичного вибору способу та дози подачі водню в судновий дизельний двигун на основі комплексного оцінювання енергетичної ефективності, параметрів робочого процесу, екологічних обмежень і конструктивної допустимості.

Режим роботи суднового двигуна пропонується задавати вектором

$$R = N_e, n, T_{amb}, T_{in}, p_{amb}, \varphi_{RH},$$

де N_e– навантаження двигуна; n – частота обертання; $T_{amb}\}$ – температура зовнішнього повітря; T_{in} – температура повітря перед надходженням до циліндра; p_{amb} – атмосферний тиск; φ_{RH} – відносна вологість.

У межах запропонованої методики доцільно розглядати щонайменше три технологічно різні способи введення H_2:

$$S = S_{int}, S_{EGR}, S_{HP},$$

де S_{int} – подача водню до впускного повітря;

S_{EGR}– введення H_2 у потік охолодженої рециркуляції відпрацьованих газів перед його надходженням до впускного тракту;

S_{HP} – введення мікродомішки H_2 у паливну магістраль високого тиску перед форсункою.

Важливо, що для порівняння різних схем кількість H_2 повинна нормуватися відносно подачі основного палива або загальної підведеної з паливами енергії, а не, наприклад, відносно масової витрати EGR. Для енергетичного порівняння доцільно використовувати

$$X_{h2} = \dot{m}_{h2}H_{u,h2}/(\dot{m}\_fH_{u,}f + \dot{m}_{h2}H_{u,h2}),$$

де m_{H_2}– масова витрата водню; m_f – масова витрата основного палива; H_{u,H_2}та $H_{u,f}$– відповідні нижчі теплоти згоряння.

Для режимів зі зміненою температурою повітря важливо відокремити загальне підвищення ефективності від компенсації кліматично зумовлених втрат. Для цього пропонується використовувати коефіцієнт

$$K_{comp} = [Y(S, H_2, T) - Y(0, T)]/\left[Y\left(0, T_{ref}\right) - Y(0, T)\right],$$

де $Y\left(0, T_{ref}\right)$ – значення показника базового дизельного режиму за еталонних кліматичних умов; *Y(0,T)* – його значення за досліджуваної температури; $Y(S, H_2, T)$ – значення після застосування обраної водневої стратегії.

За такого визначення

$$K_{comp} = [Y(S, H_2, T) - Y(0, T)]/\left[Y\left(0, T_{ref}\right) - Y(0, T)\right],$$

відповідає повній компенсації погіршення показника, спричиненого зміною кліматичних умов; $\left(0 < K_{comp} < 1\right)$ – частковій компенсації, а $\left(K_{comp} > 1\right)$ – перевищенню базового рівня.

Тому гранична воднева доза повинна визначатися як

$$X_{\text{h2}}, max = min_{X_p, X_{dp}, X_{NOx}, X_{knock}, X_{slip}, X_{safe}},$$

де X_p– межа за максимальним тиском; X_{dp} – за жорсткістю згоряння; X_{NO_x} – за допустимим рівнем NO_x; X_{knock} – за детонаційною стійкістю; X_{H_2} – за повнотою використання водню; X_{safe} – за конструктивними та безпековими обмеженнями конкретної системи.

Відповідно, обмежувальний механізм для конкретної режимної точки визначається тим параметром, який першим досягає допустимого значення під час збільшення подачі H_2.

Для оцінювання того, наскільки ефективно використовується саме введений водень, пропонується додатковий показник

$$K_{\text{h2}}, eff = \left[w_g \cdot (-g_e *) + w_{em} \cdot E_{em*}\right]/X_{\text{h2}},$$

де E^*_{em} – інтегральний нормований екологічний ефект; w_g і w_{em} – вагові коефіцієнти.

Оптимальна доза визначається всередині допустимого діапазону:

$$X_{h2},opt(S, R) = \arg\max K_{h2},eff(S, X_{h2}, R),\ 0 < X_{h2} \le X_{h2},max,$$

Після визначення $X_{H_2,opt}$ для кожного способу подачі виконується порівняння стратегій, і оптимальна схема встановлюється як

$$S_{opt(R)} = \arg max_S\ K_{h2},eff[S, X_{h2},opt(S, R), R],$$

за умови виконання всіх конструктивних, екологічних і безпекових обмежень.

Висновки. Ефективне застосування водню в судновому дизельному двигуні не може ґрунтуватися на фіксованому способі подачі та постійній дозі H_2 в усьому експлуатаційному діапазоні. Запропоновано режимно-кліматичний підхід, у якому для кожної комбінації навантаження і температурного стану визначаються оптимальна схема подачі, оптимальна та максимально допустима дози водню, коефіцієнт компенсації кліматичних втрат і активний обмежувальний механізм. Введення показника $K_{H_2,eff}$ дозволяє оцінювати не абсолютний ефект збільшення частки H_2, а результативність використання одиниці підведеної водневої енергії. Формування багатовимірних карт для помірних, тропічних і арктичних умов створює основу для адаптивного керування воднево-дизельною судновою енергетичною установкою та переходу від емпіричного дозування H_2 до режимно обґрунтованої оптимізації.

Література

[1] Шалапко Д. О., Андрєєва Н. Б., Соломенцев О. І. Вплив водневих добавок до основного палива на еколого-енергетичні показники суднового дизельного двигуна в змінних умовах експлуатації. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2026. № 2 (505). С. 120–128. DOI: 10.15589/znp2026.2 (505).13.

[2] Gu B., Zhou P., Chen N., Karvounis P., Theotokatos G., Yang L. Hydrogen–diesel dual-fuel combustion in marine medium-speed engines: knocking suppression by direct water injection at high hydrogen substitution ratios. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2026. Vol. 197. Article 152569. DOI: 10.1016/ j.ijhydene.2025.152569.

[3] Gu B., Karvounis P., Zhou P., Theotokatos G., Chen N. Numerical investigation of low-load performance improvement in a marine PFI hydrogen–diesel dual-fuel engine via elevated compression ratio and split injection. *Applied Thermal Engineering*. 2026. Vol. 302. Article 132067. DOI: 10.1016/j.applthermaleng. 2026.132067.

[4] Shalapko D. Advanced fuel system with gaseous hydrogen additives. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. 2024. Vol. 72, No. 2. Article e148837. DOI: 10.24425/bpasts.2024.148837.

[5] International Maritime Organization. Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Hydrogen as Fuel. MSC.1/Circ.1701. London: IMO, 2026.

OPERATING-MODE AND CLIMATE-BASED OPTIMIZATION OF HYDROGEN SUPPLY STRATEGIES IN MARINE DIESEL ENGINES

Shalapko Denys, Savchenko Vladyslav

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An operating-mode and climate-based approach to hydrogen utilization in marine diesel engines is proposed, in which both the hydrogen supply method and the rational H_2 fraction are selected according to engine load and intake-charge thermal conditions. A system of criteria is introduced to account for energy efficiency, compensation of climate-induced performance deterioration, maximum permissible hydrogen fraction and the active limiting mechanism. It is demonstrated that a fixed hydrogen strategy cannot provide optimum engine performance throughout the entire operating envelope. The resulting multidimensional maps linking operating conditions, climate, hydrogen supply strategy and H_2 dosage can provide a basis for adaptive control of hydrogen–diesel marine power plants.

Keywords: marine diesel engine, hydrogen, operating conditions, climate conditions, optimization, hydrogen supplementation, energy efficiency, adaptive control.

УДК 629.123:665.773(075.8)

УТВОРЕННЯ МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Шостак В.П.,
кандидат технічних наук,
професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
shostakvolodymyr7@gmail.com
Личко Б.М.,
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
bogdan.lychko@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглядаються та аналізуються на атомно-молекулярному рівні ендотермічні й екзотермічні процеси хімічної взаємодії вуглецю і кисню з утворенням вуглекислого газу, частка якого дисоціює на чадний газ і атоми кисню, які, в свою чергу, окиснюють атомізований вуглець до монооксиду в умовах обмеженої кількості кисню.

Ключові слова: відхідні та димові гази, монооксид вуглецю, теплота дисоціації кисню та вуглекислого газу, теплота збудження вуглецю, реакція Будуара.

У відхідних і димових газах суднових енергетичних установок містяться основні продукти згоряння вуглеводнів – діоксид вуглецю CO_2 (вуглекислий газ) і вода H_2O, а також деяка, незначна, кількість монооксиду вуглецю CO (чадного газу). Оскільки CO дуже токсична речовина [2], то вона потребує пильної уваги, на що вказують суворі екологічні вимоги міжнародної морської організації (ІМО), які спонукають активніше зменшувати викиди оксидів в морське довкілля.

Монооксид вуглецю утворюється в циліндрах двигунів внутрішнього згоряння та суднових котлах, в яких спалюються в основному важке й дизельне паливо та метан. Процес утворення чадного газу напряму залежить від надлишку повітря, локальних температур у циліндрах і топках котлів, якості палива тощо. Наголосимо, що важкі високов'язкі палива сприяють утворенню більшої кількості недопалених залишків, зокрема сажі, та CO.

Механізм безпосередньої взаємодії атомів кисню (Оксигену О) з вуглецем (Карбоном С) недостатньо з'ясований і в значній кількості публікацій, наприклад [3; 4], характеризується як складний, важкий в аспекті експериментальних досліджень та такий, що чекає подальшого осмислення. Поряд з цим, багатьма авторами, зокрема в публікаціях [2; 5], відмічається, що згоряння вуглецю при обмеженій кількості кисню закінчується утворенням чадного газу.

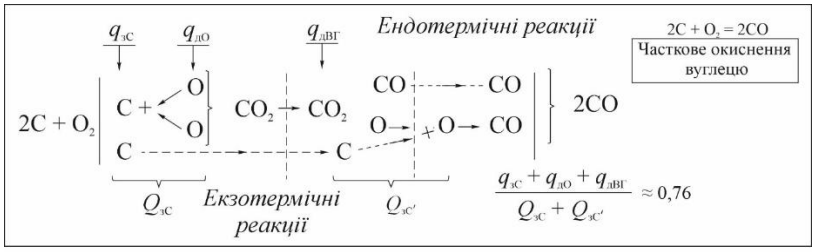
На рис. 1, *а* зображені процеси згоряння вуглецю, де в хімічну взаємодію вступають 2 атоми вуглецю та молекула кисню і утворюється молекули чадного газу CO. Для того, щоб відбулися зображені хімічні процеси, вуглець і кисень повинні поглинути певну енергію (при високій температурі, понад 1000 °С) і перетворитися із стабільних, хімічно нейтральних, структур в хімічно активні:

– вуглець зі збудженими 4-ма електронами зовнішнього енергетичного рівня (з 4-ма ковалентними зв'язками);

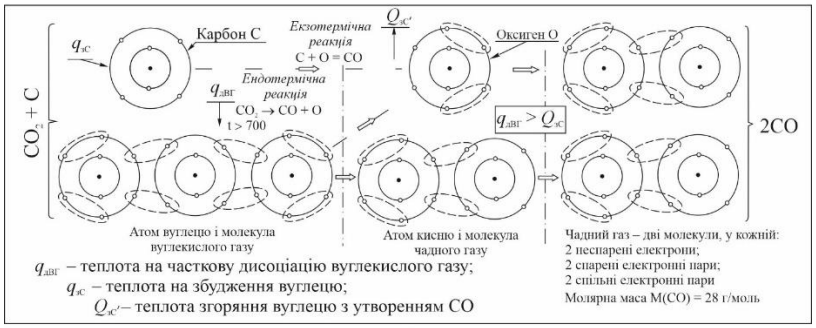
– 2 атомами кисню, кожний з яких має по дві пари спарених електронів і 2 неспарені електрони також на зовнішньому енергетичному рівні (саме останні хімічно активні).

Як відомо, для цього вуглець і кисень поглинають відповідно теплоту збудження $q_{зС}$ і теплоту дисоціації $q_{дО}$. Згідно з [1] і багатьма іншими джерелами $q_{зС}$ = 717 кДж/моль і $q_{дО}$= 498 кДж/моль. Отже, це ендотермічні реакції.

Збудження та дисоціація обумовлюють створення орбіталей між атомом вуглецю і 2-ма атомами кисню зі спільними електронними парами, породжуючи молекулу CO_2. Це реакція екзотермічна з виділенням теплоти $Q_{зС}$ = 1609 кДж/моль [1]. Локальна температура зростає. Частка цієї теплоти йде на часткову дисоціацію вуглекислого газу. Теплота дисоціації, що поглинається молекулою CO_2, становить $q_{дВГ}$ = 283 кДж/моль [1]. Температура падає. Утворюється оксид CO і атом кисню – Оксиген О (див. рис. 1, *б*, середня частина). Збуджений Карбон С взаємодіє з оксигеном О, утворюючи оксид CO і виділяється теплота часткового окиснення вуглецю $Q_{зС}'$=1325 кДж/моль [1].



а



б

Рисунок 1 – Утворення чадного газу при згорянні вуглецю:
а – структурна схема; б – зниження ступеня окиснення вуглецю (реакція Будуара)

Отже, при синтезі чадного газу (монооксиду вуглецю), теплота, відведена назовні, становить

$$Q_{кЧГ} = \frac{1}{2}[(1609 + 1325) - (2 \cdot 717 + 498 + 283)] = 359 \text{ кДж/моль}.$$

За браком кисню, при хибній конструкції котла або неправильні його експлуатації, при зміні навантаження на малообертовий двигун, на малих ходових режимах тощо, коли повністю окиснений вуглець (CO_2) і збуджений вуглець попадають в зону з середньої температурою ~500 °С, відбувається оборотна реакція часткового відновлення вуглецю (реакція Будуара, або Будуара-Белла), що призводить до створення чадного газу (див. рис. 1, *б*):

$$CO_2 + C = 2CO.$$

В цих динамічних процесах вуглець виступає як відновлювач. Оскільки температурне поле при спалюванні вуглеводнів вкрай нерівномірним, то реакція Будуара проявляється навіть тоді, коли кисню не бракує, догорання (доокиснення) CO не відбувається внаслідок швидкого падіння температури при ході поршня до нижньої мертвої точки.

На рис. 1, *б* на атомно-молекулярному рівні зображена реакція Будуара. Атоми кисню і вуглецю зображені умовно, так само і молекули вуглекислого та чадного газів. На внутрішньому (першому) енергетичному рівні атомів знаходяться по 2 електрони, які звичайно неспарені, а на зовнішньому у Карбону С електронів чотири і у Оксигену О електронів шість. Молекула CO_2, поглинаючи теплоту часткової дисоціації $q_{\text{дВГ}}$, розпадається на молекулу CO та Оксиген О, який зі збудженим карбоном С, на що витрачена енергія $q_{\text{зС}}$, утворює ще одну молекулу CO з виділенням теплоти $Q_{\text{зС}}{}'$.

Як бачимо, молекула чадного газу має 2 неспарені електрони, так що цей газ за певних умов активно згоряє у повітряному середовищі синім полум'ям до CO_2, а температура може сягати 2100 °С. При концентрації у повітрі чадного газу від 12,5 до 74,2 % він вкрай вибухонебезпечний. Його температура самозаймання за різними даними лежить в межах 605 – 650 °С.

Висновки.

1. Процеси згоряння вуглецю супроводжується ендотермічними і екзотермічними хімічними реакціями; розгляд їх на атомно-молекулярному рівні розширює наші уявлення про спалювання органічних палив.
2. Згоряння вуглеводнів, вугілля, деревини за будь-яких умов пов'язане з утворенням певної частки монооксиду вуглецю, оскільки на практиці це відбувається у швидкоплинних процесах з нерівномірним полем температур у полум'ї.
3. Наявність монооксиду вуглецю у відхідних і димових газах знижує кількість корисної теплової енергії, заради якої спалюється паливо.
4. Зниження концентрації монооксиду вуглецю у продуктах згоряння лежить через покращення розпилу палива, особливо на перехідних та часткових режимах роботи двигунів внутрішнього згоряння, та впровадження в конструкції, наприклад, твердопаливних котлів вторинного повітря.

Література

[1] Горіння. Вільна енциклопедія. http://uk.wikipedia.org/wiki/горіння

[2] Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління : навч. посібник / Лисенко Г.В., Хміль Г.А., Барабашев С.В., Забулонов Ю.Л., Тищенко Ю.С. Київ : Наук. Думка, 2014. 32 с.

[3] Кириченко Б.М. Курс загальної хімії. Теоретичні основи : навчальний посібник. Київ : Знання, 2009. 54 с. – ISBN 978-966-346-712-2.

[4] Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / За ред. В.С. Білецького. Д. : Донбас, 2004. Т. 1: А-К. 64 с. ISBN 966-7804-14-3.

[5] Чадний газ, окис вуглецю, CO. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р.А. Шміг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В,М. Барабаш ; за ред. Р.А. Шміга. Львів, 2010. 21 с. ISBN 978-966-7407-83-4.

FORMATION OF CARBON MONOXIDE IN MARINE POWER PLANTS

Shostak V.P., Lychko B.M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Endothermic and exothermic processes of the chemical interaction of carbon and oxygen, resulting in the formation of carbon dioxide, are considered and analyzed at the atomic-molecular level. A fraction of the carbon dioxide undergoes dissociation into carbon monoxide and oxygen atoms, which, in turn, oxidize atomized carbon to carbon monoxide under conditions of limited oxygen availability.

Keywords: exhaust and flue gases, carbon monoxide, dissociation enthalpy of oxygen and carbon dioxide, carbon excitation enthalpy, Boudouard reaction.

УДК 514.18

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Бідніченко О.Г.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
olena.bidnichenko@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто особливості застосування процесу геометричного моделювання для створення цифрових моделей окремих технічних деталей та складальних конструкцій. Проаналізовано засоби і методи автоматизованих графічних систем *AutoCAD* та *SolidWorks* щодо двовимірного та тривимірного моделювання, параметризації геометричних об'єктів та автоматизованого формування конструкторської документації. Змодельовані в роботі приклади доводять ефективність застосування геометричного моделювання для різних за призначенням і складністю технічних об'єктів.

Ключові слова: геометричне моделювання; цифрове проєктування; *CAD* система; *AutoCAD*; *SolidWorks*; параметричне моделювання; 3-*D* модель.

Вступна частина. Сучасний розвиток машинобудівної промисловості характеризується широким застосуванням цифрових технологій на всіх етапах розробки та підготовки виробництва. Одним із ключових елементів цифрового проєктування є геометричне моделювання , яке забезпечує створення цифрових моделей технічних об'єктів (деталей, вузлів і складальних конструкцій). Використання автоматизованих систем дає можливість не тільки підвищити точність проєктування і скоротити час розробки проєкту, а головне -– виконувати аналіз і оптимізацію конструкції, що проєктується, ще до виготовлення фізичного прототипу.

Метою роботи є дослідження практичних можливостей створення геометричних моделей технічних об'єктів у системах автоматизованого проєктування та визначення ефективності їх застосування при сучасному проєктуванні машинобудівних конструкцій.

Основна частина. Одним із базових інструментів цифрового проєктування є геометричне моделювання, яке забезпечує формалізований опис форми, розмірів і просторового розташування технічного об'єкта та створення його цифрової моделі. У сучасному проєктуванні використовуються аналітичні, матричні та параметричні методи, які забезпечують точне формування і подальше редагування цифрової моделі. Модель є базовим елементом цифрового проєктування, яка дозволяє здійснити подальші інженерні розрахунки, аналіз моделі та виконати оптимізацію конструкції.

Практичний досвід використання цифрових моделей показує, що ефективність проєктування визначається вибором методів моделювання та степеню параметризації. В свою чергу параметричне моделювання базується на встановленні взаємних залежностей між геометричними параметрами об'єкта. При зміні одного з параметрів пов'язані елементи моделі автоматично оновлюються до нових значень. Такий підхід є важливим під час модифікації конструкції та пошуку оптимальних проєктних рішень [1; 2].

У даному дослідження проаналізовано можливості двох систем автоматизованого моделювання – *AutoCAD* та *SolidWorks*. Система *AutoCAD* забезпечує створення двовимірних креслеників, схем та тривимірних моделей, а також підтримує твердотільне та поверхневе моделювання. Для формування складних об'ємних моделей використовуються операції *EXTRUDE*, *REVOLVE*, *SWEEP*, *LOFT*, які дозволяють отримувати об'ємні тіла із двовимірних профілів. Програма *AutoCAD* підтримує створення тривимірних об'єктів на основі геометричних примітивів та їх подальшу модифікацію використовуючи операції трансформації, за допомогою операцій булевої алгебри шляхом об'єднання моделей, їх віднімання та перетину (*Union*, *Subtract*, *Intersect*) [1].

Наведені на рис. 1 тривимірні моделі нагрівача, охолоджувача і вінторульової колонки та в роботі [3] практичні приклади, які охоплюють елементи суднових систем і механізмів (кресленик котельного агрегату суднового машинного відділення, схема масляної системи головного двигуна і редуктора, тривимірні моделі складових одноступінчастого косозубого редуктора та балонів стисненого повітря), демонструють можливість застосування геометричного моделювання різних за призначенням і складністю технічних об'єктів.

Система *SolidWorks* орієнтована на тривимірне твердотільне параметричне моделювання деталей та складальних конструкцій. Відкритий характер математичної моделі та дерево побудови дають змогу відстежувати послідовність створення моделі й змінювати її параметри без порушення цілісності конструкції, що особливо важливо при модифікації проєктних даних. Працюючи в автоматизованій програмі *SolidWorks* розробник використовує цифрові копії реальних моделей, що дозволяє задіяти для

проєктування логіку складальних об’єктів; яким чином буде здійснюватися збірка на виробництві, такий шлях і повинен бути реалізованим в моделі.

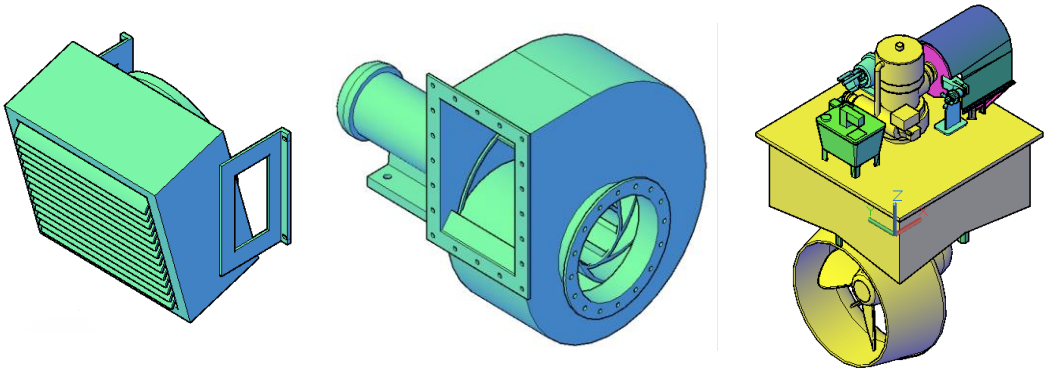


Рисунок 1 – Геометричні моделі елементів суднової енергетичної установки

Під час геометричного моделювання об’єктів використовуються такі операції формоутворення: *Extrude, Revolve, Sweep, Loft* – для створення об’ємів, *Fillet, Chamfer, Shell* – для доопрацювання форми моделі, *Pattern, Mirror* – для багаторазового копіювання елементів моделі. Для удосконалення моделі передбачені поверхневі інструменти *Loft (surface), Boundary Surface, Freeform*.

Важливою перевагою сучасних систем автоматизованого проєктування *AutoCAD* та *SolidWorks* є можливість автоматизованого формування конструкторської документації на основі створеної тривимірної моделі. Система забезпечує генерацію видів, прив’язку розмірів до параметрів моделі та формування специфікацій. Такий підхід скорочує обсяг ручної роботи та зменшує ймовірність помилок при повторному виконанні креслеників. На рис. 2. показано приклад отримання в системі *SolidWorks* плоского проєкційного кресленика із тривимірної моделі вентиля, який широко використовується на суднах як запірна арматура у суднових системах різного цільового призначення.

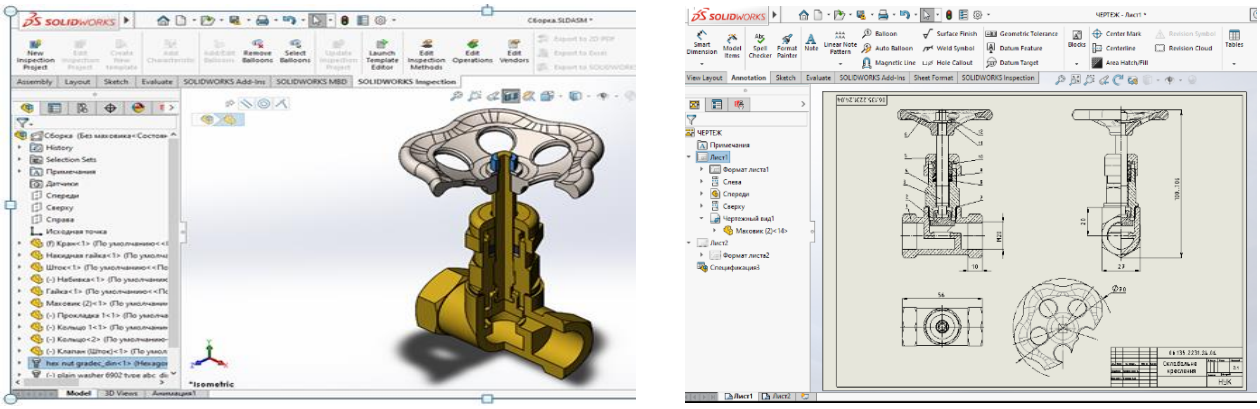


Рисунок 2 – Тривимірна модель та кресленик складальної одиниці, виконаний у системі SolidWorks

Проведений аналіз показує, що автоматизація геометричного моделювання дозволяє підвищити точність проєктування, скоротити час розробки виробів та суттєво зменшити кількість помилок. Створена розробником цифрова модель може бути використана для подальших інженерних розрахунків, аналізу та оптимізації конструкції. Візуалізація тривимірних об’єктів також забезпечує можливість оцінювання їх геометричних і конструктивних особливостей до початку фізичного виготовлення технічного об’єкта.

Перспективним напрямком підвищення ефективності геометричного моделювання є створення та розширення бібліотек стандартних геометричних елементів, характерних для конкретної галузі виробництва. Їх використання дозволить скоротити час створення типових деталей і конструкцій та підвищити ефективність роботи конструктора.

Висновки: Проведене дослідження підтвердило, що геометричне моделювання є одним із фундаментальних компонентів цифрового проєктування. Поєднання 2-*D* і 3-*D* моделювання, параметризації та автоматизованого формування конструкторської документації в системах *AutoCAD* і *SolidWorks* забезпечує ефективне створення цифрових моделей технічних об’єктів різного рівня складності. Подальший розвиток такого підходу пов’язаний з розширенням бібліотек стандартних елементів та інтеграцію геометричних моделей із сучасними технологіями цифрового інжинірингу.

Література

[1] Борисенко В.Д. Об'ємне моделювання в AutoCAD: навчальний посібник / В.Д. Борисенко, О.Г. Бідніченко, І.В. Устенко. Миколаїв : ФОП Швець В.Д., 2014. 22 с. {in Ukranian}.

[2] Бідніченко О.Г. Сучасні тенденції розвитку систем автоматизованого комп'ютерного моделювання/ Міжвідомчий науковий збірник «Управління розвитком складних систем». ISSN 2219-5300 (Print), 2419–9933 (Online) № 49. Київ : КНУБА, 2022. С. 59-65. http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/265290 {in Ukranian}.

[3] Бідніченко О.Г. Створення геометричних моделей технічних об'єктів в графічних автоматизованих системах. / Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». Вип. 109. Київ : КНУБА, 2025. С. 17–33. {inUkrainian}. DOI: https://doi.org/10.32347/0131-579X.2025.109.17-34

[4] Shih R. H. Learning SOLIDWORKS 2025: Modeling, Assembly and Drawings. SDC Publications, 2025.

GEOMETRIC MODELING OF TECHNICAL OBJECTS AS A TOOL FOR DIGITAL DESIGN

Bidnichenko Olena G.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines the application of geometric modeling to create digital models of individual technical components and assemblies. It analyzes the tools and methods of the AutoCAD and SolidWorks CAD systems regarding 2D and 3D modeling, the parameterization of geometric objects, and the automated generation of design documentation. Modeled examples demonstrate the use of geometric modeling for technical objects varying in purpose and complexity.

Keywords: geometric modeling; digital design; CAD system; AutoCAD; SolidWorks; parametric modeling; 3D model.

УДК 621.431:532.5

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОНДЕНСАЦІЇ ВОЛОГИ В ОХОЛОДЖУВАЧАХ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Гогоренко О.А.,
кандидат технічних наук, доцент
oleksiy.gogorenko@gmail.com
Немченко А.В.,
аспірант
andrii.nemchenko@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розроблено та експериментально перевірено математичну модель прогнозування вологовипадання в охолоджувачі наддувного повітря суднового дизельного двигуна. На основі чотирисекційного розрахункового підходу визначено характеристики тепло- та масообміну, температуру теплообмінної поверхні й точки роси. Порівняння розрахункових значень з експериментальними даними показало розбіжність не більше 5,0 %. Встановлено вплив витрати наддувного повітря, температури охолоджувальної рідини й навколишнього середовища та відносної вологості повітря на інтенсивність і просторовий розподіл вологовипадання.

Ключові слова: охолоджувач наддувного повітря, математична модель, конденсація вологи, точка роси, протитечійний теплообмінник, верифікація.

Вступна частина. Утворення конденсату під час охолодження вологого наддувного повітря є одним із чинників, що визначають ефективність і надійність суднових дизельних двигунів. Конденсація водяної пари в охолоджувачі наддувного повітря (ОНП) є результатом взаємопов'язаного перебігу процесів тепло- та масообміну. Інтенсивність вологовипадання визначається температурою і вологовмістом наддувного повітря, температурою охолоджувального середовища, масовою витратою повітря, а також конструктивними та геометричними параметрами теплообмінника [1; 2]. Традиційні методики теплового розрахунку ОНП переважно розглядають сухий теплообмін, тому вплив вологи часто не враховується або оцінюється спрощено [3]. За температури теплообмінної поверхні нижче точки роси виникає конденсація, що потребує врахування додаткового масообміну та прихованої теплоти фазового переходу [4].

Для суднових дизельних двигунів ризик вологовипадання зростає через високу температуру й відносну вологість атмосферного повітря, характерних, зокрема, для тропічних умов, а також під час охолодження наддувного повітря низькотемпературною забортною водою. Сукупний вплив цих факторів може знижувати температуру теплообмінної поверхні до рівня точки роси та спричиняти утворення конденсату в ОНП [4].

Основна частина. Експериментальні дослідження виконувалися на лабораторному стенді [5] кафедри ДВЗ У та ТЕ НУК імені адмірала Макарова. Отримані параметри використовувалися як вихідні дані для подальшої перевірки математичної моделі.

Таблиця 1 – Результати верифікації математичної моделі

Номер режиму		**Температура повітря за ОНП, ºС**	**Аеродинамічний опір ОНП, кПа**	**Температура води за ОНП, ºС**
1	Експеримент	21,7	2,67	20,9
	Розрахунок	20,7	2,8	21,7
	Похибка, %	4,6	4,9	3,8
2	Експеримент	21,2	1,99	20,9
	Розрахунок	20,3	1,99	21,3
	Похибка, %	4,2	0,0	1,9
3	Експеримент	22,7	1,38	22,1
	Розрахунок	21,6	1,327	22,4
	Похибка, %	4,8	3,8	1,4
4	Експеримент	27,6	0,91	25,6
	Розрахунок	26,3	0,87	26,7
	Похибка, %	4,7	4,4	4,3
5	Експеримент	28,8	0,67	26,2
	Розрахунок	27,4	0,64	27,5
	Похибка, %	4,9	4,5	5,0

Для аналізу процесу охолодження наддувного повітря та встановлення умов виникнення конденсації розроблено математичну модель зворотного розрахунку ОНП, доповнену модулем оцінювання вологовипадання на теплообмінній поверхні [6]. Як критерій виникнення конденсації використано коефіцієнт вологовипадання (ξ), який визначає масу вологи, що конденсується з парової фази в рідку на одиницю маси сухого повітря в процесі його охолодження в ОНП.

Для кожного значення температури навколишнього середовища розрахунки виконувалися для діапазону відносної вологості повітря φ = 0,2…0,9 з кроком 0,1. Для кожного значення φ визначали залежність коефіцієнта вологовипадання (ξ) від температури охолоджувальної води. Діапазони температури охолоджувальної рідини задавалися залежно від температури навколишнього середовища, з кроком 1 ºС**,** відповідно до вихідних даних математичного моделювання, наведених у табл. 2.

Таблиця 2 – Вхідні параметри для математичного моделювання

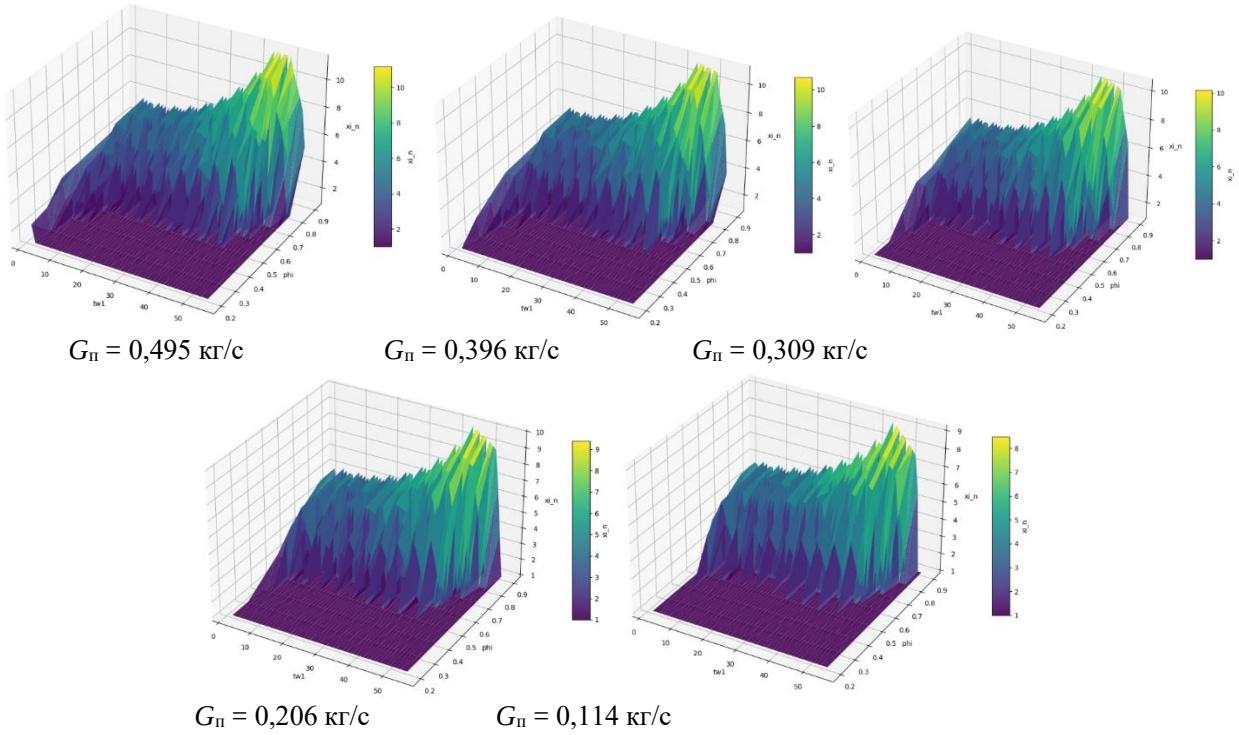
Температура навколишнього середовища, ºС	**Вологість навколишнього середовища**	**Температура забортної води, ºС**
5	0,2…0,9	2…12
10		5…15
15		10…20
20		15…25
25		20…30
30		25…35

Розрахунки виконано для п’яти значень масової витрати наддувного повітря $G_п$ = 0,495, 0,396, 0,309, 0,206 і 0,114 кг/с.

За результатами розрахунків побудовано сімейство тривимірних поверхонь залежності коефіцієнта вологовипадання (ξ) який має вигляд:

$$\xi = f(G_п; t_0; t_{w1}; \varphi). \quad (1)$$

Результати розрахунків представлені на рис. 1.



$G_п$ = 0,495 кг/с $G_п$ = 0,396 кг/с $G_п$ = 0,309 кг/с

$G_п$ = 0,206 кг/с $G_п$ = 0,114 кг/с

Рисунок 1 – Тривимірні поверхні залежності $\xi = f(Gn; t0; tw1; \varphi)$

Результати проведених досліджень показали, що процес вологовипадання в ОНП має виражений залежний від режиму роботи характер. Зміна витрати наддувного повітря, температури навколишнього середовища, температури охолоджувальної рідини та відносної вологості повітря призводить до зміни температурного стану повітряного потоку та поверхні теплообміну, що безпосередньо визначає умови виникнення конденсації.

Висновки. У результаті проведеного дослідження здійснено експериментальну верифікацію математичної моделі на доступних режимах роботи експериментального стенду та виконано моделювання процесів конденсації вологи в охолоджувачі наддувного повітря (ОНП). Задовільна відповідність результатів експериментальних досліджень і математичного моделювання процесів теплообміну підтверджує обґрунтованість застосування розробленої моделі для прогнозування процесів вологовипадання. Встановлена суттєва локальна нерівномірність розподілу вологи свідчить про обмеженість усереднених методів розрахунку ОНП, які не враховують просторову зміну теплофізичних параметрів уздовж теплообмінної поверхні. Отримані результати підтверджують, що інтенсивність і просторовий розподіл вологовипадання визначаються комплексним впливом витрати наддувного повітря, температури навколишнього середовища, температури охолоджувальної рідини та відносної вологості повітря, а також взаємодією зазначених параметрів у межах теплообмінної поверхні.

Література

[1] Hewitt, G. F. (Ed.). (2008). Heat exchanger design handbook. Begell House.

[2] Thulukkanam, K. (2013). Heat exchanger design handbook (2nd ed.). CRC Press.

[3] Kays, W. M., London, A. L. (1984). Compact heat exchangers (3rd ed.). McGraw-Hill.

[4] Shah, R. K., Sekulic, D. P. (2003). Fundamentals of heat exchanger design. John Wiley & Sons.

[5] Гогоренко, О. А., Немченко, А. В. (2025). Сучасний підхід до автоматизації вимірювань при експериментальних дослідженнях охолоджувачів наддувного повітря. *Збірник наукових праць НУК*. № 4 (502), С. 99–106. https://doi.org/10.15589/znp2025.4 (502).11 [in Ukrainian].

[6] Гогоренко О. А., Мошенцев Ю. Л., Немченко А. В. Дослідження особливостей роботи охолоджувачів наддувного повітря на режимах з випаданням вологи. *Сучасний стан та проблеми двигунобудування* : Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : Іліон, 2024. С. 67–69.

[7] Basler, I., Reister, H., Rossmann, R., Weigand, B. (2021). Experimental investigation of the pressure drop during water condensation inside charge air coolers. *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, 3 (5), 2617–2626. https://doi.org/10.4271/2021-01-0202

[8] Basler, I., Reister, H., Rossmann, R., Weigand, B. (2021). A simulation method for the calculation of water condensation inside charge air coolers. *SAE Technical Paper*, 2021 (01), 0226. https://doi.org/10.4271/2021-01-0226

MODELING AND STUDY OF MOISTURE CONDENSATION PROCESSES IN CHARGE AIR COOLERS OF MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Gogorenko O.A., Nemchenko A.V.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Abstract. A mathematical model for predicting moisture condensation in a charge air cooler of a marine diesel engine was developed and experimentally validated. Based on a four-section computational approach, heat and mass transfer characteristics, the heat transfer surface temperature, and the dew point were determined. Comparison of the calculated values with experimental data showed a deviation of no more than 5.0 %. The effects of charge air flow rate, coolant temperature, ambient temperature, and relative humidity on the intensity and spatial distribution of moisture condensation were established.

Keywords: charge air cooler, mathematical model, moisture condensation, dew point, counterflow heat exchanger, validation.

УДК 621.43.019.8

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ 8ЧН25/34 ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ОХОЛОДЖЕННЯ ВТУЛКИ ЦИЛІНДРА

Грабовенко О.І.,
старший викладач кафедри двигунів та енергетичних установок
Первомайського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова м. Первомайськ, Україна
oleksandr.hrabovenko@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто напрям підвищення ефективних показників суднового дизеля 8ЧН25/34 за рахунок оптимізації параметрів охолодження втулки циліндра. Показано взаємозв'язок між температурним станом втулки та ефективністю робочого процесу дизеля. Обґрунтовано необхідність забезпечення раціонального температурного режиму втулки, який дає змогу зменшити теплові втрати без погіршення умов роботи циліндро-поршневої групи.

Ключові слова: втулка циліндра, дизель 8ЧН25/34, ефективна потужність, ефективний ККД, охолодження, питома витрата палива, тепловий стан.

Вступна частина. Суднові дизельні двигуни є основними енергетичними установками більшості сучасних суден. Підвищення їх економічності та надійності значною мірою визначається ефективністю робочого процесу, рівнем теплових втрат, механічними втратами та температурним станом деталей циліндро-поршневої групи.

Одним із важливих елементів, що визначає тепловий стан циліндро-поршневої групи, є втулка циліндра. Через її стінку відводиться значна частина теплоти, яка надходить від робочих газів. Тому параметри системи охолодження безпосередньо впливають на температуру втулки та пов'язані з нею теплові втрати.

Для дизеля 8ЧН25/34 питання вдосконалення конструкції циліндрової групи та теплових процесів є актуальними. Одним із перспективних напрямів такого вдосконалення є оптимізація охолодження втулки циліндра. При цьому необхідно враховувати, що збільшення інтенсивності охолодження не завжди призводить до підвищення ефективності дизеля. Надмірне відведення теплоти збільшує теплові втрати та може погіршувати умови протікання робочого процесу.

Мета роботи. Дослідження можливості підвищення ефективних показників дизеля 8ЧН25/34 шляхом оптимізації температури втулки циліндра.

Основна частина. Одним із можливих шляхів збереження енергії палива всередині циліндру являється зменшення втрат в охолоджуюче середовище (воду і оливу) до мінімально-можливих границь, при яких забезпечується працездатність двигуна.

Обмежувальними параметрами, що визначають мінімум втрат, будуть умови змащування деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) а також допустимий рівень температур і напружень в деталях, що утворюють камеру згоряння. Із всіх деталей ЦПГ в частині зменшення теплових втрат заслуговують втулки циліндрів (ВЦ) через які відводиться в охолоджуюче середовище до 8…10 % від теплоти, що вноситься в циліндр з паливом $Q_П$. Більша частина тепла (7…8 % $Q_П$) підводиться до ВЦ від робочих газів, а менша (1…2 % $Q_П$) – являється теплом тертя поршневих кілець і тронка поршня по ВЦ [1].

Змінність теплосприймаючої поверхні ВЦ і різниця в кількості підведеного тепла по її висоті, а також конструктивні особливості приводять до того, що втрати тепла, рівень температур і напружень, умови змащування по довжині ВЦ різні. Так аналіз розрахунково- експериментального температурного поля ВЦ дизеля 8ЧН25/34 показує (рис.1), що температура у верхньому бурту із сторони камери згоряння 200…220°С, в районі розташування верхнього компресійного кільця 125°С і на решті частині 80…90°С. Втрати тепла в охолоджуючу воду складає 45700кДж/год або 7,1 % $Q_П$. При наявності охолоджуваних оливою поршнів це доволі великі втрати тепла, що пов'язано з інтенсивним відведенням тепла по всій довжині ВЦ.

Для зменшення теплових втрат доцільно підвищити температури по поверхні тертя дзеркала ВЦ до значень на 30…40°С менших температури коксування оливи, тобто до температур 140…150°С.

Розрахункові дослідження теплового стану ВЦ для різних умов охолодження показали, що в цьому випадку тільки при відсутності охолодження нижньої і середньої частини можна забезпечити температуру по дзеркалу 130°С.

Для цього поверхня ВЦ із сторони охолодження покривалась спеціальною смолою И-62 з коефіцієнтом теплопровідності 0,253 Вт/(м·К). Товщина покриття змінювалась від 2,5мм в нижній частині до 0,2мм у верхній частині.

Теплоізоляція підвищила температуру ВЦ на 25…30°С (рис.1). Втрати тепла через ВЦ при цьому склали 39800 кДж/год або 6,2 % $Q_П$, а ефективна питома витрата палива g_e зменшилась на 1,5 г/(кВт·год).

В табл.1 показані втрати тепла через окремі елементи серійної і дослідної теплоізольованої ВЦ. Розрахунки показали, що через поверхні верхнього бурта (ділянка 1) серійної ВЦ в блок циліндрів і в кришку циліндра відводиться до 42 %, а через іншу поверхню 58 % підведеного до ВЦ тепла. Для дослідної теплоізольованої ВЦ відведення тепла по цим поверхням складає відповідно 87,2 % і 42,8 %.

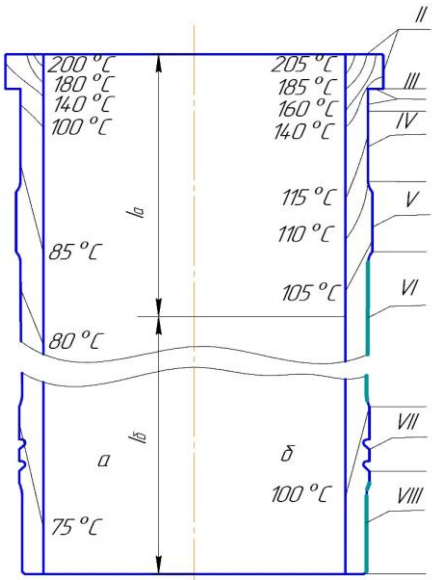


Рисунок 1 – Теплонапруженість втулок циліндрів: а – серійна; б – дослідна з теплоізоляцією

Таблиця 1 – Втрати тепла через окремі елементи серійних втулок циліндрів і дослідних з теплоізоляцією

№ дільниці	**$I_а$**	**$I_б$**	**II**	**III**	**IV**	**VI**	**VII**	**VIII**
Площа дільниці. м^2	0,267	0,267	0,006	0,018	0,073	0,024	0,312	0,073
Серійна втулка циліндра								
$t_{ср}$, °С			138	132	85	81	75	81
Q, кДж/год	40000	5700	7300	11800	15550	550	9800	700
Дослідна втулка циліндру із теплоізоляцією								
$t_{ср}$, °С			141	146	111	89	108	83
Q, кДж/год	36200	3600	8140	14560	7620	3740	4100	1640

Висновки

1. Температурний стан втулки циліндра є одним із важливих факторів, що визначають теплові втрати, економічність та надійність суднового дизеля 8ЧН25/34.
2. Оптимізація охолодження повинна передбачати не максимальне відведення теплоти, а забезпечення раціональної температури втулки циліндра.
3. Отримані результати досліджень підтверджують можливість підвищення паливної економічності дизелів типу ЧН25/34 за рахунок раціонального конструювання втулки циліндру, порожнин і систем охолодження і правильного вибору граничних умов роботи по забезпеченню змащування деталей ЦПГ.

Література

[1] Dere C., Deniz C. Effect analysis on energy efficiency enhancement of controlled cylinder liner temperatures in marine diesel engines with model based approach. Energy Conversion and Management. 2020. Vol. 220. Art. 113015. DOI: 10.1016/j.enconman.2020.113015.

[2] Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підручник. Миколаїв : ФОП Торубара В. В., 2021. 33 с.

[3] Shenoi S. S., Sivan M., Vamsi Krishna C. S., Lakshmikanth R., Ganesh N. Enhancement of Heat transfer of Cylinder liner and Coolant jacket for High powered Diesel engine. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 24, Part 2. P. 1488–1497. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.04.468.

IMPROVING THE PERFOMANCE INDICATORS OF THE 8ChN25/34 DIESEL ENGINE THROUGH OPTIMIZATION OF CYLINDER LINER COOLING

Hrabovenko O.I.

Pervomaisk Educational and Research Institute Admiral Makarov National University of Shipbuilding Pervomaisk, Ukraine

Abstract. This paper examines a method for improving the performance indicators of the 8ChN25/3 marine diesel engine by optimizing the cooling parameters of the cylinder liner. The interrelationship between the liner's thermal state and the efficiency of the diesel engine's operating process is demonstrated. The necessity of maintaining an optimal thermal regime for the liner–one that reduces heat losses without compromising the operating conditions of the cylinder-piston assembly–is substantiated.

Keywords: cylinder liner, 8ChN25/34 diesel engine, effective power, effective efficiency, cooling, specific fuel consumption, thermal state.

УДК 697.329

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОСИФОННОГО ВАКУУМНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Єпіфанов О.А.,
к.т.н, доцент,
epifanov.nuk@gmail.com
Пацурковський П.А.,
к.т.н., доцент,
pavlo.patsurkovskyi@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна
Україна, м. Миколаїв, пр. Героїв України, 9.

Анотація. Розроблено математичну модель термосифонного вакуумного сонячного колектора (ТВСК). Отримано розрахункові дані його теплової ефективності: температури води на виході з колектора, теплової потужності та коефіцієнта корисної дії. Розглянуто вплив режимних параметрів: інтенсивності сонячного випромінювання, витрати води, температури повітря, швидкості повітря на теплотехнічні характеристики колектора.

Ключові слова: вакуумний сонячний колектор, термосифон, теплова ефективність.

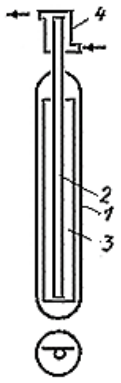


Рисунок 1 – Елемент ТВСК:
1 – вакуумна скляна трубка;
2 – термосифон;
3 – променепоглинальна пластина; 4 – водонагрівач

Вступна частина. Дослідження, спрямовані на покращення теплотехнічних характеристик сонячних колекторів, є актуальними. Результати таких досліджень мають практичну цінність, бо дозволяють створювати сонячні колектори з високою ефективністю перетворення сонячної енергії на теплову.

Мета роботи: дослідження впливу режимних параметрів на теплову ефективність вакуумного термосифонного сонячного колектора.

Основна частина. Для підвищення теплової ефективності розроблено конструкцію термосифонного вакуумного сонячного колектора. У конструкції колектора променепоглинальні пластини, розміщені всередині вакуумних скляних трубок, з'єднані із зонами кипіння термосифонів. Зони конденсації термосифонів омиваються водою, що нагрівається (рис. 1).

Аналіз літератури [1, 2, 3] показав, що математичні моделі та методики розрахунку розроблені переважно для плоских сонячних колекторів, а також колекторів з гнітовими тепловими трубами та вакуумних колекторів з U-подібними трубами. До цього часу в літературі немає опису закінченої математичної моделі та методики

розрахунку термосифонних вакуумних сонячних колекторів [1, 2, 3]. На сьогодні в літературі відсутні комплексна математична модель та методика розрахунку термосифонних вакуумних сонячних колекторів.

В роботі розроблено математичну модель вакуумного сонячного колектора, який складається із послідовно омиваних водою термосифонних елементів (рис.1). Температура води на вході становила 20 °С.

Розрахункове дослідження проводили для конструкції ТВСК, геометричні та теплофізичні параметри якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Геометричні та теплофізичні параметри ТВСК

Параметр	Розмірність	Значення
Ширина променепоглинальної пластини	м	0,083
Товщина променепоглинальної пластини	м	0,001
Довжина зони кипіння термосифона	м	1,6
Довжина зони конденсації термосифона	м	0,2
Зовнішній діаметр термосифона	м	0,028
Внутрішній діаметр термосифона	м	0,026
Зовнішній діаметр боросилікатної скляної трубки	м	0,09
Зовнішній діаметр ізоляції	м	0,08
Теплопровідність ізоляції	Вт/(м·К)	0,045
Коефіцієнт пропускання скляної трубки	-	0,88
Коефіцієнт поглинання променепоглинальної пластини	-	0,95
Теплопровідність матеріалу пластини та термосифона	Вт/(м·К)	307
Кількість термосифонних елементів у колекторі	шт.	23
Ступінь заповнення термосифона робочою рідиною	%	30

Характер зміни температури води на виході з *i*-го елемента ТВСК в залежності від режимних параметрів: густини потоку сонячної радіації I, витрати води G_w, температури повітря t_a та швидкості вітру V, показано на рис. 2.

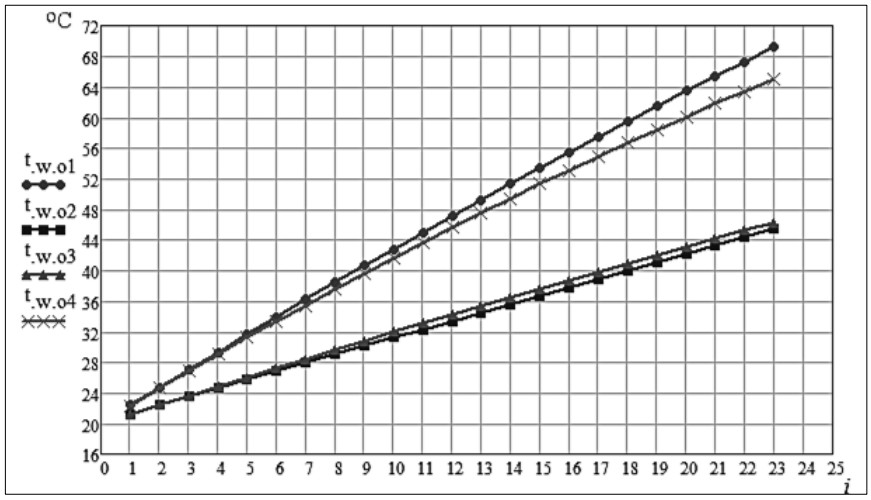


Рисунок 2 – Залежність температури води $t_{w.o}$ від номера і елемента ТВСК:
1 – G_w = 0.01 kg/s, t_a = 30 °C, V = m/s; 2 – G_w = 0.02 kg/s, t_a = 20 °C, V = m/s;
3 – G_w = 0.02 kg/s, t_a = 30 °C, V = m/s; 4 – G_w = 0.01 kg/s, t_a = 30 °C, V = m/s

На рис. 3 простежується тенденція зниження ККД елементів колектора η за рахунок зростання температури променесприймальної пластини і внаслідок цього збільшення теплових втрат через скляну оболонку до навколишнього середовища.

За інтенсивності сонячного випромінювання 920 Вт/м² і витрати 0,01 кг/с вода нагрівалася до 69 °С, теплова потужність становила 2057 Вт, ККД – 73 %. Подвоєння витрати до 0,02 кг/с зменшувало вихідну температуру до 46 °С, водночас потужність зростала до 2194 Вт, а ККД – до 78 %. Таким чином, температурний приріст води зменшувався з 49 до 26 °С, проте корисна потужність збільшувалася на 137 Вт, або приблизно на 6,7 %. Зниження інтенсивності сонячного випромінювання з 920 до 800 Вт/м² за витрати 0,02 кг/с зменшувало потужність із 2194 до 1918 Вт і температуру води з 46 до 42 °С, хоча ККД зростав із 78 до 79 %.

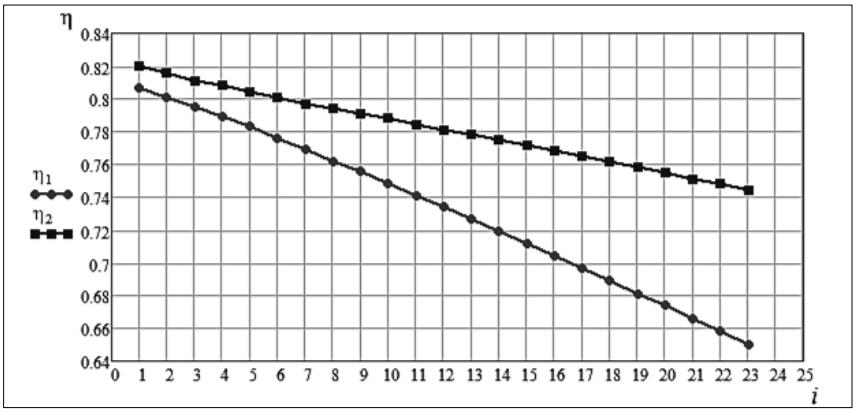


Рисунок 3 – Залежність ККД η елемента ТВСК від номера і элемента при $t_{w.i}$ = 20 °C:
η_1 _ G_w = 0.01 kg/s, $t_{w.i}$ = 20 °C, t^a = 30 °C, V = m/s;
η_2 _ G_w = 0.02 kg/s, $t_{w.i}$ = 20 °C, T^a = 30 °C, V = m/s

Висновки. На основі розробленої математичної моделі виявлено вплив режимних параметрів: густини потоку сонячної радіації, витрати води та температури атмосферного повітря на теплотехнічні характеристики ТВСК: температуру води на виході, теплову потужність та коефіцієнт корисної дії.

Література

[1] Duffie J.A, Beckman W.A, Blair N. Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind. Fifth edition, New York: Wiley, 2020. https://doi.org/10.1002/9781119540328.

[2] Reay D., Kew, P. Heat Pipes: Theory, Design and Applications. Butterworth Heinemann, Oxford, Fifth Edition, 2006. 378 p.

[3] Smaisim G.F., Abed A.M., Hadrawi S.K., Jahanbin F.S. Modelling and analysis of parameters of vacuum tube solar collector with U-shaped tube for different climate. *Clean Energy*, 2023, Vol. 7, No. 3, 519–531. https://doi.org/10.1093/ce/zkac073

INVESTIGATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF AN EVACUATED-TUBE THERMOSYPHON SOLAR COLLECTOR

Epifanov O.A., Patsurkovskyi P.A.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A mathematical model of a thermosyphon evacuated-tube solar collector was developed. The calculated thermal performance parameters include the water outlet temperature, thermal power, and efficiency. The effects of operating parameters, including solar radiation intensity, water flow rate, ambient air temperature, and air velocity, on the thermal characteristics of the collector were investigated.

Keywords: evacuated-tube solar collector, thermosiphon, thermal performance.

УДК 621.43

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТАНКЕРА КЕРУВАННЯМ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

Калініченко І.В.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
Херсонського навально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
ivan.kalinichenko@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі показано, що необхідний рівень тиску і необхідні характеристики впорскування палива з форсункою з вбудованим паливним акумулятором тиску можуть бути забезпечені сучасними системами з електронним керуванням типу Common Rail. Впровадження даної системи є одним із способів поліпшення паливної економічності і підвищення екологічної безпеки суднових дизельних установок.

Ключові слова: форсунка з вбудованим паливним акумулятором тиску; впорскування палива; Common Rail.

Актуальність теми. Процес подачі палива поряд з газорозподілом найбільшою мірою визначає ефективність роботи дизельного двигуна, фіксуючи характер протікання тепловиділення в циліндрі двигуна і тим самим ефективність його роботи. Можливості управління цими процесами розширюються завдяки інтеграції інтелектуальних мікропроцесорних систем управління та акумуляторних систем подачі палива Common Rail (CR) двигунів, які використовуються на суднах у якості головних ДВЗ. Специфічні умови експлуатації суднових дизелів вступають в корінне протиріччя з концепцією загального акумулятора тиску – паливною рампою, що набула широкого поширення в конструкції системи малорозмірних двигунів, що працюють на легкому дизельному паливі. Так, різні види палива, які повинен використовувати двигун, визначають широкий температурний діапазон по паливу: +25…+150 °С. Це, в свою чергу, викликає істотну відмінність в лінійному тепловому розширенні загальної рампи, створюючи високі термічні напруги в конструкції, які підсумовуючись з механічними напруженнями від тиску палива, здатні перевищити межу міцності матеріалу [1; 2].

Мета роботи – є підвищення екологічних показників та паливної ефективності дизель-генератора шляхом контролю параметрів роботи голки паливної форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску.

Основна частина. При створенні системи CR для суднових середньо- і малооборотних дизелів з циліндричної потужністю до 300 кВт при 720 … 1200 хв$^{-1}$ і цикловою подачею понад 4 г/цикл зверталася увага на флуктуації тиску палива в рампі, які чинять негативний вплив на параметри впорскування [2]. При цьому істотне збільшення обсягу акумулятора для згладжування пульсацій тиску тягне за собою адекватне зростання навантажень на стінки акумулятора, що провокують його руйнування. Цей факт вимагав для великорозмірних стаціонарних і суднових ДВЗ переглянути концепцію системи і ввести в конструкцію додаткові індивідуальні акумулятори для кожної форсунки (групи форсунок).

Поряд з тиском упорскування, яке впливає на витрати палива і викиди, важливим є закон упорскування. Закон уприскування визначає, коли і скільки палива впорскується в циліндр. Для того щоб зменшити викиди і витрата палива на даному етапі еволюції системи упорскування для двигунів, пропонується ділити послідовність упорскування палива на три окремі фази (рис. 1). Основна фаза уприскування палива визначає потужність двигуна. Попередня фаза уприскування ініціює раннє згоряння, щоб забезпечити контрольоване горіння палива в основній фазі уприскування.

Це зменшує викиди оксидів азоту, так як більш плавне протікання процесу тепловиділення, що відбувається в цьому випадку, запобігає досягнення високих температур в циклі дизельного двигуна. Фаза післявприска, наступна безпосередньо після основної фази вприскування палива, знижує викиди твердих частинок за рахунок більш повного перемішування палива та повітря під час пізньої фази згоряння (фази догорання).

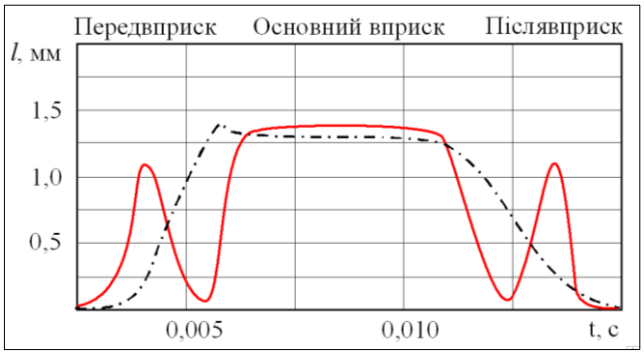


Рисунок 1 – Витрати палива при роботі форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску, l – підняття голки форсунки, мм;
_____ з системою CR; – – – газорозподільчим валом

Залежність роботи форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску з системою CR на екологічні показники дизель-генератора «MAN” 5L28/32H представлені на рис. 2, з якого видно, що при використанні контрольованого тиску впорскування палива (суцільна лінія) та форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску вдається забезпечити подачу палива з максимальним тиском. Це дозволяє зменшити утворення токсичних речовин у відхідних газах ДВЗ на 7…16 % при завантаженні дизель-генератора на 50…75 %.

Підвищення тиску подачі палива здатне збільшити дисперсність розпилювання палива, кут розкриття паливного факела і, в результаті, дозволяє більш повно використовувати свіжий заряд циліндра в процесі згоряння. Ці явища сприяють скороченню емісії незгорілих вуглеводнів, сажі та оксидів азоту з відпрацьованими газами сучасних дизельних двигунів.

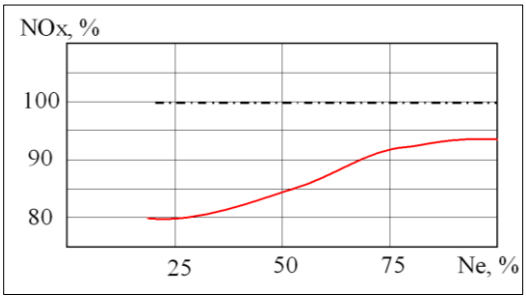


Рисунок 2 – Зміни утворення токсичних речовин у відхідних газах ДГ фірми "MAN" 5L28/32 H при використанні форсунки з акумулятором тиску

На рис. 3 представлені результати впливу роботи системи CR з форсункою із вбудованим паливним акумулятором тиску на паливну ефективність дизель-генератора «MAN" 5L28/32H.

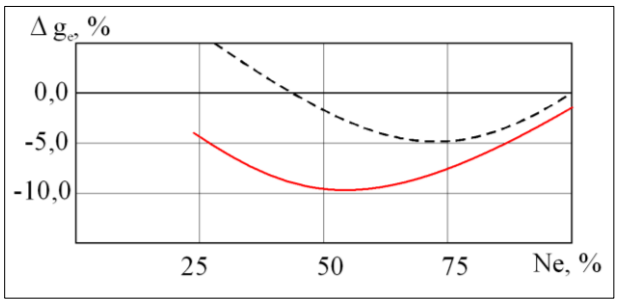


Рисунок 3 – Вплив витрати палива дизель-генератора фірми "MAN" марки 5L28/32H при використанні форсунки з акумулятором тиску

З рис. 3 видно, що при регулюванні відкриття голки паливної форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску на завантаженні дизель-генератора 5L28/32H фірми "MAN" з системою CR в діапазоні 50…75 % призводить до зменшення витрати палива на 4…9 %.

Висновки. При використанні контрольованого тиску впорскування палива та форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску вдається забезпечити подачу палива з максимальним тиском, що дозволяє зменшити утворення токсичних речовин NOx у відхідних газах ДВЗ на 7…16 %, і збільшити паливну ефективність на 4…9 % при завантаженні дизель-генератора на 50…75 %.

Література

[1] Kalinichenko, I., Kornienko, V., Kobalava, H. (2025). Effectiveness Evaluation of Using a Ship Alternative Heat Pump Steam Generating Unit. In: Lytvynov, O., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2024. ICTM 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 1474. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-94852-7_15/

[2] About Everllence. *Everllence*: офіційний сайт. URL: https://www.everllence.com/company (дата звернення: 10.09.2026).

IMPROVEMENT OF THE PERFORMANCE INDICATORS OF THE TANKER POWER PLANT BY CONTROLLING THE OPERATION MODES OF THE FUEL EQUIPMENT

Kalinichenko I.V.

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. It has been shown that the required pressure level and the required fuel injection characteristics with an injector with built-in fuel pressure accumulator can be provided with modern electronic control systems such as Common Rail. Implementation of this system is one of the ways to improve fuel efficiency and increase the environmental safety of ship diesel plants.

Keywords: nozzle fuel pressure accumulator; fuel injection; Common rail.

УДК 629.113

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОДАЧІ ПАЛИВА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ У ВІДХІДНИХ ГАЗАХ ДВЗ

Калініченко І.В.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
Херсонського навально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
ivan.kalinichenko@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі проаналізована ефективність застосування електронної системи впорскування палива Common Rail для зменшення токсичних викидів у відпрацьованих газах суднових ДВЗ. Показано, що необхідний рівень тиску і необхідні характеристики впорскування можуть бути забезпечені сучасними системами з електронним керуванням.

Ключові слова: електронна система Common Rail; токсичні викиди; паливний насос високого тиску.

Актуальність теми. Введення норм IMO Tier III в 2016 р вимагає зниження викидів оксидів азоту (NOx) з відпрацьованими газами двигунів на 75 % в порівнянні з нормами IMO рівня Tier II. Скорочення викидів може бути досягнуто лише шляхом застосування нових технологій для суднових дизельних двигунів.

Для того, щоб контролювати викиди з відхідними газами, не погіршуючи економічності дизелів, ці технології повинні бути спрямовані на значне поліпшення параметрів палива і подачі повітря до камери згоряння двигуна.

Відомо, що необхідний рівень тиску і необхідні характеристики впорскування можуть бути забезпечені сучасними системами з електронним керуванням типу Common Rail (CRS). Впровадження подібних систем як одного із способів покращення паливної економічності і підвищення екологічної безпеки суднових дизельних установок викликано жорсткими екологічними та економічними вимогами до сучасних суднових дизелів. Показані досягнення в частині розробки і організації процесу подачі палива високого тиску стосовно суднових малообертових дизелів [1].

Мета роботи – є підвищення екологічної ефективності та зменшення викидів NOx у відхідних газах МОД з використанням електронної системи керування режиму роботи паливного насосу високого тиску.

Основна частина.

Специфічні умови експлуатації суднових дизелів вступають в корінне протиріччя з концепцією загального акумулятора тиску – паливною рампою, що набула широкого поширення в конструкції системи малорозмірних двигунів, що працюють на легкому дизельному паливі. Протиріччя відносяться як до загальнотеоретичних, конструкційних, технологічних, так і до логістичних аспектів експлуатації системи CRS2.2 на великих суднових ДВЗ.

Електронні системи керування подачею палива дозволяють забезпечувати гнучке регулювання кута випередження впорскування і характеристики впорскування. Електронне керування має цілий ряд переваг перед механічним, з яких варто відзначити гнучке регулювання циклової подачі, мінімальну нерівномірність подачі по циліндрах, регулювання оптимального режиму кута випередження впорскування, моментальна діагностика системи і вибір режиму роботи двигуна відповідно до його стану в даний момент часу та ін.

Так само в сучасному дизелебудуванні для зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу стали використовувати насос-форсунки, які мають двоступінчастий електрокерований дозуючий клапан. Насос-форсунки дозволяють збільшити тиск впорскування палива до 200 МПа, і, завдяки своїм функціям, знизити навантаження на лінії високого тиску.

Компанія MAN B & W веде розробки, в тому числі і в напрямку електронного контролю режимів роботи двигунів. В режимі економічного ходу, подача палива здійснюється в одне впорскування протягом 15 градусів оберту колінчастого валу, при цьому максимальний тиск згоряння досягається 155 МПа на 195-му градусі повороту колінчастого вала, а момент початку видимого згоряння палива починається на 182-му градусі повороту колінчастого вала і відбувається при тиску 12,0 МПа. Викиди NO_X при роботі двигуна в цьому режимі коливаються в межах 1150 … 1180 ppm (рис. 1).

Зміна режиму роботи двигуна на режим зниженого викиду NO_X відбувається протягом 15 секунд і рівень викидів NO_X падає до 480ppm (рис. 1). Подача палива в такому режимі відбувається з передвприскуванням, максимальний тиск палива доводиться на сто вісімдесят першому градусі повороту колінчастого вала і становить 100 МПа, а максимальний тиск основного впорскування доводиться на 197-й градус повороту колінчастого вала і становить 153 МПа.

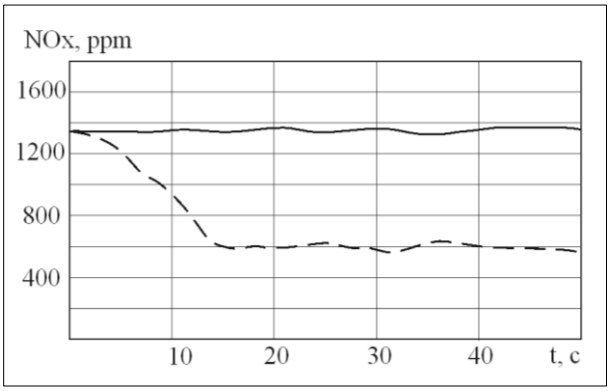


Рисунок 1 – Зміна викидів NOx у відхідних газах на різних режимах роботи МОД «MAN" 5S50ME-C8.5-TIII

На рис. 2 приведений вплив зміни режиму роботи МОД на токсичні викиди NOx у відхідних газах, з якого видно, що при регулюванні режиму роботи ПНВТ із використанням подачі палива у циліндри з передпуском концентрація NOx у відхідних газах зменшується на 40…55 % при зміні режиму роботи МОД «MAN" 5S50ME-C8.5-TIII в діапазоні потужностей 75…90 %.

Так само із загальних елементів паливної системи ведуться розробки більш швидкісних електромагнітних клапанів для зниження небажаних ефектів на початку і кінці подачі палива і збільшення числа настроювальних функцій форсунки. Принцип дії п'єзоприводу заснований на зворотному п'єзоелектричного ефекту [2].

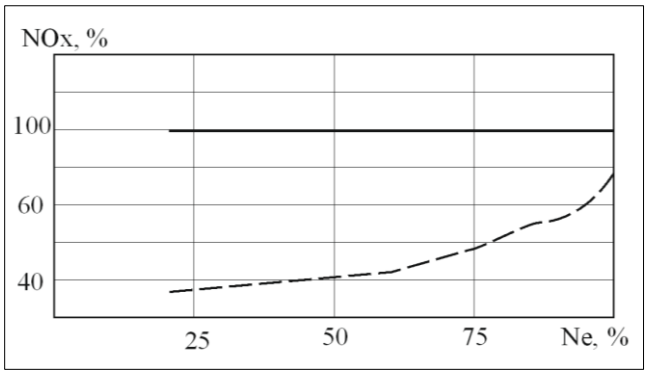


Рисунок 2. Вплив зміни режиму роботи МОД на токсичні викиди NOx у відхідних газах

Зворотний п'єзоелектричний ефект виявляється у зміні лінійних розмірів п'єзоелемента внаслідок дії зовнішнього електричного поля. Оскільки величина деформації (приріст довжини) є прямо пропорційною прикладеній напрузі, зміна різниці потенціалів на обкладках елемента дає змогу прецизійно керувати його геометричними параметрами.

З упевненістю можна стверджувати, що різноманіття конструкцій системи Common Rail, високий рівень конструювання, застосування прогресивних матеріалів і технологій дозволять виробникам підвищити рівень експлуатаційних властивостей устаткування, що випускається, а також створить передумови до забезпечення бажаних ресурсних характеристик елементної бази системи.

Висновки

– виявлені додаткові можливості зменшення викидів NOx у відхідних газах малообертового двигуна 5S50ME-C8.5-TIII за допомогою електронної системи регулювання режиму роботи паливного насосу високого тиску.

– виявлено, що при електронному регулюванні режиму роботи ПНВТ із використанням подачі палива у циліндри з передвпуском концентрація NOx у відхідних газах зменшується на 40…55 % при зміні режиму роботи МОД «MAN" 5S50ME-C8.5-TIII в діапазоні потужностей 75…90 %.

Література

[1] About Everllence. Everllence: офіційний сайт. URL: https://www.everllence.com/company (дата звернення: 21.09.2026).

[2] Kobalava, H., Kornienko, V., Kalinichenko, I. (2026). Numerical Study of Pressure Losses and Efficiency in Thermopressors. In: Lytvynov, O., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2025. ICTM 2025. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1919. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-22382-1_7

THE ELECTRONIC SYSTEM OF FUEL SUPPLY CONTROL TO REDUCE TOXIC EMISSIONS IN ENGINE GASES ARE USING

Kalinichenko I.V.

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The paper analyzes the effectiveness of the use of the Common Rail Rail Electronic Injection System to reduce the toxic emissions from the exhaust gases of ship's engines. It is shown that the required pressure level and the required injection characteristics can be provided by modern electronic control systems.

Keywords: Common Rail electronic system; toxic emissions; high pressure fuel pump.

УДК 65.9

ЗМІНИ У СИСТЕМІ ПЛАНОВОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СТАНУ СУДНОВИХ МЕХАНІЗМІВ ЗА ВИМОГАМИ LLOYD'S REGISTER

Кісєтов Ю.В.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики,
kisetov499ukr.net
Личко Б.М.,
кандидат технічних наук,
завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики,
bogdan.lychko@gmail.com
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Важливим напрямом розвитку систем планового технічного обслуговування (ТО) суднових механізмів є перехід від систем регламентного ТО (preventive maintenance) до профілактичного обслуговування через встановлені інтервали (condition-based maintenance).

У доповіді зроблено аналіз змін, які регламентуються новими документами Lloyd's Register для впровадження системи ТО з урахуванням фактичного стану устаткування починаючи з 2026 року.

Ключові слова: технічне обслуговування (ТО), технічний стан, система управління ТО, контроль суднових механізмів, методи діагностики.

Вступна частина. Однією зі складових контролю технічного стану (ТО) судових механізмів є періодичні огляди класифікаційних товариств. Розвиток цифрових систем управління ТО, методів діагностики та моніторингу стану обладнання веде до поступового переходу від регламентного підходу до більш гнучких моделей – планового обслуговування, обслуговування за фактичним станом та ТО, що грунтується на оцінці ризику та прогнозуванні відмов.

Саме цьому спрямовані зміни, опубліковані Lloyd's Register (LR) 23 червня 2026 року у Class News 12/2026 [1].

При регламентному підході обладнання обслуговується через певний період чи після певної кількості годин роботи. Такий метод простий, але має істотний недолік: не завжди враховує реальний технічний стан конкретного механізму. Обладнання може бути в хорошому стані і не вимагати розбирання, незважаючи на головну роль у такій системі належить судновому технічному персоналу, насамперед старшому механіку. Він забезпечує виконання передбачених системою робіт, фіксує результати ТО, виявлені дефекти, вимірювання та результати випробувань.

Класифікаційне товариство, своєю чергою, здійснює аудит системи та перевірку її фактичної ефективності, а не обов'язково проводить повний обсяг окремих оглядів кожного механізму у момент виконання ТО.

Такий підхід дозволяє пов'язати дві раніше багато в чому роздільні процедури – експлуатаційне ТО та класифікаційний контроль – у єдину інформаційну систему. В результаті технічні дані, накопичені в

системі планового ТО (Planned Maintenance Scheme), стають основою прийняття рішень про стан обладнання та виконання вимог класу.

Основна ідея змін полягає не в зниженні вимог до технічного стану суднових механізмів, а в модернізації самої системи класифікаційного контролю: спрощенні адміністративних процедур, ширшому використанні цифрових даних та більш чіткому поділі відповідальності між судновласником, судноплавними компаніями (технічним менеджментом), екіпажем та класифікаційним суспільством [2–5].

Мета роботи. Проаналізувати зміни процесу переходу від реактивного ремонту (виправлення поломок за фактом) до предиктивного та превентивного обслуговування для мінімізації простоїв, зниження витрат та забезпечення безпеки.

Основна частина. Lloyd's Register у своєму стандарті LR-SR-LSS 005 встановлює вимоги до двох паралельних процесів – проведення планового ТО та безперервного моніторингу стану виробничого обладнання.

1. Планове ТО:

• *Регламентні роботи:* Визначення чітких інтервалів для перевірки, мастила, очищення та заміни витратних матеріалів на основі напрацювання годин (мотогодин) або календарних термінів;

• *Технологічні карти (Checklists):* Покрокові інструкції для сервісних інженерів щодо кожної одиниці обладнання для виключення людського фактору;

• *Категоризація ТО:* Поділ на щоденне обслуговування (ТО-0), мале (ТО-1), середнє (ТО-2) та капітальний ремонт.

2. Моніторинг технічного стану (Condition Monitoring) – впровадження методів неруйнівного контролю та телеметрії для раннього виявлення дефектів:

• *Вібродіагностика:* Контроль рівня вібрації підшипників, валів та турбін для запобігання заклиненню;

• *Термографія:* Тепловізійний контроль електричних шаф, кабельних ліній і вузлів, що труться, на предмет перегріву;

• *Трибодіагностика:* Аналіз складу та в'язкості мастил для виявлення металевої стружки та зносу внутрішніх деталей;

• *Ультразвуковий контроль:* Пошук витоків стисненого повітря/газів та мікротріщин у корпусах обладнання.

Висновки. Зміни запропоновані Lloyd's Register характеризують черговий етап розвитку системи класифікаційного контролю суднових механізмів. Їхня основна мета – об'єднати планове ТО, моніторинг стану, оцінку ризику та цифрове управління технічними даними в єдину ефективнішу систему.

Головний сенс реформи полягає у переході від моделі, коли він класифікаційний контроль значною мірою орієнтований окремі періодичні огляди, до моделі безперервного управління технічним станом устаткування. При цьому класифікаційне суспільство зберігає контроль через схвалення системи, щорічні аудити, вибіркові перевірки, функціональні випробування та аналіз технічної документації.

Література

[1] Lloyd's Register – Class News 12/2026: Changes to Machinery Planned Maintenance and Condition Monitoring / URL: https://maritime.lr.org/l/941163/2026-06-23/d6b7s/941163/1782211879ZTVYncTN/Class_News_12_2026 _Changes_to_Machinery_Planned_Maintenance_and_Condit.pdf?_gl=1*erdwhx*_gcl_au*NDY2NjUwMDkuMTc4Mjk5NzY3NQ.*_ga*MjEzODAxNDM5OS4xNzgyOTk3Njc1*_ga_BTRFH3E7GD*czE3ODgyNzk0MTIkbzMkZzAkdDE3ODgyNzk0MTIkajYwJGwwJGg4NjM0MTA5OTc (дата звернення 03.09.2026).

[2] Lloyd's Register – Machinery Planned Maintenance and Condition Monitoring / URL: – https://www.lr.org/en/knowledge/lloyds-register-rules/shipright/linked-supporting-services-lss/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 03.09.2026).

[3] Lloyd's Register. LR-SR-LSS 005: Machinery Planned Maintenance and Condition Monitoring. April 2026 / URL: https://www.lr.org/en/knowledge/lloyds-register-rules/shipright/linked-supporting-services-lss/ ?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 03.09.2026).

[4] Lloyd's Register. LR-GN-019: Guidance Notes for Machinery Survey Arrangements / URL: https://www.lr.org/en/knowledge/lloyds-register-rules/guidance-notes/guidance-notes-for-machinery-survey-arrangements/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 03.09.2026).

[5] Kisietov J. V., Lychko B. M. Overview of modern scheduled maintenance systems for ship equipment: "Modern engineering and innovative technologies", No42, Part 1, December 2025 / – Sergeieva&Co, Karlsruhe, Germany: Pp. 61–70. Available at: DOI: 10.30890/2567-5273.2025-42-01-065

CHANGES TO THE PLANNED MAINTENANCE AND TECHNICAL CONDITION MONITORING SYSTEM FOR SHIP MACHINERY IN ACCORDANCE WITH LLOYD'S REGISTER REQUIREMENTS

Yu. Kisetov, Bogdan Lychko
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. An important direction in the development of scheduled maintenance systems for ship mechanisms is the transition from preventive maintenance systems to condition-based maintenance.

The report analyzes the changes regulated by new Lloyd's Register documents for the implementation of a maintenance system taking into account the actual condition of the equipment starting in 2026.

Keywords: maintenance, technical condition, control system, control of ship mechanisms, diagnostic methods.

УДК 65.9

АКУСТИЧНА ДІАГНОСТИКА СУДНОВИХ НАСОСІВ

Петрик Р.В.,
студент, спеціальність G11 «Машинобудування» (за спеціалізацією «Суднобудування»)
освітня програма «Суднові енергетичні установки та устаткування
Кісєтов Ю.В.,
науковий керівник,
канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
kisetov499@ukr.net
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проаналізовано питання використання методик акустичної діагностики суднових насосів, порівняння з іншими методами визначення їх стану в умовах експлуатації.

Ключові слова: акустична діагностика насосів; технічний стан, ударні імпульси, вібраційні характеристики; шумовий аналіз.

Вступна частина. Надійність суднових насосів є ключовою умовою ефективної роботи допоміжних систем судна, що обумовлює актуальність пошуку оптимальних методів їх діагностики. Специфічні умови експлуатації насосів на морі суттєво впливають на ефективність різних діагностичних методів.

В табл. наведено переваги та обмеження методів діагностики суднових насосів описані в [1].

Таблиця – Переваги та обмеження методів діагностики суднових насосів

Метод	Переваги	Обмеження
Вібраційна діагностика	Раннє виявлення механічних дефектів, дистанційний контроль	Чутливість до фонового шуму та вібрацій корпусу судна
Акустична діагностика	Швидка фіксація кавітації, ударів	Високий рівень шуму в машинному відділенні
Тепловий контроль	Простота реалізації; вже наявні сенсори	Пізнє реагування; залежність від зовнішньої температури
Контроль тиску/витрати	Безперервний штатний моніторинг	Неможливість точно локалізувати дефект
Електрична сигнатура	Інтегрується в систему управління двигуном	Потребує складної інтерпретації електричних сигналів
Аналіз робочої рідини	Виявляє знос за продуктами деградації	Потребує зупинки насоса, лабораторного аналізу
Модельно-аналітичний	Прогнозування стану; індивідуальне моделювання	Складність реалізації і високі вимоги до обчислювальних ресурсів

Акустична діагностика суднових насосів – це метод, що базується на аналізі звукових хвиль та ультразвукових сигналів (акустичної емісії), які виникають при роботі обладнання. Вона дозволяє «почути» дефекти ще до того, як вони спричинять значну вібрацію.

Мета роботи. Проаналізувати складові метода акустичної діагностики з метою оцінки ефективності його використання на суднах.

Основна частина. До методів акустичної діагностики зазвичай відносять наступні [1-3]:

- *ультразвуковий контроль (акустична емісія)* – реєструє пружні хвилі, що виникають при мікропластичних деформаціях металу, зародженні .тріщин або витоках під тиском;
- *метод ударних імпульсів* – спеціалізований контроль стану підшипників кочення. Він виділяє сигнали від ударів тіл кочення об дефекти на тлі загального шуму насоса;

шумовий аналіз – оцінка загального звукового фону для виявлення грубих несправностей (наприклад, тертя деталей).

На рис. наведено характерні параметри насосів та зони їх виникнення, які можна діагностувати акустичним методом:

- *кавітація:* на початковій стадії вона створює характерний шум «схлопування» бульбашок пари, який акустичні датчики фіксують значно раніше за вібродатчики;
- *стан змащення та підшипників:* дозволяє виявити сухе тертя або пошкодження доріжок кочення на етапі «мікротріщин»;
- *витоки та герметичність:* виявлення внутрішніх протікань через ущільнення або клапани за допомогою ультразвукових дефектоскопів;
- *втомні тріщини:* акустична емісія є найкращим способом виявлення росту прихованих тріщин у корпусі або валу під навантаженням.

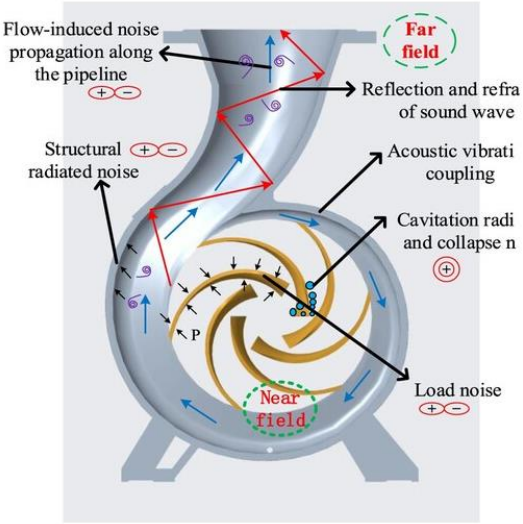


Рисунок – Характерні параметри насосів та зони їх виникнення, які можна діагностувати акустичним методом

Висновки. Аналіз технології діагностування акустичним методом доводить необхідність впровадження комплексного моніторингу стану суднових насосів на основі кількох методів діагностування – поєднання вібрації, тиску та температури для підвищення достовірності результатів.

Література

[1] Analysis of existing methods for diagnostic of ship pumps. URL: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/1001/964

[2] Vibration diagnostics of marine equipment. URL: https://vibromera.eu/uk/just-content/technical-diagnostics-vibration-monitoring-marine-equipment/

[3] Portable Balanset-1A balancer & vibration analyzer. URL: https://vibromera.eu/uk/%d0 %bf%d1%80 %d0 %be%d0 %b4 %d1%83 %d0 %ba%d1%82/balanset-1/

ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF SHIP PUMPS

Petrik R., Kisietov J.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The issue of using acoustic diagnostics methods for ship pumps is analyzed, compared with other methods for determining their condition under operating conditions.

Keywords: acoustic diagnostics of pumps; technical condition, shock pulses, vibration characteristics; noise analysis.

УДК 65.9

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАСОСІВ БЕЗ ЇХ РОЗБИРАННЯ

Сарабун А.А.,
студент, спеціальність G11 «Машинобудування» (за спеціалізацією «Суднобудування»)
освітня програма «Суднові енергетичні установки та устаткування
Кісєтов Ю.В.,
канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
kisetov499@ukr.net
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проаналізовано деякі аспекти використання методик діагностики насосів без їхнього розбирання, які використовуються на морських суднах.

Ключові слова: діагностика насосів; технічний стан, ударні імпульси, вібраційні характеристики; візуальний контроль.

Вступна частина. Методики діагностики насосів без їхнього розбирання поширюються на всі види суднових насосів з електроприводом: лопатеві – відцентрові та вихрові; об'ємні – шестеренні, гвинтові. Методики передбачають визначення технічного стану насосів без їх розбирання на основі контролю стану підшипників, ротора, ущільнень та з'єднувальних муфт та роботи з технічного обслуговування, що виконуються за станом наступних вузлів:

– заміна підшипників у насоса та у електродвигуна;
– заміна або відновлення корпусу, ротора, ущільнень, сполучних муфт;
– очищення лопатевих коліс від відкладень;
– балансування.

Технічний стан насосів контролюється за рівнем ударних імпульсів, вібрації, перегріву підшипників, зниження подачі (напору), зміну струму електродвигуна, місцевому зменшенню товщини корпусу та за результатами огляду лопатевого колеса ендоскопом. Досягнення гранично допустимого значення хоча одним із параметрів говорить про необхідність проведення технічного обслуговування насосу.

Мета роботи. Проаналізувати основні складові методик, що пропонуються авторами [1–3].

Основна частина. Основні методології діагностики насосів без їхнього розбирання включають:

Контроль зниження подачі. Цей метод оцінює характеристику насоса відносно його проєктної базової кривої для виявлення зносу, внутрішнього байпасування або блокувань. Оцінка тиску всмоктування та нагнітання може допомогти виявити відхилення від проєктних параметрів. Зниження подачі (напору) насоса може бути пов'язане з ерозією лопатевого колеса, шестерень і гвинтів, поломкою лопаток і зубів, а також з зношуванням ущільнень і визначається зниженням тиску за насосом при відкритих клапанах на всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах, чистих фільтрах. Істотним слід вважати зниження подачі (напору) на 20–30 %;

Контроль за рівнем ударних імпульсів. За рівнем ударних імпульсів контролюється стан підшипників кочення насосів та електродвигунів, при цьому виявляються пошкодження підшипників та стан мастила. Типові точки вимірювання ударних імпульсів та вібрації на насосах та електродвигунах: задній підшипник електродвигуна; передній підшипник електродвигуна; передній підшипник насоса; задній підшипник насоса; корпус насоса;

Контроль за рівнем вібрації насосів. За рівнем вібрації насосів з електроприводом встановлюється зміна балансування лопатевого колеса (через ерозію, наявність відкладень, поломки лопатки, зміщення колеса тощо), центрування, а також потраплянням лопатевого колеса в кавітаційний режим. Вимірювання вібрації має передувати вимірювання ударних імпульсів, щоб встановити стан підшипників та їх вплив на вібрацію насоса. Рівень вібрації вимірюється віброметрами. Вібрація вимірюється в районі підшипників та на корпусі насоса;

Контроль за рівнем температури підшипників. Температуру підшипників рекомендується контролювати у насосів з підшипниками ковзання, де її підвищення пов'язане з порушенням якості мастила, центрування та навантаження на них, а також з сильним зношуванням;

Контроль за струмом електродвигуна. Контроль за струмом електродвигуна за допомогою штатних приладів дозволяє виявити руйнування підшипників насоса, потрапляння сторонніх предметів та заклинювання робочих органів насоса, зношування ущільнень та зміщення колеса. Про несправність насоса свідчить підвищення струму початкового рівня на 10–20 %;

Контроль місцевого зменшення товщини корпусу. Контроль місцевого зменшення товщини корпусу через кавітаційне руйнування проводиться товщиноміром. Для контролю вибираються характерні точки із

зовнішнього боку корпусу, що відповідають місцевим ушкодженням кавітації всередині корпусу. Характерні точки вибираються при черговому розбиранні насоса над місцями появи кавітаційних каверн;

Контроль якості мастила. Для насосів з підшипниками, що змащуються маслом, відбір проб рідини може діагностувати знос внутрішніх компонентів без розбирання корпусу. За результатами тестування оливи на наявність, розмір та склад металевих частинок може виявити адгезійний, абразивний або втомний знос;

Візуальний контроль лопатевого колеса. Для великих насосів доцільно передбачати огляд лопатевого колеса ендоскопом через спеціальні отвори з пробкою в корпусі насоса або через отвори для кріплення протекторів.

Періодичність контролю технічного стану насосів наведена у табл. 1.

Періодичність проведення технічного обслуговування (перебирання) насосів наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Тип контролю	**Періодичність**	
	Добрий стан	**Задовільний стан**
Рівень ударних імпульсів і вібрації, температура підшипників для насосів з напрацюванням в рік більш 3000 годин	6	3
Рівень ударних імпульсів і вібрації, температура підшипників для насосів з напрацюванням в рік до 3000 годин	12	6
Контроль зменшення товщини корпусу	12	6
Огляд робочого колеса ендоскопом	12	6

Таблиця 2

Тип насоса	**Періодичність технічного обслуговування, міс**
Відцентрові насоси забортної води	6–48
Відцентрові насоси забортної води періодичного використання	24–72
Відцентрові насоси гарячої прісної води, вихрові насоси	24–72
Циркуляційні насоси котлів	6–48
Шестеренчасті та вінтові насоси (масляні)	12–48
Шестеренчасті та вінтові насоси (важкого палива)	24–96
Шестеренчасті та вінтові насоси (дизельного палива)	48–96
Багатоплунжерні насоси гідравлічних систем	48–72

Висновки. Наведені методики показали себе як достатньо надійний інструмент діагностики насосів суднового обладнання і систем. Їх використання зменшує трудомісткість робіт по технічному обслуговуванню суднових насосів, що суттєво впливає на ефективність експлуатації судна в цілому.

Література

[1] Pump Technical Handbook: Pump Testing by Staff Writer November 14, 2024. URL: https://www.pumpindustry.com.au/pump-technical-handbook-pump-testing/

[2] Common methods for detecting and preventing pump failure Jun 16, 2025. URL: https://www.trisunltd.com/blog/common-methods-for-detecting-and-preventing-pump-failure-1

[3] Курбатов Ю.Л., Масс Н.С., Кравцов В.В. Нагнітачі та теплові двигуни в теплотехніці. У 2-х частинах. Ч. 1. Нагнітачі, Ч. 2. Теплові двигуни : навчальний посібник. Донецьк, «НОРД-ПРЕС», 2011. 286 с.

DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF PUMPS WITHOUT DISASSEMBLING THEM

Sarabun A., Kisietov J.

National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

kisetov499@ukr.net

Abstract. Some aspects of the use of non-disassembly pump diagnostics methods used on marine vessels are analyzed.

Keywords: pump diagnostics; technical condition, shock pulses, vibration characteristics; visual inspection.

УДК 65.9

ОСОБЛИВОСТІ БУНКЕРУВАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК АМІАКОМ

Кісєтов Ю.В.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
kisetov499@ukr.net

Анотація. Досліджуються технологічні та експлуатаційні аспекти бункерування суден аміаком (NH_3) – перспективним безвуглецевим паливом. Виконано аналіз порівняльних методів передачі палива, особливостей використовуваних технологій, обладнання з урахуванням токсичності аміаку, ризиків корозії, впливу на екологічну безпеку. Проведено розрахунки часу, витраченого на бункеровку суден різних класів.

Ключові слова: аміак, властивості аміаку, декарбонізація, бункерування, безпека бункерування, методи бункерування, екологічна безпека.

Вступна частина. Впровадження аміаку як морського палива пов’язане з його здатністю майже повністю знищувати викиди CO_2. У контексті глобального енергетичного переходу та посилення вимог IMO до 2050 року аміак вважається найбільш життєздатною альтернативою традиційним вуглецевим паливам. Однак, на відміну від традиційних нафтопродуктів, аміак є дуже токсичним і корозійним, що накладає суворі вимоги до процесів його перевантаження та зберігання [1–4].

Для забезпечення безпеки бункерування необхідно враховувати властивості аміаку:

- температура: рідка фаза підтримується при −33,4 °C;
- енергетична інтенсивність: найнижча калорійність становить 18,6 МДж/кг, що у 2,3 рази менше, ніж у паливного мазуту;
- токсичність: поріг запаху 5–50 ppm. При концентраціях 300 ppm і вище існує негайна загроза життю. Це визначає необхідність «нульового витоку» під час операцій з бункерування;
- корозія: схильність до корозійних тріщин у сталях при присутності слідів кисню [5].

Накопичений досвід експлуатації суден, які мають на борту аміак, перехід від пілотних проєктів до комерційної експлуатації (на прикладі суден Yara Eyde та балкерів Kamsarmax) виявили критичну потребу стандартизації процедур бункерування через надзвичайну токсичність і корозійність аміаку [2–4].

Мета роботи. Враховуючи існування особливостей процесів бункерування аміаку виконати відповідний порівняльний аналіз з урахуванням існуючих ризиків, вимог безпеки, характеристик необхідного обладнання і систем, застосовуваних технологій на прикладі суден різної водотонажності.

Основна частина. Використання аміаку як паливо пов’язане з рядом складнощів. Управління обладнанням, яке використовує аміак вимагає спеціальної підготовки екіпажу та кваліфікації [2, 3]. Вже зараз є необхідність суттєвої переробки навчальних програм підготовки суднових механіків.

Для аналізу особливостей процесів бункерування аміаку суден різної водотонажності було обрано три типи суден, що представляють основні сегменти світового флоту. Розрахунки базуються на коефіцієнті заміщення по енергії 2,3 (у порівнянні з мазутом) та густині аміаку (при -33 °C) – 680 кг/м³. Оцінений запас палива для всіх суден вважається рівним 20 дням (+20 % запасу).

У табл. 1, 2 наведено характеристики процесу бункерування трьох класів суден – Feeder container ship, Panamax bulk carrier, VLCC / Capesize.

Таблиця 1 – Характеристики процесу бункерування

Параметр	Feeder (Контейнеровоз)	Panamax (Балкер)	VLCC / Capesize
Дедвейт (DWT), т	15000 (1500 TEU)	75000	300000
Добове споживання мазуту (MDO экв.), т/доб	15	30	55
Необхідна маса NH_3 , т	828	1656	3036
Необхідний обсяг NH_3, м³	1218	2435	4465
Рекомендований метод бункерування	Truck-to-Ship / Barge	Ship-to-Ship (STS)	STS / Shore Terminal
Швидкість перекачування, м³/год	250	600	1200

Таблиця 2 – Розрахунок операційного циклу (зведений графік часових витрат)

Етап	Feeder (C-type)	Panamax (Fully Refrig.)	VLCC (Fully Refrig.)
Швартування та підготовка	1,5	2,0	3,0
Інертизація та підключення	1,0	1,5	2,5
Охолодження (Cool-down)	0,0 (н/д)	0,75	1,5
Перекачування	4,8	4,0	3,7
Продування та відшвартування	1,0	1,75	3,0
Усього, год	~8,5	~10	~13,7

Висновки. Бункерування аміаку вимагає радикальної зміни стандартів безпеки та підготовки персоналу. Ключовими факторами успіху є використання закритих систем передачі палива (з нульовими витоками), автоматизація процесів моніторингу та міжнародна стандартизація роз'ємів бункерувальних шлангів.

Капітальні витрати на систему бункерування аміаку на 30–40 % вищі, ніж, наприклад, у таких же систем для зрідженого природного газу. Це пов'язано з необхідністю використання певних сортів нержавіючої сталі та складної електроніки.

Література

[1] Ammonia as marine fuel? Benefits, challenges, and smart adoption. URL: https://www.wartsila.com/insights/article/ammonia-fuel-for-thought-in-our-deep-dive#all-about-ammonia (дата звернення 05.03.2026).

[2] IMO MSC.1/Circ.1687. Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Ammonia as Fuel : [approved by the Maritime Safety Committee on December 2024] / International Maritime Organization. URL: https://www.imo.org (дата звернення 05.03.2026).

[3] ISO 23269-1:2025. Ships and marine technology – Ammonia fuel systems – Part 1: Design and testing of bunkering manifolds / International Organization for Standardization. URL: https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:23269:-1:ed-1:v1:en (дата звернення 05.03.2026).

[4] MAN Energy Solutions. Two-stroke Ammonia Engine and Fuel Supply System Specification. URL: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia.pdf (дата звернення 05.03.2026).

[5] Maritime Forecast to 2050: Ammonia Infrastructure and Safety Module – URL: https://www.dnv.com https://www.dnv.com/maritime/maritime-forecast (дата звернення 05.03.2026).

[6] FP23-01_Ammonia – Safety and Operational Guidelines – Bunkering. URL: https://sgmf.info/product/fp23-01_ver1-0_ammonia-safety-and-operational-guidelines-bunkering (дата звернення 05.06.2026).

[7] ClassNK. Guidelines for Safety Operation for Ammonia-Fueled Vessels (Version 1.0) – URL: https://download.classnk.or.jp/guidelines/gl_ammonia_operation_e.pdf (дата звернення 05.06.2026).

[8] Scaling Ammonia Fuel Systems: From Tugboats to VLCCs. URL: https://www.researchgate.net/publication/398737581_Safety_of_Ammonia_for_use_in_Ships (дата звернення 05.06.2026).

[9] NH_3 Craft – safe and efficient storage of ammonia within ships. URL: https://www.researchgate.net/profile/Spyros-Hirdaris/publication/392191633_Pertinent_Technical_Rules_on_the_Safe_and_Efficient_Storage_of_Ammonia_onboard_Ships/links/6838302fd1054b0207f68eb6/Pertinent-Technical-Rules-on-the-Safe-and-Efficient-Storage-of-Ammonia-onboard-Ships.pdf (дата звернення 05.06.2026).

[10] International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels. URL: https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/igf-code.aspx (дата звернення 05.06.2026).

FEATURES OF BUNKERING SHIP POWER PLANTS WITH AMMONIA

Yu. Kisetov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The technological and operational aspects of bunkering ships with ammonia (NH_3) – a promising carbon-free fuel – are studied. An analysis of comparative fuel transfer methods, features of the technologies used, equipment is performed, taking into account ammonia toxicity, corrosion risks, and impact on environmental safety. Calculations of the time spent on bunkering ships of different classes are performed.

Keywords: ammonia, ammonia properties, decarbonization, bunkering, bunkering safety, bunkering methods, environmental safety.

УДК 629.5.03:62-8:621.181.234

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАНОРІДИН ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СУДНОВИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Кузнецов В.В.,
доктор технічних наук, доцент
професор кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок
Кузнецова С.А.,
кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
svitlana.kuznetsova@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У склад котельних установок суден, що потребують підтримання постійного температурного режиму вантажу, входять котли з термомасляним теплоносієм. При ряді очевидних переваг таких котлів – відсутність процесів накипоутворення та водяної корозії, висока стабільність температурного режиму, менші теплові втрати, такі котли мають суттєвий недолік – нижчий, у порівнянні з процесом кипіння води, коефіцієнт тепловіддачі, що зумовлено відсутністю фазового переходу теплоносія. Але процес експлуатації таких котлів вимагає періодичної заміни масла, що дає можливість використання нанорідин для інтенсифікації процесів тепловіддачі. Отримано, що при заданій термогідравлічної ефективності процесів тепловіддачі і теплопередачі можливе використання нанорідин на основі термомасел з домішками наночасток до 4 %.

Ключові слова: суднова енергетична установка, ефективність, термомасляний котел, нанорідина, фактор аналогії Рейнольдса

Вступ. Аналіз складу енергетичних установок суден за 2010–2024 роки [1] показав, що на низці суден, які потребують підтримання постійного температурного режиму вантажу, використовуються котли з термомасляним теплоносієм. До таких суден можна віднести асфальтові/бітумні танкери, танкери-хімовози та спеціалізовані судна з підігрівом вантажу.

Основними техніко-експлуатаційними перевагами термомасляних котлів порівняно з традиційними паровими установками є циркуляція теплоносія в замкненому контурі, відсутність процесів накипоутворення та водяної корозії, зниження обсягів щоденного технічного обслуговування, висока стабільність температурного режиму, а також менші втрати теплоти під час передавання та використання теплової енергії. Застосування такого типу теплогенерувального обладнання є особливо доцільним на суднах, де технологічний процес передбачає тривале або безперервне підтримання заданої температури вантажу.

Водночас термомасляні котли мають низку експлуатаційних недоліків. Для забезпечення надійної та довготривалої роботи таких установок необхідне застосування систем фільтрації, дегазації та постійного контролю фізико-хімічних властивостей теплоносія. Порушення встановлених режимів експлуатації, зокрема перевищення допустимої температури термомасла, може призводити до його термічного розкладання, утворення продуктів деградації та відкладень на внутрішніх поверхнях трубопроводів і теплообмінних поверхонь. Одним із основних недоліків термомасляних систем є нижчий, порівняно з процесом кипіння води, коефіцієнт тепловіддачі, що зумовлено відсутністю фазового переходу теплоносія.

Особливістю експлуатації котельних установок із термомасляними теплоносіями є необхідність періодичної заміни термомасла після певного терміну його експлуатації. Для середньотемпературних термомасел із робочою температурою до 300…320 °С, таких як *Therminol 55*, *Mobiltherm* 605 та *DOWTHERM Q*, характерний термін експлуатації становить близько 3…5 років, тоді як для високотемпературних теплоносіїв із робочою температурою понад 330 °С він може становити 5…8 років [2–4]. Необхідність періодичної заміни теплоносія створює можливість застосування термомасел із поліпшеними теплофізичними властивостями з метою підвищення інтенсивності тепловіддачі, оскільки коефіцієнт тепловіддачі для термомасел є істотно нижчим, ніж при конденсації водяної пари. Крім того, періодична заміна теплоносія дає змогу розглядати можливість застосування додаткових методів інтенсифікації процесів теплообміну. Доцільно поєднувати заміну термомасла з проведенням середніх ремонтів елементів суднової енергетичної установки. За результатами періодичних оглядів і відповідно до вимог різних класифікаційних товариств міжремонтний період для такого обладнання може становити близько 4…6 років [5, 6].

Перспективним способом інтенсифікації теплопередачі є додавання наночасток у термомасло для утворення нанорідин. Додавання наночасток підвищує коефіцієнт теплопровідності масла, що підвищує турбулентність у примежовому шарі та зменшує температурний градієнт у системі.

На теперішній час виконаний великий об'єм експериментальних досліджень зміни теплофізичних властивостей термомасел в залежності від ступеня додавання наночасток [7–10]. Але відсутній аналіз впливу цього параметру та швидкості руху нанорідини на сумісну теплогідравлічну ефективність теплопередавальної поверхні. Таким чином, ***метою*** представленої роботи оцінка теплогідравлічної ефективності нанорідин на основі термомасла в залежності від відсоткового вмісту наночасток та швидкості руху термомасла.

Результати досліджень. Для оцінки теплогідравлічної ефективності при течії всередині трубок був використаний фактор аналогії Рейнольдса [13] у формі

$$FAR = \frac{Nu / Nu_0}{f / f_0}, \qquad (1)$$

де Nu та f – відповідно число Нусельта та коефіцієнт гідродинамічного опору, індекс "0" позначав базовий варіант для порівняння, приймався із нульовою концентрацією наночасток.

За рекомендаціями [7] було прийнято для розрахунків: швидкість термомасла всередині трубок у діапазоні 0,5 … 2, м/с, концентрація наночасток – 0,5…4,0 %.

В процесі тривалої експлуатації термомасляного теплоносія, його термічна та окислювальна деградація може спричинити збільшення кінематичної в'язкості, що в свою чергу призведе до необхідності підвищення потужності циркуляційного насосу. Згідно експертних даних [2-4], збільшення в'язкості масла до 20 % підвищує необхідну потужність насосу до 4 %. З цього приводу при аналізі була прийнята умова, що припустиме мінімальне значення показника ефективності процесів тепловіддачі повинно бути $FAR \geq 0{,}96$. Результати оцінки представлені на рисунку 1.

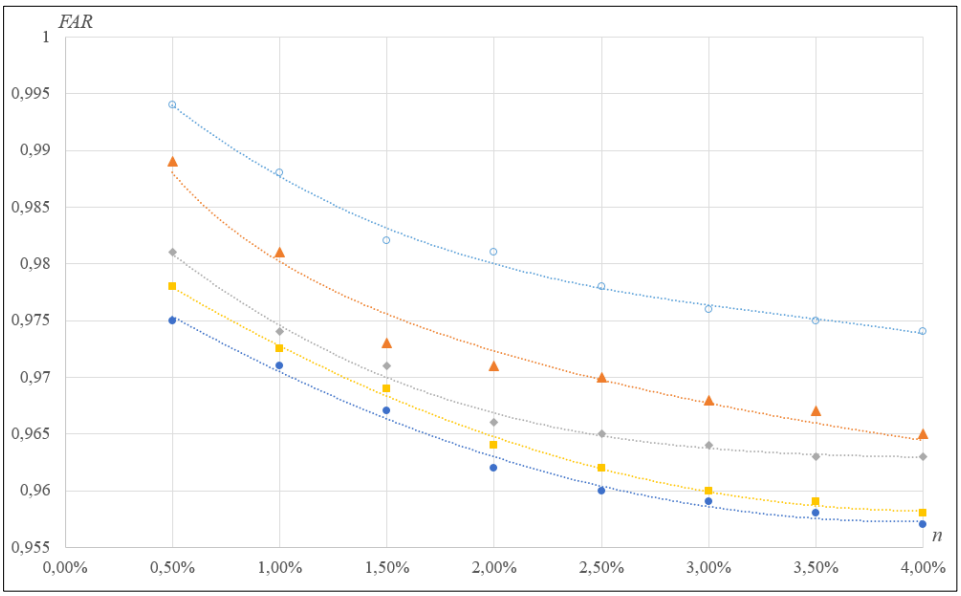


Рисунок 1 – Залежність ефективності процесу тепловіддачі при течії термомасла всередині трубок від концентрації наночасток n та швидкості руху теплоносія:
○ – 0, м/с; ▲– 1, м/с; ♦ – 1, м/с; ■ – 2, м/с; ● – 2, м/с

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки. Як і очікувалось, теплогідравлічна ефективність в значній мірі залежить від швидкості теплоносія і концентрації наночастинок. При зміні швидкості термомасла з 0, м/с до 1, м/с ефективність знижується на 1,2 % (при 0, м/с) до 0,8 % (2, м/с). для концентрації від 2 до 3 % при тому ж діапазоні швидкості це зниження складає 0,5 … 0,3 %.

Аналогічна ситуація спостерігається і при визначені ефективності процесів теплопередачі за показником модифікованого фактору аналогії аналогії Рейнольдса $FAR_{мод}$ [12].

Таким чином, можливе підвищення концентрації наночасток до 4 % при швидкостях руху теплоносія до 1, м/с, та до 3 % при швидкості руху до м/с та до 2, м/с при швидкості руху до 2, м/с.

Висновки. Отримані результати показали, що інтенсифікація тепловіддачі у термомасляних котлах можлива з використанням додавання наночасток до 4 %. Це дозволить забезпечити заданий запас

потужності циркуляційного насосу у міжремонтний період при збереженні заданої теплогідравлічної ефективності. Подальші дослідження доречно спрямувати на вивчення ступеня деградації нанорідин на основі термомасел в залежності від особливостей експлуатаційних режимів суднових енергетичних установок.

Література

[1] Significant Ship 2014-2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.libramar.net/news/significant_ships_series/1-0-140. Дата звернення: 15.09.2026.

[2]. Eastman Chemical Company. Therminol® 55 Heat Transfer Fluid: Technical Data Sheet [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.eastman.com/content/dam/eastman/corporate/en/literature/t/tf8994.pdf – Дата звернення: 15.09.2026.

[3]. ExxonMobil. Mobiltherm 605 Heat Transfer Oil: Product Data Sheet [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.ulei-mobil.ro/pdf/MobilIndustrieDataSheet/Mobiltherm%20605%20pds.pdf. Дата звернення: 15.09.2026.

[4]. Dow Chemical Company. DOWTHERM™ Q Heat Transfer Fluid: Technical Data Sheet [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.glycolsales.com.au/wp-content/uploads/2022/10/176-01467-01-dowtherm-q-tds.pdf. Дата звернення: 15.09.2026.

[5]. Bureau Veritas Marine & Offshore. Rules for Classification. Rules for the Classification of Steel Ships. Part C. Machinery, Electricity, Automation and Fire Protection. NR 467 C DT R20. Edition January 2026. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://rulesexplorer-docs.bureauveritas.com/documents/nr467/jan2026/467-NR_PartC_2026-01.pdf. Дата звернення: 15.09.2026.

[6]. Lloyd's Register Rules. LR-RU-001 Rules and Regulations for the Classification of Ships. 01 July 2026. Edition January 2026. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.lr.org/en/knowledge/lloyds-register-rules/rules-and-regulations-for-the-classification-of-ships. Дата звернення: 15.09.2026.

[7]. Kumar, S. Enhanced Heat Transfer Using Oil-Based Nanofluid Flow through Conduits [Текст] / Kumar, S.; Sharma, M.; Bala, A.; Kumar, A.; Maithani, R.; Sharma, S.; Alam, T.; Gupta, N.K.; Sharifpur, M.A. *Review*. *Energies* 2022, 15, 8422. https://doi.org/10.3390/en15228422

[8]. Yang, J. Review on Thermal Performance of Nanofluids With and Without Magnetic Fields in Heat Exchange Devices [Текст] / J Yang, X Yang, J Wang, HH Chin and B Sundén. *Front. Energy Res*. (2022) 10:822776. https://doi.org/ 10.3389/fenrg.2022.822776

[9]. Abdul Hai Alami. A critical insight on nanofluids for heat transfer enhancement [Текст] / Abdul Hai Alami, Mohamad Ramadan, Muhammad Tawalbeh, Salah Haridy, Shamma Al Abdulla, Haya Aljaghoub, Mohamad Ayoub, Adnan Alashkar, Mohammad Ali Abdelkareem & Abdul Ghani Olabi. *Scientific Reports* (2023) 13:15303. https://doi.org/10.1038/s41598-023-42489-0

[10]. Hassaan Amr M., Evaluating experimentally the viability of employing hybrid nanofluids as an operating fluid in a shell-and-tube heat exchanger [Текст] / Amr M. Hassaan. *Scientific Reports*. (2025) 15:4030. https://doi.org/10.1038/s41598-025-87149-7

[11]. Халатов, А.А. Узагальнення дослідних даних по фактору аналогії Рейнольдса для інтенсифікаторів теплообміну різних типів [Текст] / А.А. Халатов, А.В. Окішев, В.М. Оніщенко. *Пром. Теплотехніка*. 2010. Т. 32. № 5. С. 5–13.

[12]. Kuznetsov, V.V. Multi-Level Estimation of the Heat Transfer Processes Efficiency in the Power Plants Elements [Text] / V.V. Kuznetsov. *Problems of the Regional Energetics*. 2020. Iss. 3 (47), P. 29–39. https://doi.org/10.5281/zenodo.4018947

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF NANOFLUID APPLICATION IN THE MODERNIZATION OF MARINE BOILER PLANTS

Kuznetsov V. V., Kuznetsova S.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Marine boiler plants installed on vessels requiring continuous maintenance of a specified cargo temperature often incorporate thermal oil boilers. Despite several evident advantages of such boilers, including the absence of scale formation and water-induced corrosion, high stability of the temperature regime, and reduced heat losses, they have a significant drawback: a lower heat transfer coefficient compared with boiling water, which is primarily associated with the absence of a phase transition of the heat-transfer fluid. At the same time, the operation of thermal oil boilers requires periodic replacement of the heat-transfer oil, which provides an opportunity to apply nanofluids as a means of enhancing heat transfer processes. The results show that, while maintaining the specified thermo-hydraulic performance of heat transfer processes, nanofluids based on thermal oils containing up to 4 % nanoparticles can be effectively used.

Keywords: marine power plant, efficiency, thermal oil boiler, nanofluid, Reynolds analogy factor.

УДК 621.4

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У МОДЕЛЮВАННІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИМИ СИСТЕМАМИ

Кузнецов Г.В.,
PhD, викладач кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
heorhii.kuznetsov@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто перспективи використання розробленої математичної моделі СЕУ з ТАС як розрахункової складової цифрового двійника. На основі результатів для цивільних суден обґрунтовано можливість її застосування для прогнозування показників утилізації скидної теплоти та енергоефективності з урахуванням експлуатаційних даних судна.

Ключові слова: утилізація теплоти, теплоакумулюючий матеріал, експлуатаційний цикл, енергоефективність.

Вступ. Актуальність застосування теплоакумулюючих систем (ТАС) у суднових енергетичних установках (СЕУ) полягає в раціональному використанні паливно енергетичних ресурсів шляхом акумулювання скидної теплоти відпрацьованих газів, охолоджувальної рідини та мастила головних і допоміжних двигунів з її подальшим використанням після їх зупинки для забезпечення передпускової підготовки двигунів, потреб суднових систем, екіпажу та пасажирів. Ефективність використання теплоти залежить від експлуатаційного циклу судна, що потребує застосування відповідних засобів математичного моделювання. Одним із перспективних напрямів є використання технології цифрових двійників (Digital Twin).

Технології цифрових двійників набувають поширення для моделювання, прогнозування та оптимізації режимів роботи суден і їх енергетичних систем. За результатами аналізу [1, 5], математичне моделювання та метод скінченних елементів застосовувалися кожен у 22 % розглянутих випадків, а електроенергетичні системи становили 23 % досліджених застосувань цифрових двійників. У роботі [2] для цифрового двійника суднової енергетичної системи отримано середню похибку прогнозування енергоспоживання 2,95 % при затримці оновлення телеметричних даних 0,9 с. У [3] розглянуто моделювання виробництва та споживання електричної і теплової енергії судна з урахуванням можливості утилізації надлишкової теплоти. Застосування цифрового двійника для оптимізації теплових процесів судна розглянуто у [4], де для системи HVAC отримано розрахункове скорочення витрати палива на 0,17–1,50 % залежно від стратегії керування. Таким чином, перспективним напрямом подальшого розвитку цифрових двійників СЕУ є включення до їх структури математичних моделей систем утилізації та акумулювання скидної теплоти, здатних враховувати зміну режимів роботи енергетичного обладнання та теплових потреб судна.

Метою роботи є обґрунтування перспектив використання розробленої математичної моделі СЕУ з теплоакумулюючою системою як розрахункової складової цифрового двійника для моделювання процесів утилізації, акумулювання та використання скидної теплоти.

Об'єктом дослідження є процеси утилізації, акумулювання та використання скидної теплоти в суднових енергетичних установках з теплоакумулюючими системами.

Методи дослідження: математичне моделювання процесів теплопереносу, акумулювання та використання скидної теплоти СЕУ; чисельне моделювання теплообмінних процесів; розрахункове визначення показників ефективності ТАС з урахуванням експлуатаційного циклу судна.

Результати дослідження. Розроблена математична модель ТАС у складі енергетичної установки враховує особливості використання різних теплових двигунів, структуру енергетичної установки та умови її експлуатації. Модель дозволяє визначати перспективні напрями та обсяги теплових потоків від елементів СЕУ, врахувати можливі коливання потреби у теплоті та оцінити вплив теплофізичних властивостей теплоакумулюючих матеріалів на тривалість процесів зберігання, заряджання і розряджання ТАС. Як джерела скидної теплоти розглядаються відпрацьовані гази, охолоджувальна рідина та мастило головних і допоміжних двигунів.

Блок-схему розробленої математичної моделі енергетичної установки з ТАС наведено на рис. 1. Процедура «ТАС» включає три ієрархічні рівні: теплопередавальну поверхню теплоакумулятора; теплоакумулятор як елемент підсистеми ТАС; підсистему ТАС як елемент енергетичної установки. Перший рівень реалізується методами обчислювальної гідродинаміки, другий – імітаційними методами процесів зарядки та розрядки теплоакумулятора, третій – термодинамічним розрахунком експлуатаційного циклу СЕУ.

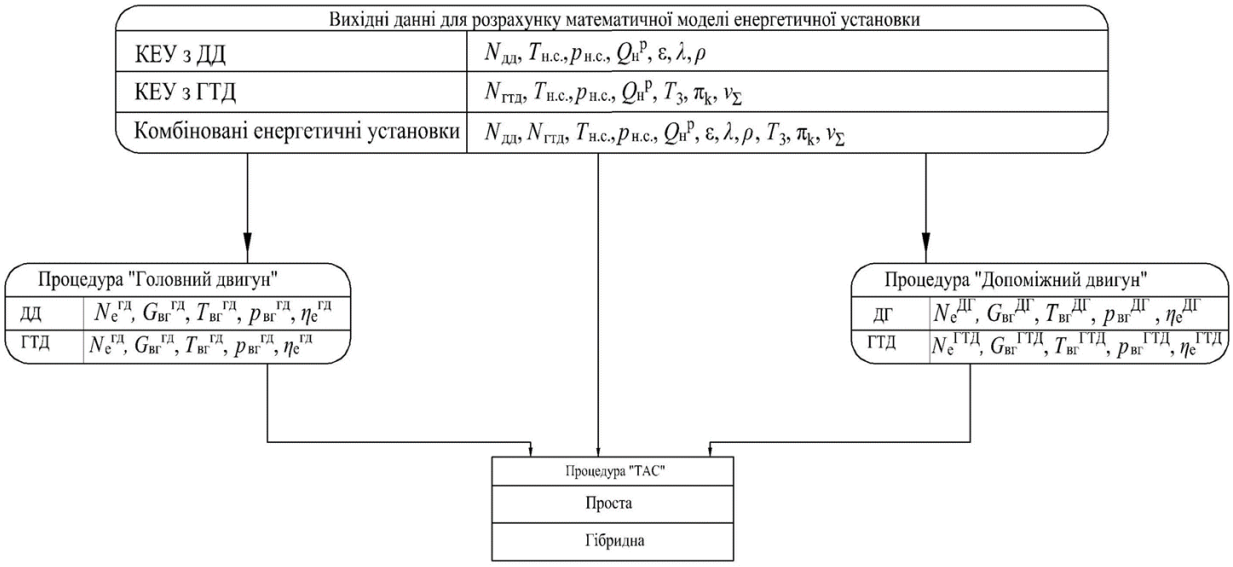


Рисунок 1 – Блок-схема математичної моделі енергетичної установки з ТАС

Для оцінювання ефективності застосування ТАС у складі СЕУ розглянуто цивільні судна різного призначення – круїзний лайнер, балкер і танкер. Розрахунки виконано з урахуванням експлуатаційних циклів суден, конструктивних обмежень машинних відділень та схемних рішень ТАС. За результатами моделювання визначено економію палива допоміжних елементів СЕУ та зміну показника EEDI при використанні ТАС. Отримані результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Економія палива за рахунок використання ТАС

Тип судна	**Кількість персоналу на судні під час стоянки, %**	$K_{ТАС}$	**Паливо, зекономлене під час рейсу, т**	**Відносна економія палива допоміжних котлів за рейс, %**	**Значення EEDI**		
					необхідний	**досягнутий**	**виконаний**
Круїзний лайнер	50–75	7379	0,530	44,52–29,68	15,87	10,16	10,146–10,145
		32333	0,740	60,70–41,26			10,140-10,139
		32349	0,810	64,77–45,32			10,139–10,138
Балкер	75–100	11079	0,354	9,72–9,69	3,94	3,72	3,7170
		18937	0,362	9,94–6,81			3,7169
		58163	0,472	12,96–8,88			3,7161
Танкер		9662	0,461	7,41–5,48	3,64	2,81	2,8062
		16516	0,474	7,63–5,64			2,8060
		50725	0,614	9,88–7,31			2,8049

З урахуванням забезпечення теплотою споживачів на судні відносна економія палива допоміжних котлів залежить від складу СЕУ та призначення судна і становить від 5 до 64 %. За результатами розрахунків застосування ТАС на круїзному лайнері, балкері та танкері може забезпечити зниження індексу енергоефективності проєкту судна відповідно на 2,0 %, 1,1 % та 1,8 % за рахунок зменшення загального використання палива в СЕУ.

Отримані результати створюють передумови для використання математичної моделі СЕУ з ТАС як розрахункової складової цифрового двійника. Використання експлуатаційних даних СЕУ як вхідних параметрів моделі потенційно дозволить прогнозувати теплові потоки, режими роботи ТАС та показники енергоефективності. Перспективою подальших досліджень є інтеграція розробленої математичної моделі з даними моніторингу СЕУ для формування спеціалізованого модуля цифрового двійника, орієнтованого на підвищення ефективності утилізації та використання скидної теплоти.

Висновки. Розроблена математична модель СЕУ з ТАС забезпечує оцінювання ефективності утилізації, акумулювання та використання скидної теплоти з урахуванням режимів роботи енергетичного обладнання та експлуатаційного циклу судна. Застосування ТАС для досліджених цивільних суден дозволяє забезпечити відносну економію палива допоміжних котлів до 64 % та зниження індексу енергоефективності проєкту судна до 2 %. Перспективним напрямом подальших досліджень є використання розробленої математичної моделі як розрахункової складової цифрового двійника СЕУ для прогнозування та підвищення ефективності використання скидної теплоти.

Література

[1] Assani N., Matić P., Katalinić M. Ship's Digital Twin–A Review of Modelling Challenges and Applications. *Applied Sciences.* 2022. Vol. 12, No. 12. 6039. DOI: 10.3390/app12126039.

[2] Bulgakov M., Melnyk O. Intelligent digital twin utilization for real-time forecasting and optimization of the ship's power system. *Transport Systems and Technologies.* 2025. No. 45. P. 121–131. DOI: 10.32703/2617-9040-2025-45-9.

[3] Bonvicini A., Cangelosi D., Ingargiola R., Marchese A., Previti G. Digital Twin Approach for Ship Energy Management. *Technology and Science for the Ships of the Future.* 2025. P. 1164–1171. DOI: 10.3233/PMST250138.

[4] Barone G., Buonomano A., Del Papa G., Giuzio G. F., Palombo A., Russo G. Towards sustainable ships: Advancing energy efficiency of HVAC systems onboard through digital twin. *Energy.* 2025. Vol. 317. 134435. DOI: 10.1016/j.energy.2025.134435.

[5] Mauro F., Kana A. A. Digital twin for ship life-cycle: A critical systematic review. *Ocean Engineering.* 2023. Vol. 269. 113479. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.113479.

PROSPECTS FOR THE USE OF DIGITAL TWINS IN MODELING SHIP POWER PLANTS WITH THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS

Kuznetsov H.V.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The prospects for using the developed mathematical model of a marine power plant with a thermal energy storage system as a computational component of a digital twin are considered. Based on the results obtained for vessels, the possibility of its application for predicting waste heat recovery and energy efficiency parameters using ship operational data is substantiated.

Keywords: heat recovery, heat storage material, operational cycle, energy efficiency.

УДК 539.3

МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОНКОСТІННОЇ ОБОЛОНКИ ЖАРОВОЇ ТРУБИ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ

Литвиненко Д. Ю.,
к.т.н., доц., кафедра суднобудування та ремонту суден
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна, Миколаїв
dmytro.lytvynenko@nuos.edu.ua,
Семенов М.М.,
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
mykola.semenov@nuos.edu.ua
Боду С.Ж.,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджено вплив підвищеної температури на власні частоти та форми вільних коливань елемента тонкостінної оболонки жарової труби газотурбінної установки. Виконано експериментальне та скінченно-елементне визначення модальних характеристик оболонки при рівномірному нагріванні від 20 до 63,6 °С з урахуванням температурної зміни механічних властивостей матеріалу. Проведено порівняння з формами, які отримані експериментально, та частотами власних коливань із результатами чисельного модального аналізу.

Встановлено, що в дослідженому температурному діапазоні зміна механічних властивостей матеріалу при рівномірному нагріванні не спричиняє суттєвої зміни форм та частот власних коливань тонкостінної оболонки.

Ключові слова: тонкостінна оболонка, власні коливання, модальний аналіз, температурний вплив, скінченно-елементний аналіз.

Вступ. Підвищення температури, що виникає в умовах експлуатації вузлів газових турбінних установок (ГТУ), призводить до появи в них температурних напружень та зміни властивостей їхніх матеріалів. Таким чином, підвищені температури впливають на власні частоти та форми вільних коливань елементів ГТУ. Врахування температурного фактора під час проєктування елементів ГТУ дозволить уникнути виникнення резонансних режимів коливань та пов'язаних з ними високих динамічних напружень та значних переміщень, що сприятиме забезпеченню надійності та довговічності конструкцій.

Метою цього дослідження є експериментальне та розрахункове визначення впливу нестаціонарного нерівномірного термічного навантаження на власні частоти та форми вільних коливань елемента тонкостінної оболонки жарової труби ГТУ.

Основна частина. Підвищення експлуатаційної температури призводить до зміни механічних властивостей матеріалу, зокрема модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона. Зміна цих характеристик впливає на жорсткість тонкостінної оболонки і, відповідно, на її власні частоти та форми коливань, як показано в роботі [1] для шарнірно обпертої та жорстко затисненої алюмінієвих балок. Крім того, нерівномірне температурне розширення може спричиняти виникнення температурних напружень, які також впливають на динамічні характеристики тонкостінної складеної оболонки жарової труби.

Аналіз власних частот та форм коливань можна виконувати із застосуванням скінченно-елементного аналізу. Рівняння вільних коливань механічної системи, відповідно до [2], без урахування демпфування є наступним

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0, \quad (1)$$

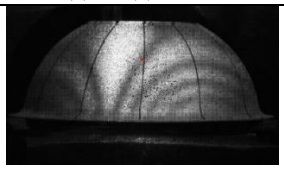
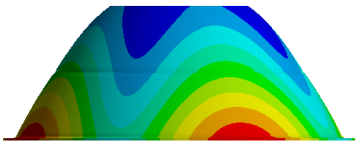
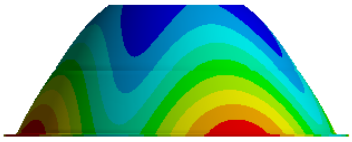
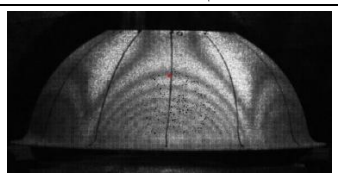
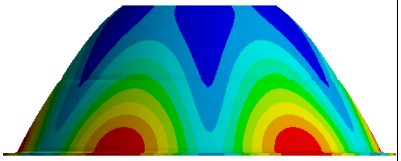
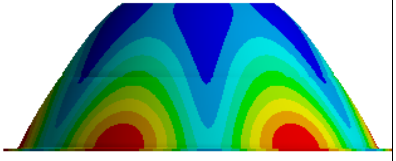
де [M] – матриця мас системи, яка характеризує розподіл маси та інерційні властивості конструкції; $\{\ddot{x}\}$ – вектор прискорень вузлів (ступенів вільності) системи; [K] – матриця жорсткості системи, яка характеризує пружні властивості конструкції; {x} – вектор переміщень вузлів (ступенів вільності) системи;

Якщо вважати нагрів тонкостінної оболонки рівномірним по всьому об'єму, то при відсутності закріплень на частоти та форми власних коливань матиме вплив лише зміна величини модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона. Температурна зміна модуля Юнга матеріалу призводить до зміни матриці жорсткості [K] у (1), а отже, до зміни власних частот і форм коливань конструкції. Зміна геометрії та густини внаслідок температури також може впливати на [M] і [K], але цим впливом можна знехтувати.

Результати експериментального та скінченно-елементного дослідження форм та частот вільних коливань при рівномірному нагріванні елементу тонкостінної оболонки з 20 °С до 63,6 °С представлені у табл. 1. Скінченно-елементна модель складалася з 4838 елементів. Закріплення – відсутні. Матеріал моделі – АМг6 з наступними механічними характеристиками: модуль пружності $E = 7{,}1 \cdot 10^{10}$ Па та коефіцієнт Пуассона $\upsilon = 0{,}33$ при температурі $t = 20$ °С; $E = 6{,}93 \cdot 10^{10}$ Па та $\upsilon = 0{,}33$ при температурі t = 63,6 °С.

Як видно з таблиці 1, вплив зміни механічних властивостей матеріалу при рівномірному нагріванні тонкостінної оболонки з 20 °С до 63,6 °С є незначним, та форми й частоти власних коливань при цьому змінюються несуттєво.

Таблиця 1 – Результати визначення з використанням експерименту та скінченно-елементного аналізу деяких форм та частот власних

Результати експериментальних досліджень	**Результати скінченно-елементного аналізу**	
	При t = 20 ºС	**При t = 63,6 ºС**
 496 Гц	 437,85 Гц	 433,23 Гц
 1490 Гц	 1244,2 Гц	 1231,1 Гц

Висновки. В результаті дослідження власних частот та форм коливань тонкостінної оболонки жарової труби встановлено, що при відсутності закріплень та рівномірному нагріванні, зміни форм та частот власних коливань є несуттєвими і зумовлюються лише зміною механічних властивостей матеріалу.

References

[1] Avsec J., Oblak M. Thermal vibrational analysis for simply supported beam and clamped beam // Journal of Sound and Vibration. – 2007. – Vol. 308, No. 3–5. – P. 514–525. – DOI: 10.1016/j.jsv.2007.04.002.

[2] Liu Y. An Introduction to the Finite Element Method: Lecture Notes. – University of Cincinnati, 2015. – 160 p. – Режим доступу: https://www.yijunliu.com/Teaching/Intro_FEM/FEM_Lecture_Notes_Liu_2015.pdf

MODAL ANALYSIS OF A THIN-WALLED FLAME TUBE SHELL CONSIDERING TEMPERATURE EFFECTS

Dmytro Lytvynenko, Mykola Semenov, Svitlana Bodu

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The effect of elevated temperature on the natural frequencies and mode shapes of a thin-walled shell element from the flame tube of a gas turbine unit was investigated. The modal characteristics of the shell were determined both experimentally and via finite element analysis under uniform heating from 20°C to 63.6°C, accounting for temperature-induced changes in the material's mechanical properties. The experimentally obtained mode shapes and natural frequencies were compared with the results of the numerical modal analysis. It was established that, within the investigated temperature range, changes in the material's mechanical properties resulting from uniform heating do not cause significant alterations to the modal characteristics of the thin-walled shell.

Keywords: thin-walled shell, free vibrations, modal analysis, thermal effect, finite element analysis

УДК 621.352:629.5

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Мелех Д.М.,

Ph.d., аспірант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

dmelekh94@gmail.com

Анотація. Розглянуто сучасний стан застосування водневих паливних елементів у суднових енергетичних установках. Проаналізовано принцип їх роботи, основні переваги та обмеження використання в морському транспорті. Наведено приклади реалізації технології на сучасних пасажирських, поромних та інших типах суден. Визначено основні фактори, що стримують широке впровадження водневих паливних елементів, та перспективні напрями їх подальшого розвитку.

Ключові слова: водень; паливні елементи; суднова енергетична установка; морський транспорт; альтернативне паливо; декарбонізація; енергоефективність.

Вступна частина. Світова морська галузь перебуває у процесі переходу до енергетичних технологій, здатних забезпечити скорочення викидів парникових газів і зменшити залежність від традиційних викопних палив. Відповідно до Стратегії Міжнародної морської організації (IMO) 2023 року передбачено досягнення нульового рівня чистих викидів парникових газів від міжнародного судноплавства приблизно до 2050 року. Проміжними орієнтирами визначено скорочення загальних викидів щонайменше на 20 % до 2030 року та на 70 % до 2040 року порівняно з рівнем 2008 року. [1].

Одним із перспективних енергоносіїв для досягнення зазначених цілей є водень. Його використання у судновій енергетиці можливе як шляхом спалювання у модифікованих двигунах внутрішнього згоряння, так і шляхом електрохімічного перетворення енергії у паливних елементах. Останній напрям становить особливий інтерес завдяки високій ефективності перетворення енергії, відсутності локальних викидів вуглекислого газу при використанні чистого водню та можливості інтеграції паливних елементів із сучасними електричними та гібридними судновими енергетичними установками [2].

Мета роботи – аналіз сучасного стану застосування водневих паливних елементів у суднових енергетичних установках, визначення їх основних технічних переваг і обмежень, а також оцінка перспектив подальшого поширення цієї технології у морському транспорті.

Основна частина. Паливний елемент є електрохімічним пристроєм, у якому хімічна енергія палива безпосередньо перетворюється в електричну та теплову енергію. У водневому паливному елементі водень подається до анода, де відбувається його окиснення з утворенням протонів та електронів. Електрони проходять через зовнішнє електричне коло, створюючи електричний струм, тоді як протони переміщуються через електроліт. На катоді вони взаємодіють із киснем та електронами з утворенням води. Таким чином, при використанні чистого водню основним локальним продуктом роботи паливного елемента є вода.

Для морського транспорту найбільший інтерес становлять паливні елементи з протон-обмінною мембраною (PEMFC) та твердооксидні паливні елементи (SOFC). PEMFC характеризуються порівняно низькою робочою температурою, швидким запуском та здатністю оперативно змінювати потужність, що робить їх придатними для транспортних установок (рис. 1).

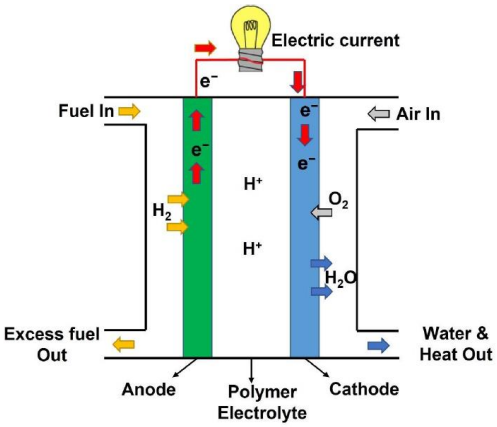


Рисунок 1 – Принцип роботи водневого паливного елемента типу PEMFC [2]

SOFC працюють при значно вищих температурах, мають високу ефективність та можуть використовувати ширший спектр палив, однак характеризуються більш тривалим запуском і складнішими тепловими режимами. Тому обидві технології розглядаються як перспективні для різних типів суднових енергетичних систем [2–3].

Типова суднова установка з водневими паливними елементами включає систему зберігання та подачі водню, паливні елементи, систему перетворення електричної енергії, акумуляторні батареї та електричні двигуни приводу рушіїв. У багатьох сучасних проєктах паливні елементи працюють спільно з акумуляторною батареєю. Паливний елемент може забезпечувати базове навантаження, тоді як батарея компенсує короткочасні пікові навантаження та швидкі зміни режиму роботи. Такий підхід дозволяє оптимізувати роботу енергетичної установки та уникати необхідності постійної роботи паливного елемента у різко змінних режимах.

Одним із важливих етапів розвитку водневих суднових енергетичних установок стало введення в експлуатацію норвезького порома MF Hydra (рис.2). Судно довжиною 82, м обладнане двома PEMFC-модулями потужністю по 200 кВт та акумуляторною системою. Для зберігання палива використовується резервуар для рідкого водню об’ємом 8 м³. MF Hydra став першим у світі поромом, що використовує рідкий водень у паливних елементах для забезпечення суднової енергетичної установки. Проєкт продемонстрував технічну можливість використання кріогенного водню на пасажирських суднах та інтеграції паливних елементів у гібридну енергетичну систему [4].



Рисунок 2 – Пасажирський пором MF Hydra з водневою паливно-елементною установкою [4]

Іншим важливим прикладом є пасажирський катамаран MV Sea Change, який здійснював комерційні пасажирські перевезення у затоці Сан-Франциско. Його енергетична установка включає водневі паливні елементи загальною потужністю 360 кВт, два електричних гребних двигуни потужністю по 300 кВт та літій-іонну акумуляторну батарею ємністю 100 кВт·год. На борту може зберігатися до 246 кг стисненого водню [5].

Подальший розвиток технології характеризується значним збільшенням потужності паливних елементів. У 2025 році було спущено на воду супер'яхту Breakthrough довжиною 118, м, оснащену водневою паливно-елементною системою потужністю 3 МВт. Система інтегрована з електричною мережею постійного струму та двома електричними рушійними установками Azipod. Таким чином, цей проєкт демонструє перехід паливних елементів від сотень кіловат до багатомегаватного класу [6].

Ще масштабнішим проєктом є круїзне судно Viking Libra, будівництво якого здійснюється компанією Fincantieri. Судно має валову місткість близько 54 300 тонн та розраховане на 998 пасажирів. Його гібридна енергетична установка передбачає використання зрідженого водню та паливних елементів із можливістю виробництва до 6 МВт потужності. Введення судна в експлуатацію заплановано наприкінці 2026 року. У березні 2026 року Viking Libra було виведено з будівельного доку для проведення подальших добудовних робіт. Аналогічною водневою системою планується обладнати наступне судно Viking Astrea [7].

Наведені приклади демонструють поступове збільшення масштабів використання паливних елементів – від установок потужністю у декілька сотень кіловат на поромах до багатомегаватних систем на великих пасажирських суднах.

Основними перевагами водневих паливних елементів у суднових установках є відсутність локальних викидів CO_2, оксидів сірки та твердих частинок при використанні чистого водню, низький рівень шуму і вібрацій, а також висока ефективність перетворення енергії. Модульна конструкція дає змогу формувати установки різної потужності залежно від потреб судна. Водночас екологічний ефект залежить від способу виробництва водню. Найбільший потенціал для декарбонізації має водень, отриманий електролізом із використанням електроенергії з відновлюваних джерел.

Основним технічним обмеженням залишається низька об'ємна енергетична щільність водню, що потребує його зберігання у стисненому або зрідженому стані та відповідного спеціального обладнання. Через значні вимоги до об'єму паливних систем на сучасному етапі водневі паливні елементи найбільш перспективні для поромів, пасажирських, портових і прибережних суден із прогнозованими маршрутами та можливістю регулярного бункерування [3]. Іншими проблемами залишаються вартість самих паливних елементів, виробництва низьковуглецевого водню, створення берегової інфраструктури його зберігання та бункерування, а також вимоги до безпеки. Водень має низьку енергію займання та широкий діапазон концентрацій, за яких може утворюватись горюча суміш із повітрям, тому суднові системи потребують ефективної вентиляції, систем виявлення витоків та автоматизованих засобів безпеки.

Висновки. 1. Проаналізовано, що водневі паливні елементи мають значний потенціал для застосування у суднових енергетичних установках та поступово переходять від експериментальних рішень до практичного використання на окремих типах суден. 2. Визначено, що сучасні суднові паливно-елементні установки характеризуються тенденцією до збільшення потужності від сотень кіловат до декількох мегават, що розширює можливості їх застосування на пасажирських та спеціалізованих суднах. 3. Запропоновано зосередити подальші дослідження на вдосконаленні технологій зберігання водню, зниженні вартості паливних елементів та розширенні можливостей їх застосування на суднах більшої потужності та автономності.

Література

[1] International Maritime Organization (IMO). (2023). 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. Retrieved from https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx

[2] Elkafas, A. G., Rivarolo, M., Gadducci, E., Magistri, L., & Massardo, A. F. (2023). Fuel Cell Systems for Maritime: A Review of Research Development, Commercial Products, Applications, and Perspectives. Processes, 11 (1), 97. https://doi.org/10.3390/pr11010097

[3] Fu, Z., Lu, L., Zhang, C., Xu, Q., Zhang, X., Gao, Z., & Li, J. (2023). Fuel cell and hydrogen in maritime application: A review on aspects of technology, cost and regulations. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 57, 103181. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103181

[4] Research Progress of Fuel Cell Technology in Marine Applications: A Review. (2025). Journal of Marine Science and Engineering, 13 (4), 721. Retrieved from https://www.mdpi.com/2077-1312/13/4/721

[5] Klebanoff, L. E., et al. (2025). MV Sea Change: The first commercial 100 % hydrogen fuel cell passenger ferry in the world. International Journal of Hydrogen Energy, 105, 389–404. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.040

[6] ABB. (2025). ABB integrates multi-megawatt marine fuel cell system for the world's first hydrogen fuel-cell superyacht. Retrieved from https://new.abb.com/news/detail/128127/abb-integrates-multi-megawatt-marine-fuel-cell-system-for-the-worlds-first-hydrogen-fuel-cell-superyacht

[7] Viking. (2026). Viking Announces Float Out of the World's First Hydrogen-Powered Cruise Ship. Retrieved from https://www.viking.com/press/press-releases/2026-3-19-viking-announces-float-out-of-the-worlds-first-hydrogen-powered-cruise-ship.html

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF HYDROGEN FUEL CELLS IN MARINE POWER PLANTS

Melekh D.M.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. In this study, the current state of hydrogen fuel cell applications in marine power plants is examined. The operating principle of hydrogen fuel cells, their main advantages, and the limitations of their use in maritime transport are analyzed. Examples of the implementation of this technology on modern passenger vessels, ferries, and other types of ships are presented. The main factors limiting the widespread adoption of hydrogen fuel cells, as well as promising directions for their further development, are identified.

Keywords: hydrogen; fuel cells; marine power plant; maritime transport; alternative fuel; decarbonization; energy efficiency.

УДК 621.43

ТЕРМОХІМІЧНА КОНВЕРСІЯ ПАЛИВА ЯК СПОСІБ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Нестер О.В.,
аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
anester95@gmail.com

Анотація. Досліджено процес термохімічної утилізації теплоти відпрацьованих газів двигуна з іскровим запалюванням шляхом конверсії етанолу у водневмісний газ та його вплив на показники роботи двигуна 1Ч 6,8/5,4. Встановлено, що повна конверсія етанолу досягається за температури 685 °С, отриманий газ містить 43 % водню, 34 % оксиду вуглецю та 23 % метану, а його використання забезпечує зниження питомої ефективної витрати палива на 2,5–12,4 % залежно від навантаження. Використання теплоти відпрацьованих газів у реакторі дає змогу утилізувати 50–65 % її потужності та повернути в цикл 4–6 % енергії, що підтверджує перспективність технології для підвищення паливної ефективності двигуна.

Ключові слова: термохімічна конверсія палива; етанол; водневмісний газ; відпрацьовані гази; двигун внутрішнього згоряння; індикаторні показники; утилізація теплоти.

Вступна частина. Сучасні двигуни внутрішнього згоряння характеризуються значними втратами енергії з відпрацьованими газами, що зумовлює необхідність розвитку ефективних способів утилізації скидної теплоти. Перспективним напрямом є термохімічна утилізація, за якої теплота відпрацьованих газів використовується для конверсії етанолу у водневмісний газ, що дає змогу частково повернути втрачену енергію в робочий цикл та покращити процес згоряння палива. Водночас вплив параметрів такої конверсії та добавок водневмісного газу на індикаторні й ефективні показники двигуна залишається недостатньо дослідженим, що визначає актуальність проведення відповідних експериментальних досліджень.[1,2]

Мета роботи. Дослідження процесів термохімічної утилізації теплоти відпрацьованих газів двигуна з іскровим запалюванням шляхом конверсії етанолу у водневмісний газ та оцінка впливу отриманого водневмісного газу на параметри роботи двигуна й особливості процесу згоряння. Встановлення робочих характеристик реактора конверсії палива як елемента системи утилізації, визначення його енергетичної ефективності та аналіз зміни індикаторних і ефективних показників двигуна при використанні добавок водневмісного газу до етанолу.

Основна частина. Для проведення досліджень робочого циклу ДВЗ, що працює на етанолі з добавками водневмісного газу, було використано стенд на базі двигуна із зовнішнім сумішоутворенням типу 1Ч 6,8/5,4. Двигун має можливість роботи як на чистому етанолі, так і на суміші етанолу з водневмісним газом, отриманим у результаті термохімічної утилізації теплоти відпрацьованих газів.

Залежно від навантаження двигуна та кількості утилізованої теплоти відпрацьованих газів, величина добавки водневмісного газу до етанолу може змінюватися в заданих межах, що дає змогу дослідити її вплив на індикаторні, теплові та ефективні показники роботи двигуна.

Після обробки результатів прямих вимірювань отримано залежність ступеня конверсії від температури реакції (температури водневмісного газу на виході з реактора), а також залежність ступеня конверсії від масової витрати етанолу через реактор.

Повної конверсії етанолу було досягнуто за температури 685 °С і вище. За умов повної конверсії для отримання 1 кг водневмісного газу витрачається 1 кг етанолу, тобто весь рідкий етанол, що надходив у реактор, повністю перетворювався на газоподібне паливо.

Для ефективної реалізації термохімічної утилізації (ТХУ) теплоти відпрацьованих газів у поршневих двигунах внутрішнього згоряння необхідно, щоб температурно-енергетичний потенціал відпрацьованих газів був достатнім для одержання водневмісного газу з етанолу у необхідної кількості та складу. Кількість енергії, необхідної для отримання водневмісного газу, визначається як:

$$Q_{\text{с.г}}^{\text{необ}} = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{пер}} + Q_{\text{х.р}} + Q_{\text{тв}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{наг}}$ – кількість енергії, що витрачається на нагрівання етанолу до температури кипіння; $Q_{вип}$ – кількість енергії, що витрачається на випаровування етанолу; $Q_{пер}$ – кількість енергії, що витрачається на перегрів газоподібного етанолу до температури конверсії; $Q_{х.р}$ – кількість енергії, що витрачається на подолання ендотермічного ефекту реакції хімічного перетворення етанолу в водневмісний газ; $Q_{тв}$ – кількість енергії, що враховує неминучі теплові втрати в навколишнє середовище через реактор.

Кількість енергії, що витрачається на нагрівання етанолу до температури кипіння:

$$Q_{\text{наг}} = G \times C_p' \times (\text{T}_1' - \text{T}_0), \quad (2)$$

де G – масова витрата етанолу через реактор для отримання необхідної кількості водневмісного газу у відповідному режимі роботи двигуна; C_p' – середня ізобарна теплоємність етанолу в інтервалі температур T_0 и T_1'; T_1' – температура кипіння етанолу (78 °C); T_0 – температура рідкого компонента на вході в реактор.

Кількість енергії, яка витрачається на випаровування етанолу:

$$Q_{bcg} = G \times r, \quad (3)$$

де r – питома теплота випаровування етанолу (958 кДж/кг). Кількість енергії, яка витрачається на перегрів газоподібного етанолу до температури конверсії:

$$Q_{\text{пер}} = G \times C_\text{p}'' \times \left(\text{T}_2 - \text{T}_1^{"}\right), \quad (4)$$

де C_p'' – середня ізобарна теплоємність етанолу в інтервалі температур T_2 і T_1''; T_2 – кінцева температура конверсії (температура водневмісного газу на виході з реактора); T_1'' – температура газоподібного етанолу, яка відповідає T'_1.

Кількість енергії, яка витрачається на подолання ендотермічного ефекту реакції хімічного перетворення етанолу в водневмісний газ:

$$Q_{\text{х.р}} = G \times q_{\text{х.р}}, \quad (5)$$

де $q_{\text{х.р}}$ – питома теплота хімічної реакції (визначається експериментально і залежить від ступеня конверсії, способу конверсії, а також термодинамічних і термохімічних властивостей етанолу).

Кількість енергії, яка враховує неминучі теплові втрати в навколишнє середовище $Q_{тв}$ через реактор залежить від конструкції, матеріалу, а також режиму роботи реактора. Теплота згоряння, яка відводиться від двигуна визначається:

$$Q_{\text{вг}} = G_{\text{вг}} \times C_\text{p}''' \times (\text{T}_{\text{вих}} - \text{T}_{\text{н}}), \quad (6)$$

де $G_{\text{вг}}$ – массова витрата відпрацьованих газів; C_p''' – середня ізобарна теплоємність відпрацьованих газів в інтервалі температур $T_н$ і $T_{вих}$; $T_н$ – температура навколишнього середовища; $T_{\text{вих}}$ – температура відхідних газів на виході з двигуна (на вході в реактор). [3]

Для оцінки ефективності застосування лише ТХУ ВГ двигуна 1Ч 6,8/5,4, порівнювалися питома ефективна витрата палива при роботі двигуна на етанолі та витрата етанолу при роботі з добавками водневмісного газу. При використанні добавок водневмісного газу, отриманого за рахунок ТХУ ВГ, питома ефективна витрата етанолу на 1Ч 6,8/5,4 знизилася до 12,4 %

Згідно з результатами дослідження, при досягненні повної конверсії для отримання 1 кг водневмісного газу витрачається 4,0 МДж теплової. Тобто, для отримання водневмісного газу в енергетичній установці на базі двигуна з іскровим запалюванням

1Ч 6,8/5,4 необхідно використовувати 50…65 % теплової енергії відпрацьованих газів. В результаті утилізується 4…6 % теплоти, яка повторно бере участь в організації робочого циклу двигуна.

Аналіз індикаторних діаграм показав, що наявність водневмісного газу в паливоповітряній суміші призводить до збільшення максимального тиску згоряння до 12 % та зміщення його у бік верхньої мертвої точки (ВМТ) на 7° повороту колінчастого вала. Зазначені чинники не спричиняють жорсткішої роботи двигуна, оскільки не призводять до перевищення динамічних навантажень на деталі кривошипно-шатунного механізму. Подальше збільшення частки водневмісного газу в етанолі (понад 10 %) без коригування коефіцієнта надлишку повітря у бік збільшення та кута випередження запалювання у бік зменшення може негативно впливати на роботу двигуна.

Отримані результати підтверджують перспективність термохімічної утилізації теплоти відпрацьованих газів для підвищення паливної ефективності двигунів внутрішнього згоряння та часткового вирішення проблеми низької випаровуваності етанолу. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію параметрів роботи реактора, вивчення впливу добавок водневмісного газу на екологічні показники двигуна та розробку систем керування подачею газу в перехідних режимах роботи.

Висновки. 1. Застосування термохімічного реактора забезпечує використання 50–65 % теплоти відпрацьованих газів для конверсії етанолу та повернення в робочий цикл 4–6 % енергії. Повна конверсія етанолу досягається за температури 685 °С і вище; отриманий водневмісний газ містить 43 % водню, 34 % оксиду вуглецю та 23 % метану, а його питома теплота згоряння становить 28,79 МДж/кг.

2. Використання водневмісного газу як добавки до етанолу покращує перебіг процесу згоряння: максимальний тиск згоряння зростає до 12 %, а його положення зміщується в напрямку ВМТ приблизно на 7°п.к.в. За досліджених режимів питома ефективна витрата етанолу знижується на 2,5–12,4 %.

3. Збільшення частки водневмісного газу понад 10 % потребує коригування коефіцієнта надлишку повітря та кута випередження запалювання. Отримані результати підтверджують можливість підвищення паливної ефективності двигуна шляхом термохімічної утилізації теплоти відпрацьованих газів та використання водневмісного газу як добавки до етанолу.

Література

[1]. Митрофанов О. С., Нестер О. В. Дослідження процесів утилізації теплоти відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння з використанням термохімічної конверсії палива. – Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування, 2026. – № 1 (504). – С. 116–125. – DOI: 10.15589/znp2026.1 (503).1.13.

[2]. Митрофанов О. С. Ефективність двигуна внутрішнього згоряння 4Ч 8,2/7,0, що працює на синтез-газі. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*, 2010. № 3 (432). С. 122–126.

[3]. Mytrofanov O. S., Proskurin A. Y., Poznanskyi A. S. Analysis of the piston engine operation on ethanol with the synthesis-gas additives. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. Vol. 4, No. 1. P. 14–19. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.136380.

THERMOCHEMICAL FUEL CONVERSION AS A METHOD OF WASTE HEAT RECOVERY FROM MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Oleksandr V. Nester

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The process of thermochemical utilization of exhaust gas heat from a spark-ignition engine through ethanol conversion into hydrogen-containing gas and its effect on the operating parameters of a 1Ch 6.8/5.4 engine were investigated. It was established that complete ethanol conversion is achieved at a temperature of 685 °C; the resulting gas contains 43 % hydrogen, 34 % carbon monoxide, and 23 % methane, while its use reduces the brake-specific fuel consumption by 2.5–12.4 %, depending on the engine load. The use of exhaust gas heat in the reactor enables 50–65 % of its thermal power to be utilized and 4–6 % of the energy to be recovered into the engine cycle, demonstrating the potential of the technology for improving engine fuel efficiency.

Keywords: thermochemical fuel conversion; ethanol; hydrogen-containing gas; exhaust gases; internal combustion engine; indicator parameters; heat recovery.

УДК 621.436.068:629.5.03

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СТАЦІОНАРНИХ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ: ВПЛИВ ЗНОШУВАННЯ ЦИЛІНДРОВИХ ВТУЛОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ CAD-МОДЕЛЮВАННЯ

Нестеренко В.В.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри енергетичного машинобудування
Первомайського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна
viktoriia.nesterenko@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто питання розрахунку показників надійності стаціонарних дизельних двигунів суднових енергетичних установок. Встановлено, що одним із факторів, які найбільшою мірою визначають надійність та ресурс дизеля, є зношування робочої поверхні циліндрової втулки. Наведено методику статистичного оцінювання функції надійності на основі розподілу Вейбулла-Гнєденко та результати комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану гільзи циліндра в середовищі SolidWorks Simulation при різних рівнях зносу. За результатами розрахунків побудовано графічні залежності зносу від наробітку, максимальних еквівалентних напружень від величини зносу та функції надійності. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування періодичності технічного обслуговування циліндро-поршневої групи стаціонарних дизельних двигунів.

Ключові слова: надійність, стаціонарний дизельний двигун, циліндрова втулка, зношування, CAD-моделювання, метод скінченних елементів, розподіл Вейбулла-Гнєденко.

Вступ. Ефективність суднових енергетичних установок (СЕУ) безпосередньо залежить від безвідмовності головних і допоміжних дизельних двигунів, у тому числі стаціонарних дизель-генераторних установок, що забезпечують електропостачання суден та берегових об'єктів морської інфраструктури. Відмова дизеля під час експлуатації спричиняє не лише прямі економічні втрати, а й створює загрозу безпеці судна та екіпажу. Тому розрахунок і прогнозування показників надійності стаціонарних дизельних двигунів є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої дозволяє обґрунтовано планувати технічне обслуговування та своєчасно виявляти елементи, що лімітують ресурс установки в цілому.

Методика розрахунку показників надійності. Надійність дизельного двигуна як технічної системи оцінюється комплексом кількісних показників: функцією надійності R(t), густиною розподілу відмов f(t) та інтенсивністю відмов λ(t), пов'язаних відомими співвідношеннями теорії надійності:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp[-\int_0^t \lambda(x)dx]; \; f(t) = -dR(t)/dt; \; \lambda(t) = f(t)/R(t).$$

Для елементів дизеля, відмова яких визначається поступовим накопиченням зношування (циліндрові втулки, поршневі кільця, підшипники), найбільш адекватною статистичною моделлю визнано двопараметричний розподіл Вейбулла-Гнєденко [1, с. 54]:

$$R(t) = \exp[-(t/\eta)^{\beta}],$$

де β – параметр форми; η – параметр масштабу (характеристичний наробіток), що визначаються за критерієм Пірсона на основі статистичної обробки експлуатаційних даних про зношування.

Фактори впливу на надійність стаціонарного дизеля. Аналіз статистики відмов стаціонарних та суднових дизельних двигунів свідчить, що на показники надійності впливає низка факторів: якість палива та стан паливної апаратури, ефективність системи охолодження, якість мастильних матеріалів, теплонапруженість деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), а також якість монтажу та фактичні режими навантаження. Найбільший вплив серед перелічених факторів має технічний стан циліндрової втулки, оскільки саме її зношування визначає компресію, витрату мастила, прорив газів у картер і, як наслідок, ресурс двигуна в цілому [2, с. 159]. За даними статистичного аналізу вибірки з 696 циліндрових втулок малообертових суднових дизелів, найбільш точною апроксимацією емпіричного розподілу швидкості зношування робочої поверхні визнано саме закон Вейбулла-Гнєденко [1, с. 55].

Детальний аналіз фактора: зношування циліндрової втулки. Зношування робочої поверхні гільзи циліндра є результатом сумісної дії абразивного, корозійного та втомного механізмів тертя пари «поршневе кільце – гільза». Процес зношування має нелінійний характер: після короткого періоду припрацювання швидкість зношування стабілізується, а надалі, у міру зменшення ресурсу, зростає внаслідок збільшення зазору в спряженні, погіршення умов мащення та підвищення ударних навантажень [3, с. 1301]. Гранично допустимий знос $h_{гр}$ для більшості стаціонарних дизелів середньої потужності

становить 0,5-0, мм на діаметр; після перевищення цього значення суттєво зростає ймовірність прориву газів, закоксовування кілець та задирів [4, с. 30].

Для кількісної оцінки впливу зносу на напружено-деформований стан гільзи циліндра виконано комп'ютерне моделювання в CAD/CAE-середовищі SolidWorks Simulation. Було створено тривимірну параметричну модель гільзи циліндра стаціонарного дизеля (матеріал – легований перлітний чавун), яка ітераційно «зношувалась» шляхом зменшення товщини стінки у зоні контакту з поршневими кільцями на величину h=0…0, мм із кроком 0,0 мм. Розрахункова модель закріплювалась по опорних поясках блока циліндрів; навантаження задавалось у вигляді рівномірного тиску згоряння Pz = 12,5 МПа на внутрішню поверхню втулки та розподіленого теплового навантаження від температури робочого тіла. Скінченно-елементна сітка згущувалась у зоні верхньої мертвої точки поршня, де фіксується максимальна теплонапруженість деталі [5, с. 20]. Для кожного значення зносу визначалося максимальне еквівалентне напруження за критерієм Мізеса $\sigma_{екв}^{max}$.

Результати моделювання. На рис. 1 наведено розрахункову залежність радіального зносу гільзи циліндра від наробітку, отриману на основі узагальненої моделі зношування, яка враховує стадію припрацювання, стадію нормального зношування та стадію прискореного зношування. Гранично допустимого значення $h_{гр}$ = 0,6 мм знос досягає за наробітку приблизно t ≈ 24 400 год.

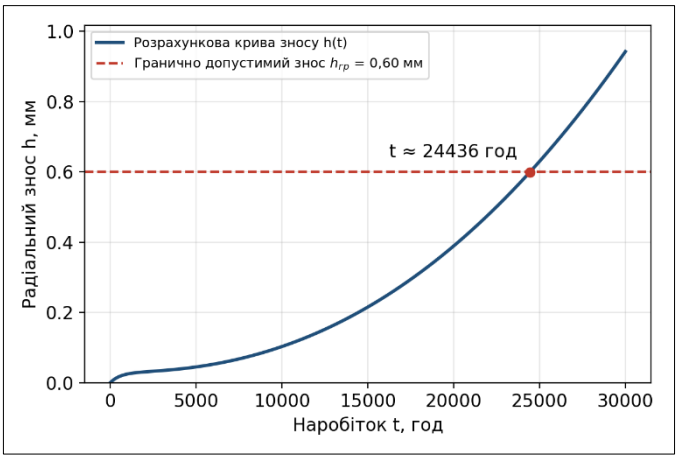


Рисунок 1 – Розрахункова динаміка радіального зносу робочої поверхні гільзи циліндра

На рис. 2 подано результат CAD-симуляції – залежність максимального еквівалентного напруження в стінці гільзи від величини зносу. Встановлено, що при зношуванні понад h ≈ 0,50-0,5 мм розрахункові напруження перевищують допустиме значення [σ] = 320 МПа для матеріалу втулки, що узгоджується з відомими даними про різке зростання інтенсивності відмов гільз після досягнення критичного зазору в спряженні «гільза – поршневе кільце» [3, с. 1303].

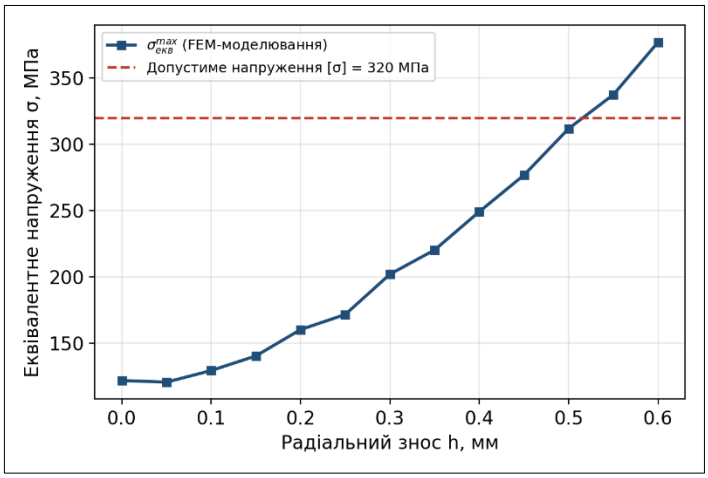


Рисунок 2 – Залежність максимальних еквівалентних напружень у стінці гільзи циліндра від величини зносу (результат CAD-симуляції в SolidWorks Simulation)

На основі статистичних даних про зношування [1, с. 56] побудовано функцію надійності циліндрової втулки за розподілом Вейбулла-Гнєденко з параметрами β = 2,35; η = 21 000 год (рис. 3). Порівняння з

результатами CAD-моделювання показує, що момент перевищення допустимих напружень (t ≈ 24 400 год за розрахунковою кривою зношування) відповідає рівню надійності R(t) ≈ 0,30-0,35, тобто ймовірність безвідмовної роботи гільзи до цього наробітку становить лише 30–35 %.

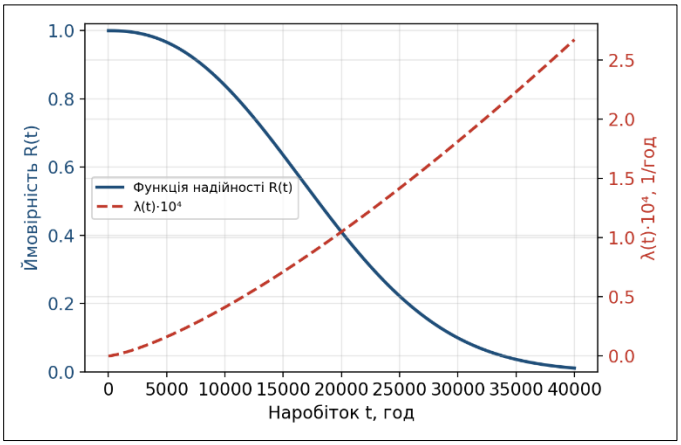


Рис. 3. Функція надійності R(t) та інтенсивність відмов λ(t) гільзи циліндра за законом Вейбулла-Гнєденко (β = 2,35; η = 21 000 год)

Обговорення результатів. Поєднання статистичного розрахунку надійності з результатами CAD-моделювання дозволяє встановити не лише ймовірнісні, але й фізично обґрунтовані межі допустимого зношування циліндрової втулки. Отримані результати підтверджують доцільність призначення міжремонтного інтервалу технічного обслуговування ЦПГ стаціонарних дизелів на рівні t = 18 000–20 000 год експлуатації, що забезпечує рівень надійності R(t) не нижче 0,55–0,60 і виключає перехід деталі у зону підвищених напружень. Такий підхід відповідає концепції обслуговування за фактичним технічним станом і дозволяє скоротити витрати на планове обслуговування без зниження рівня експлуатаційної надійності установки [2, с. 165].

Висновки. 1. Розроблено методику комплексного розрахунку надійності стаціонарного дизельного двигуна, що поєднує статистичну модель Вейбулла-Гнєденко та результати CAD-моделювання напружено-деформованого стану деталей циліндро-поршневої групи.

2. Встановлено, що зношування циліндрової втулки є одним із найбільш значущих факторів, що визначають надійність стаціонарного дизеля, оскільки безпосередньо впливає на напружений стан гільзи та ймовірність її відмови.

3. За результатами CAD-симуляції в SolidWorks Simulation визначено критичне значення зносу (≈ 0,50-0,5 мм), за якого еквівалентні напруження перевищують допустимі, що відповідає наробітку близько 22 000–24 000 год.

4. Отримані результати рекомендується використовувати під час обґрунтування регламенту технічного обслуговування стаціонарних дизельних двигунів суднових енергетичних установок.

Література

1. Савчук В. П. Аналіз надійності циліндрових втулок двигунів фірми B&W серії S70MC та S80MC. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2014. № 2. С. 52–57.

2. Guida M., Pulcini G. A wear model for assessing the reliability of cylinder liners in marine diesel engines. *IEEE Transactions on Reliability*. 2007. Vol. 56, No. 1. P. 158–166.

3. Bocchetti D., Giorgio M., Guida M., Pulcini G. A competing risk model for the reliability of cylinder liners in marine Diesel engines. *Reliability Engineering and System Safety*. 2009. Vol. 94, No. 8. P. 1299–1307.

4. Matika D., Mihanović L. Reliability of a Light High Speed Marine Diesel Engine. *Brodogradnja*. 2011. Vol. 62, No. 1. P. 28–36.

5. Shih R. Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation. Mission: SDC Publications, 2011. 451 p.

CALCULATION OF THE RELIABILITY OF STATIONARY MARINE DIESEL ENGINES: THE INFLUENCE OF CYLINDER LINER WEAR BASED ON CAD SIMULATION RESULTS

Nesterenko V.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, м. Pervomaisk, Mykolaiv region, Ukraine

Abstract. The paper addresses the calculation of reliability indices of stationary diesel engines used in ship power plants. Cylinder liner wear is identified as one of the factors with the greatest influence on engine reliability

and service life. A method for the statistical estimation of the reliability function based on the Weibull-Gnedenko distribution is presented, together with the results of finite-element simulation of the liner's stress-strain state performed in SolidWorks Simulation for different wear levels. Graphical dependences of wear versus operating time, maximum equivalent stress versus wear, and the reliability function are obtained. The results can be used to justify the maintenance intervals of the cylinder-piston group of stationary diesel engines.

Keywords: reliability, stationary diesel engine, cylinder liner, wear, CAD simulation, finite element method, Weibull-Gnedenko distribution.

УДК 621.45.034:629.54

АНАЛІЗ СКЛАДУ ЕНЕРГОУСТАНОВОК ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ З PEMFC

Рязанцев П.А.,
аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
pricesf2501@gmail.com
Личко Б.М.,
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
bogdan.lychko@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Здійснено інженерний аналіз складу та рішень пропульсивних комплексів сучасних комерційних контейнеровозів, оснащених низькотемпературними паливними елементами з протонообмінною мембраною (PEMFC). На основі систематизації експлуатаційних характеристик річкових суден H2 Barge 1, H2 Barge 2 та морського контейнеровоза Samskip SeaShuttle розкрито структуру компонентів їхніх суднових енергетичних установок. Виконано поглиблену декомпозицію підсистем головної енергетичної установки судна Samskip SeaShuttle, включаючи кріогенне паливосховище рідкого водню, модульний стек PEMFC на 3,2 МВт, буферні накопичувачі та розподільчу мережу постійного струму. Сформульовано вихідні параметри та критерії для наступного етапу досліджень – побудови математичної та техніко-економічної моделі функціонування водневого контейнеровоза.

Ключові слова: контейнеровози, паливні елементи, PEMFC, суднові енергетичні установки, рідкий водень, SeaShuttle, архітектура СЕУ.

Вступна частина. Раніше проведений огляд стану та можливостей застосування водневих технологій на флоті показав, що низькотемпературні паливні елементи типу PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) мають найвищий рівень технологічної зрілості та досягають електрохімічного ККД у діапазоні 50…55 % [1]. Разом із тим, етап локальних експериментів на малотоннажних пасажирських суднах і буксирах поступово поступається місцем інтеграції водневих пропульсивних комплексів у вантажний комерційний флот [1].

Найбільш раціональним сегментом для первинного впровадження PEMFC є контейнерні перевезення. На відміну від непередбачуваного трампового плавання танкерного чи балкерного флоту, контейнеровози працюють на постійних лінійних маршрутах із чітким розкладом. Це мінімізує залежність від глобальної інфраструктури, оскільки бункерування воднем вимагає створення заправних терміналів лише у двох-трьох базових портах ротації.

Мета роботи. Дослідження та систематизація структури енергетичних установок діючих і проєктованих комерційних контейнеровозів із системами PEMFC, виконання детального технічного аналізу компонентів пропульсивного комплексу найбільш перспективного морського судна та визначення вихідних критеріїв для подальшого математичного моделювання.

Основна частина. Фактична комерційна практика застосування паливних елементів PEMFC як головних рушійних установок на контейнеровозах зосереджена в європейському транспортному коридорі та представлена трьома проєктами (табл. 1).

Аналіз внутрішньоводних контейнеровозів H2 Barge 1 та H2 Barge 2 показує споріднену схемну архітектуру. На судні H2 Barge 1 замість демонтованого дизельного двигуна встановлено енергокомплекс на базі блоків PEMFC загальною потужністю 825 кВт [4]. Його паливна система спирається на змінні балонні касети зі стисненим під тиском 300 бар воднем, розміщені безпосередньо у трюмній частині перед надбудовою [4]. Енергія передається на шину постійного струму (DC-bus), звідки живиться гребний

електродвигун потужністю 800 кВт та бортові споживачі [4]. Буферний акумуляторний блок місткістю 1000 кВт·год приймає на себе пікові навантаження під час шлюзування [4].

Таблиця 1 – Порівняльний склад енергетичних установок комерційних водневих контейнеровозів

Назва судна / Проєкт	**Клас плавання та маршрут**	**Місткість / Дедвейт**	**Потужність PEMFC**	**Роль PEMFC в СЕУ**
H2 Barge 1 (екс-*FPS Maas*)	Річковий: Роттердам (NL) – Мерхаут (BE)	190 TEU / 2600 т DWT	825 кВт (Ballard FCwave)	100 % заміна головного дизеля
H2 Barge 2 (екс-*FPS Waal*)	Річковий (Рейн): Роттердам (NL) – Дуйсбург (DE)	190 TEU / 2900 т DWT	1200 кВт (6×200 кВт Ballard)	100 % заміна головного дизеля
Samskip SeaShuttle 1 & 2	Морський каботажний: Осло-фіорд (NO) – Роттердам (NL)	500 TEU / ~5500 т DWT	3200 кВт (16×200 кВт Ballard)	100 % заміна головного дизеля

На судні H2 Barge 2, що працює на вантажній лінії річки Рейн із швидшими течіями, пропульсивна потужність збільшена: енергетична установка містить шість уніфікованих модулів Ballard FCwave по 200 кВт кожен (сумарно 1,2 МВт) [2, 4]. Паливна підсистема виконана на базі швидкознімних 40-футових контейнерних модулів (Swap Containers) під тиском 300 бар, що дозволяє замінювати спорожнені балони береговим краном за час стандартних вантажних операцій у порту Дуйсбург [4]. Літій-іонна батарея ємністю 1200 кВт·год покриває дефіцит тяги при русі проти течії [4]. Головним недоліком обох суден є використання стисненого газу: важкі металокомпозитні балони займають до 15 % корисного вантажного простору трюму.

Найбільш передовим і показовим для вантажного флоту є проєкт морського фідерного контейнеровоза Samskip SeaShuttle (500 TEU, довжина 135 м, будівництво ведеться верф'ю Cochin Shipyard) [3]. Судно розраховане на регулярну лінію протяжністю понад 70 морських миль у Північному морі між Норвегією та Нідерландами [3].

Енергетична установка судна спроєктована за концепцією використання рідкого водню (LH_2) та шини постійного струму (рис. 1).



Рисунок 1 – Морський каботажний контейнеровоз Samskip SeaShuttle (500 TEU, СЕУ з паливними елементами PEMFC 3,2 МВт на рідкому водні)

Принципове компонування та функціональний взаємозв'язок підсистем досліджуваного пропульсивного комплексу представлено на рис. 2, де показано архітектуру гібридної силової установки судна Samskip SeaShuttle на основі водневих паливних елементів (PEMFC) та тягової батареї (ESS) [3]. Схема наочно відображає інтеграцію кріогенного сховища рідкого водню, блоку регазифікації з підведенням низькотемпературного скидного тепла охолодження, генеруючого масиву паливних елементів потужністю 3,2 МВт і буферного акумуляторного накопичувача навколо єдиної розподільчої шини постійного струму (DC-bus) [2, 3].



Рисунок 2 – Архітектура гібридної силової установки судна Samskip Seashuttle на основі водневих паливних елементів (PEMFC) та тягової батареї (ESS)

У такій структурі PEMFC генерує електроенергію для сталого ходу у відкритому морі на крейсерській швидкості. Буферна акумуляторна система ємністю 1500 кВт·год виконує функцію згладжування динамічних піків (peak shaving) при різкому маневруванні та роботі носового підрулювача. Це дозволяє уникнути циклічних навантажень на мембрани паливних елементів, що є головним фактором збереження їхнього робочого ресурсу до регламентної заміни.

Детальний аналіз основних функціональних компонентів СЕУ Samskip SeaShuttle виявляє такі інженерні рішення:

Кріогенне сховище та блок паливопідготовки: водень зберігається у формі рідини при температурі –253 °C під тиском до 5 бар у двох горизонтальних танках із вакуумно-перлітною ізоляцією, розташованих на відкритій кормовій палубі [3]. Це зберігає весь підпалубний об'єм для перевезення контейнерів. Перед подачею в елементи рідкий водень регазифікується у блоці випарників за рахунок підведення тепла від рідинного контуру охолодження сорочок паливних елементів (температура теплоносія 65…70°C) [2, 3].

Електрохімічний блок генерації: силова основа складається з 16 стійкових модулів Ballard FCwave по 200 кВт, об'єднаних у паралельні групи сумарною потужністю 3,2 МВт [2, 3]. Модулі розподілені між двома ізольованими апаратно-вентильованими вигорожами відповідно до вимог щодо безпеки та живучості паливних установок DNV [5]. Кожен модуль має власні контури компресії очищеного повітря, зволоження мембран та насоси деіонізованого охолодження [2].

Буферна акумуляторна система (ESS): літій-іонний батарейний масив місткістю близько 1500 кВт·год підключений до спільної мережі через двонаправлені DC/DC перетворювачі [3, 5]. Батарея виконує функцію згладжування динамічних піків (peak shaving) та забезпечує енергію для розгону й різких маневрів, захищаючи мембрани PEMFC від термомеханічної деградації, яка виникає при частих змінах навантаження [2, 5].

Система розподілу електроенергії (DC-Grid): відмова від традиційної трифазної мережі змінного струму на користь шини DC напругою 650…750В ліквідує втрати на синхронізацію генераторів за частотою, дозволяє оптимізувати габарити кабельних трас і спрощує паралельну інтеграцію паливних елементів з акумуляторами [2, 3, 5].

Пропульсивний блок: рух судна забезпечує високоефективний синхронний гребний електродвигун із постійними магнітами, який керується частотним інвертором [3]. Додатково до шини DC підключено привод носового підрулювача та перетворювачі живлення бортових систем 400В/50Гц [3].

Перспективи розвитку та критерії розрахункового моделювання. Отримані компонувальні дані створюють основу для подальшого формування комплексної математичної моделі функціонування водневої СЕУ. У такій моделі необхідно формалізувати динамічний енергетичний баланс судна на характерних ділянках рейсу: маневрування у порту (робота батареї), крейсерський перехід морем (базова віддача стека PEMFC при 75…85 % номіналу) та швартовка. Важливими розрахунковими блоками повинні стати аналітична залежність швидкості деградації протонообмінних мембран від циклічності режимів, а також рівняння теплообміну між контуром охолодження паливних елементів і випарником зрідженого водню для мінімізації втрат ексергії на борту (втрати ексергії або деструкція ексергії – це термодинамічна величина, яка показує втрачену здатність енергії виконувати корисну роботу внаслідок необоротності реальних процесів.

Паралельно постає задача побудови порівняльної техніко-економічної моделі вартості життєвого циклу (ТСО). Критеріальна база моделі повинна зіставляти початковий капітальний надлишок будівництва

водневого судна на верфі (CAPEX) із кумулятивними експлуатаційними витратами (OPEX). До уваги мають братися витрати на обов'язкову регламентну заміну блоків стеків через кожні 25000…30000 годин роботи, цінова динаміка «зеленого» водню та монетарний виграш від уникнення щорічних штрафів європейських регуляторних нормативів FuelEU Maritime та системи торгівлі викидами EU ETS, що дозволить визначити граничний термін окупності таких контейнеровозів.

Висновки. Практичний досвід експлуатації суден H2 Barge 1, H2 Barge 2 та реалізація морського проєкту Samskip SeaShuttle доводять технічну спроможність силових установок PEMFC замінити традиційні головні дизельні двигуни на контейнеровозах. Якщо для внутрішніх річкових артерій допустимим залишається стиснений водень 300 бар, то для морських фідерних ліній єдино виправданим стандартом стає використання рідкого водню (LH_2) у поєднанні з архітектурою DC-grid та буферними батареями. Сформовані у роботі інженерні структури визначають чіткий вектор для наступного етапу досліджень – розробки математичних та техніко-економічних алгоритмів оптимізації водневих суден.

Література

[1] Рязанцев П. А. Оглядовий аналіз використання та можливостей низькотемпературних паливних елементів у транспортному флоті // XII Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми». – Миколаїв: НУК, 2025. – с. 108–110. Режим доступу: http://ir.nuos.edu.ua/.

[2] Ballard Power Systems. FCwave™ Fuel Cell Module for Marine Vessels: Systems and Integration Data. – Vancouver: Ballard Power Systems, 2024. Режим доступу: https://www.ballard.com/marine/.

[3] Samskip SeaShuttle: World's First Green Hydrogen-Powered Shortsea Container Vessel / Navalprogetti, Cochin Shipyard // Offshore Energy: Clean Shipping Division. 2024. Режим доступу: https://www.offshore-energy.biz/construction-starts-on-worlds-first-green-hydrogen-powered-shortsea-boxship/.

[4] Future Proof Shipping. Inland Hydrogen Shipping Case Studies: H2 Barge 1 and H2 Barge 2 / EU Horizon FLAGSHIPS Project. Rotterdam, 2024. Режим доступу: https://flagships.eu/.

[5] DNV AS. Rules for Classification: Ships (DNV-RU-SHIP). Part 6: Additional class notations, Chapter 2: Propulsion, power generation and auxiliary systems, Section 2: Fuel cell installations – FC. Høvik: DNV, 2024. С. 42. Режим доступу: https://rules.dnv.com/

ANALYSIS OF POWER PLANT CONFIGURATION AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF PEMFC CONTAINER VESSELS

Riazantsev P.A., Lychko B.M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An engineering analysis of the configuration and topological layouts of propulsion systems for modern commercial container ships powered by low-temperature proton exchange membrane fuel cells (PEMFC) is presented. Based on operational data from the inland vessels H2 Barge 1, H2 Barge 2, and the shortsea container carrier Samskip SeaShuttle, the component breakdown of their marine energy installations is established. A comprehensive structural decomposition of the primary power plant of the Samskip SeaShuttle is performed, detailing its liquid hydrogen cryogenic storage, 3.2 MW modular PEMFC stack, energy storage batteries, and direct current distribution grid. Foundational parameters and criteria are identified to establish the framework for subsequent mathematical and techno-economic lifecycle modeling of hydrogen-powered container shipping.

Keywords: container vessels, fuel cells, PEMFC, marine power plants, liquid hydrogen, SeaShuttle, marine power plant architecture.

УДК 621.352.6:629.12

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВИХ PEMFC В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН

Слюсаренко В.В.,
аспірант
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
Volodymyr.Slyusarenko@gmail.com
Личко Б.М.,
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bogdan.lychko@gmail.com

Анотація. Розглянуто застосування водневих PEMFC в енергетичних установках пасажирських суден. Проаналізовано їх енергетичні характеристики, роботу за змінного навантаження та інтеграцію з акумуляторними батареями. Визначено основні фактори ефективності гібридної установки та перспективність модульних PEMFC-систем для суден із регулярними маршрутами.

Ключові слова: PEMFC, водень, паливні елементи, пасажирське судно, гібридна енергетична установка, акумуляторна батарея.

Вступна частина. Перспективним напрямом декарбонізації пасажирського флоту є застосування паливних елементів з протон-обмінною мембраною Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), що працюють на водні. У PEMFC хімічна енергія водню безпосередньо перетворюється в електричну, а за використання чистого H_2 на борту не утворюються CO_2, SO_X і тверді частинки. Низькі шум і вібрація є додатковою перевагою для пасажирських суден.

PEMFC характеризуються швидким запуском, модульністю та високим електричним ККД. Морський модуль FCwave має номінальну потужність 200 кВт і максимальний паливний ККД 53,5 % [1]. Суднове застосування потребує узгодження зі змінним навантаженням, а також вирішення питань зберігання водню, безпеки та тепловідведення.

Метою данного дослідження є визначення енергетичних та експлуатаційних особливостей застосування водневих PEMFC на пасажирських суднах та оцінка доцільність їх інтеграції з акумуляторними батареями.

Основна частина. PEMFC генерують електроенергію внаслідок електрохімічної реакції водню та кисню. Елементи об’єднують у стеки, а стеки – у модулі необхідної потужності. Морська система також включає подавання водню й повітря, охолодження, вентиляцію, керування та силову електроніку, тому її ефективність залежить і від енергоспоживання допоміжних систем.

Таблиця 1 – Основні характеристики морського PEMFC-модуля FCwave [1]

Параметр	Значення
Номінальна потужність	200 кВт
Мінімальна потужність	55 кВт
Максимальний паливний ККД	53,5 %
Робоча напруга	350–720 В DC
Температура теплоносія на виході	до 65 °C
Система охолодження	рідинна

Для пасажирських поромів характерні повторювані режими: відхід від причалу, прискорення, сталий хід, уповільнення та маневрування. Покриття піків лише PEMFC потребує завищення встановленої потужності. Тому доцільно поєднувати PEMFC з акумуляторною батареєю, яка покриває короткочасні піки та швидкі зміни навантаження.

Доцільність гібридизації підтверджують дослідження. У Analysis of Hybrid Ship Machinery System with Proton Exchange Membrane Fuel Cells and Battery Pack [2] визначено конфігурацію з PEMFC 300 кВт і батареєю 424 кВт·год. У Development and demonstration of PEM fuel-cell-battery hybrid system for propulsion of tourist boat [3] на туристичному судні використано PEMFC 50 кВт і літій-іонну батарею 47 кВт·год. Обидва приклади підтверджують придатність схеми PEMFC – акумуляторна батарея для змінного профілю навантаження.

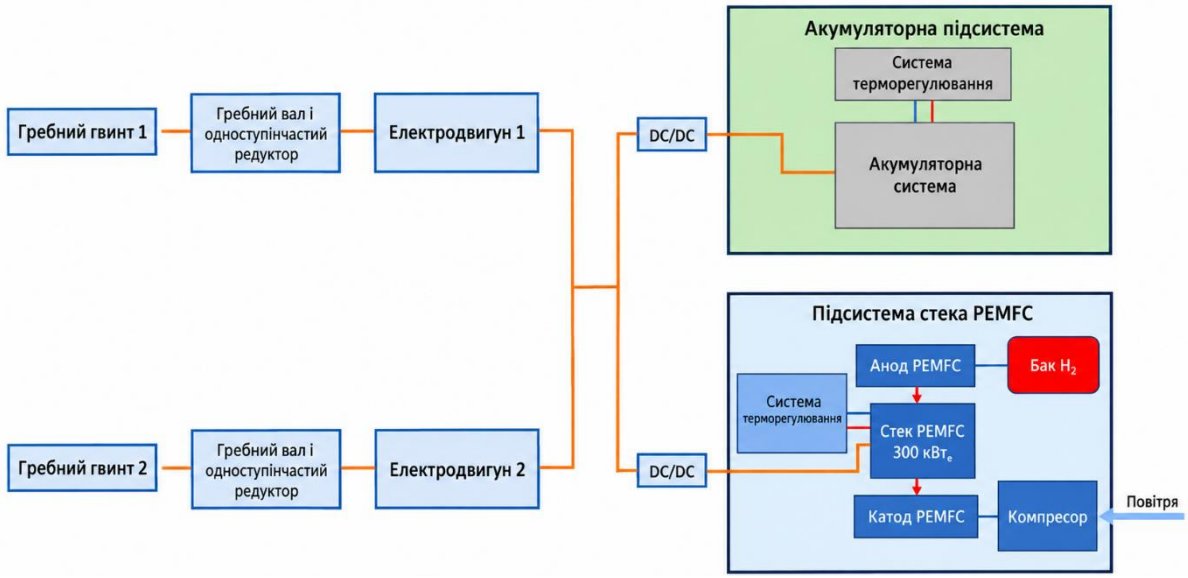


Рисунок 1 – Принципова структура гібридної суднової енергетичної установки PEMFC – акумуляторна батарея, адаптовано за [2]

Паливну ефективність PEMFC можна оцінити за енергетичним балансом:

$$\eta_{PEMFC} = \frac{P_e}{\dot{m}_{H2} LHV_{H2}},$$

де η_{PEMFC} – електричний ККД; P_e – корисна електрична потужність; $\dot{m}_{H2}$ – масова витрата водню; LHV_{H2} – нижча теплота згоряння водню.

Питома витрата водню на одиницю виробленої електроенергії визначається як:

$$b_{H2} = \frac{1}{\eta_{PEMFC} LHV_{H2}},$$

Для розрахункової залежності прийнято діапазон електричного ККД PEMFC 45-60 %, характерний для морських застосувань [7]. У ньому знаходиться і максимальний паливний ККД FCwave – 53,5 % [1]. За LHV_{H2} = 33,3 кВт·год/кг [6] при ККД 53,5 % отримуємо $b_{H2} \approx 0{,}056$ кг/(кВт·год), що для модуля 200 кВт відповідає теоретичній витраті близько 11,2 кг H_2/год.

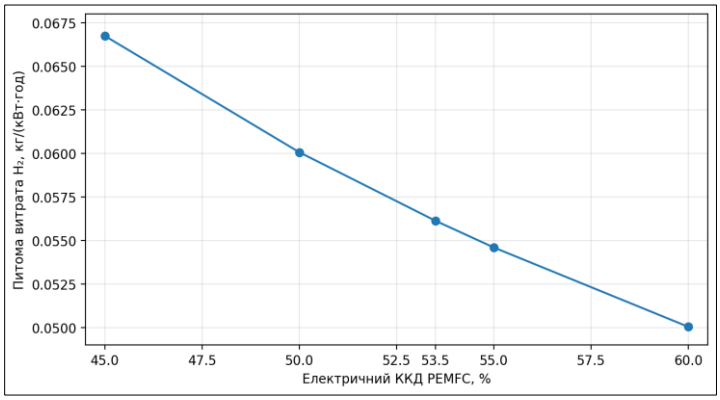


Рисунок 2 – Розрахункова залежність питомої витрати водню від електричного ККД PEMFC у діапазоні 45–60 %

Підвищення ККД від 45 до 53,5 % зменшує розрахункову питому витрату водню приблизно на 16 %. Для судна це суттєво через обмежений об’єм паливних резервуарів.

Спосіб зберігання водню визначає автономність і компонування судна. Стиснений H_2 придатний для коротких регулярних маршрутів із частим бункеруванням, тоді як зріджений H_2 забезпечує більший запас енергії в обмеженому об’ємі, але потребує кріогенних резервуарів і складнішого обладнання [4, 5].

Додатковим резервом підвищення загальної ефективності є використання теплоти, що відводиться від PEMFC. Для FCwave температура теплоносія на виході сягає 65 °C [1], що дає змогу використовувати її для гарячого водопостачання, підігріву вентиляційного повітря та інших низькотемпературних суднових споживачів.

Висновки. Водневі PEMFC є перспективними для пасажирських суден завдяки модульності, високій ефективності, низькому рівню шуму та відсутності локальних викидів. Для змінного навантаження доцільна схема PEMFC – акумуляторна батарея. При ККД 53,5 % теоретична питома витрата водню становить близько 0,056 кг/(кВт·год). Перспективним є також використання низькопотенційної теплоти PEMFC.

Література

[1] Ballard Power Systems. FCwave™ Fuel Cell Module. Product Specifications. 2024. URL: ballard.com

[2] Penga J., Vidović T., Radica G., Penga Ž. Analysis of Hybrid Ship Machinery System with Proton Exchange Membrane Fuel Cells and Battery Pack. Applied Sciences. 2024. 14 (7), 2878. DOI: 10.3390/app14072878.

[3] Choi C. H. et al. Development and demonstration of PEM fuel-cell-battery hybrid system for propulsion of tourist boat. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. 41 (5). P. 3591–3599. DOI: 10.1016/j.ijhydene. 2015.12.186.

[4] IMO. MSC.1/Circ.1647. Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Fuel Cell Power Installations. 2022.

[5] IMO. MSC.1/Circ.1701. Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Hydrogen as Fuel. 2026.

[6] U.S. Department of Energy. DOE Technical Targets for Onboard Hydrogen Storage. LHV of hydrogen: 33.3 kWh/kg. URL: energy.gov

[7] Bertagna S. et al. A Rational Approach to the Ecological Transition in the Cruise Market: Technologies and Design Compromises for the Fuel Switch. J. Mar. Sci. Eng. 2023. 11 (1), 67. DOI: 10.3390/jmse11010067.

FEATURES OF HYDROGEN PEMFC USE IN PASSENGER SHIP POWER SYSTEMS

Slyusarenko V.V., Lychko B.M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The use of hydrogen PEMFCs in passenger ship power systems is considered. Their energy characteristics, operation under variable loads, and integration with batteries are analyzed. The main efficiency factors of hybrid systems and the potential of modular PEMFC solutions for vessels on regular routes are identified.

Keywords: PEMFC, hydrogen, passenger ship, hybrid power system, battery.

УДК 621.181.62:534.1

УДОСКОНАЛЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Самохвалов В.С.,
PhD, асоціон. професор
vsevoloddsamohvalov@gmail.com
Пацурковский П.А.,
PhD, асоціон. професор
pavlo.patsurkovskyi@nuos.edu.ua
Шостак В.П.,
PhD, професор
shostakvolodymyr7@gmail.com
Годик К.О.,
PhD, викладач
godykkostas@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Вибір параметрів очищувального агента, такого як стиснене повітря або пара, має велике значення для ефективного видалення відкладень, оскільки необхідно забезпечити як очищення, так і транспортування видалених відкладень. Окрім ударно-хвильової складової, акустично-резонансні та вібраційні ефекти відіграють вирішальну роль порівняно з дією газового струменя. Ударно-акустичний метод очищення зовнішніх теплообмінних поверхонь суднових і стаціонарних теплообмінників із малими конвективними об’ємами досліджено на судновому котлі-утилізаторі KUP 150 SI. Метод використовує пневматичні імпульсні генератори, що працюють на стисненому повітрі під тиском 0,3–1,0 МПа, з різними типами профільованих сопел. Аналіз попереднього досвіду показує, що ефективність очищення зростає зі збільшенням амплітуди пульсацій і залежить від об’єму камери та тиску генератора, а також від конструкції сопла.

Ключові слова: пневматичний імпульсний генератор, ударно-акустичне очищення, котел-утилізатор, поверхні нагріву, відкладення, резонансно-акустичний ефект.

Велике значення для ефективного видалення відкладень має правильний вибір параметрів агента, що очищає, яким може бути стиснене повітря або пара. При цьому вирішуються два завдання: очищення й транспортування тих відкладень, які видаляють. Визначальним також є, крім складової ударної хвилі (в порівнянні із впливом струменевого плину газу) складова акустично-резонансного та вібраційного впливу [1, 4].

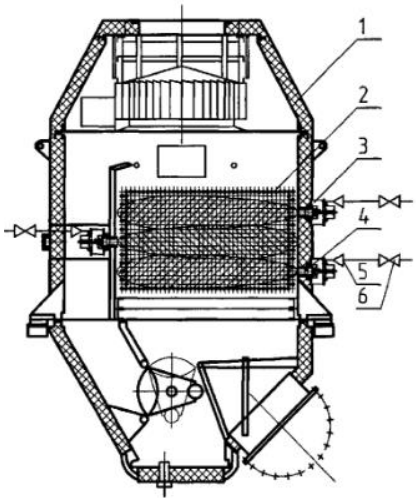


Рисунок 1 – Схема розміщення генераторів пневматичних імпульсів на утилізаційному котлі КУП 150 СІ

Дослідження методу ударно-акустичного очищення зовнішніх теплообмінних поверхонь суднових і стаціонарних теплообмінників із малими конвективними обсягами моделювалися й проводилися на судновому утилізаційному котлі марки КУП 150 СІ в діапазоні параметрів, характерних для суднових енергетичних установок. На рис. 1 зображена схема розміщення генераторів пневматичних імпульсів на прикладі очищення економайзерної поверхні утилізаційного котла КУП 150 СІ від зовнішніх відкладень.

У корпусі утилізаційного котла 1 розташована економайзерна поверхня 2. Дев'ять генераторів пневматичних імпульсів 3 рівномірно розташовані по ширині котла. Вихлопні профільовані сопла 4 введені через обшивання корпусу утилізаційного котла 1 у конвективну шахту. До генераторів пневматичних імпульсів підведені трубопроводи стисненого повітря 5, на які встановлені клапани 6.

Завдяки способу ударно-акустичного очищення створюються пневматичні імпульси, розподілені рівномірно по конвективному об'єму теплообмінника для формування резонансно-акустичного впливу на відкладення і його транспортування по проточній частині теплообмінника. Спосіб ударно-акустичного очищення зовнішніх теплообмінних поверхонь діє на відкладення наступними шляхами: динамічним напором потоку дискретних газових струменів, проходженням акустичної хвилі, механічним струшуванням конструкції теплообмінної поверхні. Взаємодія ударних хвиль і супутніх резонансно-акустичних коливань із відкладеннями має складний характер. Ці резонансно-акустичні імпульси можна забезпечити шляхом напрямку ударних хвиль у малі конвективні обсяги. Падаючи на відкладення, ударна хвиля відбивається від твердої стінки й вільної поверхні відкладень. Відбиття хвилі стиску й одночасне перетворення її у хвилю розрядження відбувається за законами акустики, при цьому в малих обсягах відбуваються резонансно-акустичні явища, які підвищують амплітуду імпульсу. Ефект дії резонансно-акустичного коливання в самому шарі відкладень підсилюється за рахунок пружної деформації твердої поверхні, на якій він розташований, і наявності газових пор, порожнеч у шарі відкладень, які при періодичній різкій зміні амплітуди імпульсу руйнуються.

Як джерело акустичних коливань використовують пневматичні імпульси, які створюють генератором пневматичних імпульсів [2, 3].В якості робочого тіла запропоновано використоувати стиснене повітря з тиском 0,3-1,0 МПа й різними типами вихідних профільованих сопел.

Аналіз раніше накопиченого досвіду демонструє наступне:

– збільшення амплітуд пульсації веде до підвищення ефекту очищення;
– очищення в трубному пучку осцилюючим потоком ефективніше, ніж очищення іншими типами потоків (наприклад, обдуванням);
– ефективність при імпульсному витіканні залежить від ємності камери пневмоімпульсного генератора й тиску в ній;
– механізм видалення забруднення містить у собі як струменевий, так і хвильовий вплив;
– величина очищеної поверхні залежить від конструкції сопла-насадки;
– уведення краплинної рідини (або іншого тіла) у вихлоп моделі пнемоімпульсного генератора збільшує ефект очищення.

Література

[1] Самохвалов В. С., Коновалов Д. В., Багненко М. Ю. та ін. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження на суднах : навчальний посібник / за заг. ред. В. С. Самохвалова. Миколаїв : Іліон, 2016. 43 с.

[2] Генератор пневматичних імпульсів Патент України на винахід № 85120 С2, МПК 2006 F28G1/00 / М.Ю. Багненко, В.С. Самохвалов (Україна). № 200703952; Заявлено 10.04.2007; Опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24.

[3] Спосіб акустичного очищення зовнішніх теплообмінних поверхонь Патент України на винахід № 86844 C2, МПК 2009 F28G1/00, F28G7/00 / М.Ю. Багненко, В.С. Самохвалов (Україна).№ 200705340; Заявлено 15.05.2007; Опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.

[4] Самохвалов В.С. Эффективность использования утилизационных котлов с термосифонной поверхностью нагрева и ударно-акустической очисткой / Самохвалов В.С., Багненко М.Ю. *Вестник Сев ГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология* : сб. науч. тр. Севастополь, 2010. Вып. 106. С. 152–157.

IMPROVEMENT OF PULSE METHODS FOR CLEANING HEATING SURFACES FROM PROCESS FOULING

Samokhvalov V.S., Patsurkovskyi P.A., Shostak V.P., Hodyk K.O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The choice of cleaning agent parameters, such as compressed air or steam, is of great importance for effective removal of deposits, since both cleaning and transport of the removed deposits must be ensured. Besides the shock wave component, the acoustic-resonance and vibration effects play a decisive role compared to the effect of a gas jet flow. The shock-acoustic method of cleaning external heat-exchange surfaces of marine and stationary heat exchangers with small convective volumes was studied on the KUP 150 SI marine waste heat boiler. The method uses pneumatic pulse generators operating on compressed air at a pressure of 0.3–1.0 MPa with different types of profiled nozzles. The analysis of previous experience shows that cleaning efficiency increases with the pulsation amplitude and depends on the chamber volume and pressure of the generator, as well as on the nozzle design.

Keywords: pneumatic pulse generator, shock-acoustic cleaning, waste heat boiler, heating surfaces, deposits, resonance-acoustic effect.

УДК 621.438.032.2:681.518.5

ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОАКТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОВОГО СТАНУ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ТВТ В САУ ГТД ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Савушкін В.В.,
аспірант кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
vvsavushkin.science@gmail.com

Ефективність та надійність суднових газотурбінних енергетичних установок значною мірою визначаються тепловим станом робочих лопаток ТВТ, оскільки саме цей елемент працює в найбільш напружених температурних умовах. Перевищення допустимих температурних режимів прискорює деградацію матеріалу лопаток і може призводити до аварійних ситуацій, тому заміна планового обслуговування за графіком на обслуговування за фактичним технічним станом (Condition-Based Maintenance) розглядається як ключовий напрямок зниження ризику позапланових простоїв та продовження міжремонтних інтервалів двигуна [1].

Разом з тим, більшість опублікованих досліджень з інтелектуального моніторингу ГТД орієнтована на загальнопромислові стаціонарні установки, тоді як питання регресійного оцінювання деградації компонентів саме суднових газотурбінних пропульсивних установок залишається порівняно малодослідженим напрямком [2]. Дослідження підтверджують, що прогнозний підхід дозволяє підвищити операційну ефективність та готовність суднового обладнання [3], проте питання безпосередньої інтеграції результатів прогнозування в контур автоматичного управління двигуном розкрито недостатньо.

В основі системи моніторингу лежить гібридна нейронна мережа, яка на основі показань оптичного пірометра та поточних параметрів роботи ГТД прогнозує температурне поле кожної з 86 робочих лопаток ТВТ у вигляді матриці розміром 86×30 (86 лопаток × 30 точок вимірювання) з похибкою прогнозування менше 5 К. Метою даної роботи є демонстрація практичної реалізації інтеграції цієї мережі в контур автоматичного управління двигуном у вигляді незалежного програмного модуля моніторингу.

Розроблений модуль побудовано за модульною архітектурою, що включає: модуль вводу та нормалізації вхідних даних (параметри ГТД від САУ – температура газу на вході $T_{вх}$, тиск, температура та витрата охолоджуючого повітря $P_{охол}$, $T_{охол}$, $G_{охол}$, перепад тиску $P_{Гвх}/P_{Гвих}$, а також показання оптичного пірометра); модуль нейромережевого аналізу, що виконує прогнозування температурного поля лопаток; модуль візуалізації для оператора; модуль сигналізації проактивного попередження про наближення до критичних режимів; модуль

архівування історії вимірювань у форматі JSON/CSV; та модуль обміну даними з САУ ГТД. Подібний підхід до побудови інтегрованих програмно-апаратних комплексів прогнозування ресурсу компонентів ГТД на основі поєднання фізичних моделей та моделей, побудованих на аналізі експлуатаційних даних, узгоджується з сучасними тенденціями розвитку систем цифрових двійників турбінного обладнання [4].

Ключовим елементом практичної реалізації є саме обмін даними модуля з САУ ГТД, реалізований через підтримку промислових протоколів Modbus TCP та OPC UA. Це дозволяє інтегрувати розроблений модуль в існуючу інфраструктуру суднової енергетичної установки без суттєвих конструктивних змін і забезпечує двосторонній зв'язок: модуль отримує від САУ поточні параметри роботи двигуна, а натомість передає до САУ сигнали про тепловий стан лопаток для можливого автоматичного коригування режимів.

Інтеграція модуля моніторингу в контур управління ГТД може реалізовуватися у трьох режимах. Інформаційний режим передбачає відображення результатів моніторингу оператору, який самостійно приймає рішення щодо коригування режимів роботи. Рекомендаційний режим передбачає формування системою рекомендацій щодо зміни параметрів охолодження або режиму роботи, що враховуються оператором або диспетчером. Автоматичний режим передбачає безпосередній вплив модуля на регулятори ГТД через стандартні промислові інтерфейси без участі людини. В автоматичному режимі можуть реалізовуватися такі алгоритми керування: підтримання максимальної температури лопаток на заданому рівні шляхом зміни витрати охолодження; обмеження потужності при виявленні аномалій для запобігання розвитку критичних станів; оптимізація витрат охолодження за критерієм мінімуму при заданій температурі.

Працездатність модуля та коректність його реакції на нештатні ситуації перевіряються за допомогою окремого вікна тестування, яке дозволяє імітувати аварійні режими ГТД (падіння тиску охолодження, забиті канали охолодження, перегрів) та локальні дефекти окремих лопаток (тріщина, ерозія). У режимі тестування підтверджено, що система реагує на зміну параметрів охолодження протягом 1–2 секунд, що є достатнім для вжиття заходів у реальному часі.

Практичний ефект від інтеграції системи моніторингу в контур САУ ГТД визначається трьома факторами. По-перше, оптимізація витрат охолоджуючого повітря: система дозволяє підтримувати параметри охолодження на мінімально необхідному рівні замість традиційного значного запасу, що традиційно закладається в конструкцію системи охолодження. Проведений аналіз впливу витрати охолоджуючого повітря на температуру лопатки показав, що діапазон 0,003–0,007 г/с забезпечує найкраще співвідношення температурного ефекту та витрати повітря, тоді як після позначки 0,008 г/с приріст охолоджувального ефекту практично зникає – пропускна здатність каналів охолодження вже не дозволяє реалізувати додаткову витрату з відповідною користю. Це узгоджується із загальними тенденціями розвитку систем плівкового охолодження лопаток газових турбін [5]. Це дозволяє очікувати підвищення ККД ГТД на 0,5–1,5 %.

По-друге, збільшення міжремонтного ресурсу робочих лопаток. Уникнення роботи в зонах підвищених температур (понад 1150 K) знижує інтенсивність процесів термічної втоми жароміцних нікелевих сплавів. Відповідно до рівняння Ларсона–Міллера [6], яке описує залежність довговічності матеріалу від температури:

$$P = T(\log\, t + C) = \text{const} \tag{1}$$

де P – параметр Ларсона–Міллера;

T – температура в Кельвінах;

t – час до руйнування в годинах;

C – константа матеріалу (для нікелевих сплавів $C \approx 20$), виходить, що для нікелевих суперсплавів лопаток ГТД різниця робочої температури порядку 20–30 K є визначальною для ресурсу за критерієм тривалої міцності: саме такий температурний запас забезпечує перехід між поколіннями суперсплавів (наприклад, CMSX-10 витримує на ~30 K вищу температуру за той самий ресурс, що й сплави попереднього покоління) [6]. Це узгоджується з експериментальними дослідженнями монокристалічних нікелевих суперсплавів лопаток ГТД, які підтверджують, що параметри системи охолодження (зокрема конструктивні особливості каналів охолодження) безпосередньо визначають ресурс лопатки за критерієм повзучості, забезпечуючи різницю в ресурсі до 15–17 % залежно від конфігурації охолодження [7]. За попередніми оцінками, комплексне застосування розробленої системи моніторингу може збільшити міжремонтний ресурс лопаток на 15–25 %.

По-третє, запобігання аварійним ситуаціям завдяки ранньому виявленню відхилень теплового стану, спричинених частковим перекриттям каналів охолодження чи локальними дефектами лопаток, і своєчасному формуванню попереджувальних сигналів ще до підходу до критичних температурних меж. Такий підхід узгоджується із загальною тенденцією переходу морських пропульсивних установок від реактивного обслуговування до інтерпретованого, орієнтованого на стан моніторингу, здатного одночасно оцінювати деградацію кількох компонентів газотурбінного двигуна [2; 3].

Отже, інтеграція розробленої нейромережевої системи моніторингу теплового стану робочих лопаток ТВТ в контур САУ ГТД дозволяє перейти від пасивного спостереження за тепловим станом двигуна до активного, керованого підтримання оптимальних режимів охолодження. Практична реалізація

такої інтеграції – через підтримку промислових протоколів обміну даними та трирівневу схему автоматизації (інформаційний, рекомендаційний, автоматичний режими) – забезпечує гнучкість впровадження в існуючі САУ суднових ГТД без суттєвої модернізації інфраструктури, а очікуваний ефект у вигляді підвищення ККД, збільшення ресурсу лопаток та запобігання аваріям безпосередньо сприяє підвищенню загальної ефективності суднової енергетичної установки.

Література

[1] Brahimi L., Hadroug N., Iratni A., Hafaifa A., Colak I. Advancing predictive maintenance for gas turbines: An intelligent monitoring approach with ANFIS, LSTM, and reliability analysis. Computers & Industrial Engineering. 2024, vol. 191, art. 110094.

[2] Adiyono S., Hidayat T. Predictive Health Monitoring of a Marine Propulsion Plant Using Multi-Output Random Forest Regression. International Journal of Marine Engineering Innovation and Research. 2026, vol. 11, № 1, 248–258.

[3] Javadnejad F., Park H. J., Kovacic S., Sousa-Poza A. Predictive maintenance in naval vessel propulsion systems for enhanced marine operations using a BiGMM-HMM framework with divergence-based clustering. Discover Oceans. 2025, vol. 2, № 1, art. 33.

[4] Guo Y., Jiang X., Gao Z., Wang Z. A digital twin-oriented data-physics-AI integrated framework for RUL prediction of gas turbine blade. Proceedings of Global Power and Propulsion Society, GPPS Chania24. 2024, paper GPPS-TC-2024-0197.

[5] Шевчук О., Тарасов О. Огляд сучасного стану проблеми плівкового охолодження лопаток газових турбін. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2025, № 1, 29–44.

[6] Wee S., Do J., Kim K., Lee C., Seok C., Choi B.-G., Choi Y., Kim W. Review on Mechanical Thermal Properties of Superalloys and Thermal Barrier Coating Used in Gas Turbines. *Applied Sciences*. 2020, vol. 10, № 16, art. 5476.

[7] Zhao S., Jiang R., Gong H., Zhang L., Lu X., Zha H., Song Y. Effect of film cooling holes on creep properties of a nickel-based single crystal superalloy. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica. 2024. Vol. 45, art. 429737.

INTEGRATION OF A PROACTIVE THERMAL-STATE MONITORING SYSTEM FOR HIGH-PRESSURE TURBINE BLADES INTO THE GAS TURBINE CONTROL SYSTEM AS A MEANS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF A MARINE POWER PLANT

Savushkin V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper addresses the practical implementation of integrating a hybrid neural-network-based system for monitoring the thermal state of high-pressure turbine (HPT) blades into the automatic control system (ACS) of a marine gas turbine engine (GTE). A modular architecture of the monitoring software module is presented, comprising data input and normalization, neural-network analysis, visualization, alarm signaling, archiving, and ACS data-exchange components based on the industrial Modbus TCP and OPC UA protocols. Three modes of integrating the module into the engine control loop are considered – informational, recommendation-based, and automatic – together with automatic control algorithms for managing the thermal regime of the blades. The impact of implementing the system on GTE efficiency is assessed: a 0.5–1.5 % increase in efficiency through optimization of cooling air consumption, a 15–25 % increase in blade overhaul life in accordance with the Larson–Miller equation, and the prevention of failure situations through early detection of anomalous thermal states. Object of study: the processes of integrating intelligent thermal-state monitoring systems into the automatic control loop of a marine power plant's gas turbine engine. Subject of study: the architecture, operating modes, and data-exchange protocols of the software module for monitoring the thermal state of high-pressure turbine blades within the GTE automatic control system. Scientific novelty: a modular software architecture for blade thermal-state monitoring is proposed, supporting industrial data-exchange protocols, which enables integration into existing marine GTE control systems without substantial infrastructure changes; three levels of automation for the interaction between the monitoring system and the engine control loop are defined. Practical significance: the results of the study can be used in the design of automatic control systems for marine gas turbine power plants to improve their efficiency, reliability, and failure-free operation.

Keywords: gas turbine engine, marine power plant, automatic control system, thermal-state monitoring, turbine blades, neural network, Modbus, OPC UA, Larson–Miller equation, efficiency.

УДК 662.756

ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРИГЛІЦЕРИДІВ РОСЛИННИХ ОЛІЙ У МОТОРНІ ПАЛИВА

Швець І.А.,
старший викладач
Первомайський навчально-науковий інститут, Національного університету кораблебудування
ihor.shvets@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто хімічні передумови перетворення тригліцеридів рослинних олій у моторні палива. Проаналізовано вплив молекулярної будови тригліцеридів, зокрема наявності естерних груп, кисню та довголанцюгових жирнокислотних фрагментів, на властивості вихідної сировини. Узагальнено три основні напрями хімічної трансформації: трансестерифікацію, деоксигенацію та термокаталітичне розщеплення.

Ключові слова: рослинна олія, тригліцериди, моторне паливо, трансестерифікація, деоксигенація, термокаталітичне розщеплення, біодизель.

Вступна частина. Зростання потреби в моторних паливах та необхідність поступового заміщення викопних енергоресурсів зумовлюють розвиток технологій використання відновлюваної сировини. Одним із перспективних джерел рідкого біопалива є рослинні олії, основну частину яких становлять тригліцериди. Саме тригліцеридна структура визначає як енергетичний потенціал рослинних олій, так і низку властивостей, що ускладнюють їх безпосереднє використання у дизельних двигунах [1].

Тригліцериди є складними ефірами гліцерину та трьох молекул вищих жирних кислот. Узагальнено їх структуру можна представити формулою

$$C_3H_5(OOCR)_3,$$

де R – вуглеводневий радикал жирної кислоти. Залежно від виду рослинної олії до складу тригліцеридів входять насичені та ненасичені жирні кислоти з переважно довгими вуглецевими ланцюгами. Наявність трьох естерних груп та висока молекулярна маса зумовлюють суттєві відмінності фізико-хімічних властивостей рослинних олій від властивостей дизельного палива [1, 2].

Зокрема, тригліцериди характеризуються більшою в'язкістю та нижчою леткістю, а наявність внутрішньомолекулярного кисню впливає на їхню теплоту згоряння. Ненасичені фрагменти жирних кислот, у свою чергу, визначають схильність олій до окиснення та пов'язаних із ним змін властивостей під час зберігання і нагрівання [2]. Тому для одержання палива, придатного для ефективного використання в двигунах, необхідно цілеспрямовано змінити молекулярну структуру вихідної сировини.

Метою роботи: є узагальнення основних напрямів хімічної трансформації тригліцеридів рослинних олій та встановлення зв'язку між зміною їхньої молекулярної структури і формуванням властивостей отримуваних палив.

Основна частина. З хімічної точки зору перетворення тригліцеридів у моторні палива може здійснюватися за кількома принципово різними механізмами. Їх можна звести до трьох основних напрямів: функціональної трансформації молекули, видалення кисневмісних груп та руйнування або перебудови вуглецевого скелета.

І-й напрям: трансестерифікація тригліцеридів – передбачає зміну функціональної структури молекули без руйнування вуглецевих ланцюгів жирних кислот. У процесі взаємодії тригліцеридів із низькомолекулярним спиртом, найчастіше метанолом або етанолом, утворюються естери жирних кислот та гліцерин:

$$\text{Тригліцерид} + 3ROH \rightarrow 3RCOOR' + \text{гліцерин}.$$

У результаті гліцериновий фрагмент тригліцериду замінюється на коротколанцюгові спиртові групи. Це істотно зменшує молекулярну масу продукту та його в'язкість. Отримувані метилові або етилові естери жирних кислот є основою традиційного біодизельного палива [1, 3].

Принциповою особливістю цього напряму є те, що кисень не видаляється з молекули. Отже, трансестерифікація вирішує передусім проблему високої в'язкості та несприятливої молекулярної структури тригліцеридів, але не перетворює вихідну кисневмісну органічну речовину на вуглеводневий продукт. Саме цим біодизель відрізняється від відновлюваних дизельних палив, отриманих шляхом гідрооброблки [1, 3].

ІІ-й напрям – каталітична деоксигенація та гідрооброблка – передбачає видалення кисню зі складу вихідної органічної речовини з формуванням вуглеводневих продуктів. У процесі гідрооброблки тригліцериди спочатку піддаються гідрогенізації та перетворенню функціональних груп, після чого кисень видаляється переважно через реакції гідродеоксигенації, декарбоксилювання та декарбонілювання [2, 4].

У спрощеному вигляді одну з можливих реакцій деоксигенації карбонової кислоти можна представити як: $RCOOH \rightarrow RH + CO_2$, тоді як у разі декарбонілювання утворюється CO. За наявності водню та відповідних каталізаторів ненасичені зв'язки насичуються, а кисневмісні функціональні групи видаляються. У результаті формуються переважно парафінові вуглеводні, властивості яких значно ближчі до традиційних нафтових дизельних палив [4, 5].

На відміну від трансестерифікації, деоксигенація принципово змінює елементний та функціональний склад палива: кисень, пов'язаний із вихідною тригліцеридною структурою, видаляється, а продукт набуває вуглеводневої природи. Це сприяє підвищенню теплоти згоряння та термічної стабільності продукту. Водночас процес потребує водню, каталізаторів і ретельного контролю умов гідрообробки [4, 5].

ІІІ-й напрям – термокаталітичне розщеплення: полягає у руйнуванні довгих молекулярних структур під дією температури та каталізаторів. У цьому випадку основним об'єктом хімічної трансформації є вуглецевий скелет молекули. Розрив зв'язків С–С та супутні реакції деоксигенації приводять до утворення суміші вуглеводневих і кисневмісних сполук різної молекулярної маси [6].

Залежно від температури, типу каталізатора та умов процесу можуть формуватися газоподібні, бензинові, керосинові та дизельні фракції. Одночасно з бажаним утворенням вуглеводнів можливі побічні процеси утворення коксу та газових продуктів, що обмежує вихід цільової рідкої фракції та потребує оптимізації технологічних параметрів [6].

Таким чином, три основні напрями перетворення тригліцеридів відрізняються не лише технологічними умовами, а насамперед характером структурних змін молекули.

Наведене узагальнення показує, що технологію переробки рослинної олії доцільно розглядати не лише як сукупність технологічних операцій, а як цілеспрямоване керування молекулярною структурою вихідної сировини. Якщо основною проблемою є висока в'язкість тригліцеридів, достатнім структурним перетворенням може бути трансестерифікація. Якщо необхідно отримати паливо вуглеводневої природи, принциповим завданням стає видалення кисню. У разі необхідності зміни молекулярно-масового та фракційного складу може застосовуватися термокаталітичне розщеплення.

При цьому склад жирних кислот вихідної олії безпосередньо впливає на перебіг і результат перетворення. Довжина вуглецевого ланцюга, ступінь його ненасиченості та співвідношення окремих жирних кислот визначають реакційну здатність сировини, склад продуктів та їхні експлуатаційні властивості [2, 6]. Отже, хімічна характеристика конкретної рослинної олії має враховуватися вже на етапі вибору технологічного маршруту її переробки.

Висновки

1) Основу рослинних олій становлять тригліцериди, молекулярна структура яких визначає як енергетичний потенціал сировини, так і її відмінність від нафтового дизельного палива.

2) Основні обмеження тригліцеридної сировини пов'язані з високою молекулярною масою, наявністю естерних та кисневмісних груп, а також особливостями довгих і ненасичених вуглецевих ланцюгів.

3) Хімічна трансформація тригліцеридів реалізується за трьома принциповими напрямами: трансестерифікацією, деоксигенацією та термокаталітичним розщепленням. Вони відповідають різним способам зміни молекулярної структури вихідної сировини.

4) Вибір технології перетворення рослинної олії має визначатися необхідним комплексом властивостей кінцевого палива: зниженням в'язкості, видаленням кисню, зміною молекулярно-масового та фракційного складу. Такий підхід дозволяє пов'язати хімічну будову вихідної сировини з технологією отримання моторного палива та його подальшими характеристиками.

Література

[1] Nisar J., Raza A., Ahmad M. et al. State-of-the-art technologies for biofuel production from triglycerides: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. Vol. 156. 111957.

[2] Alkhoori S., Khaleel M., Vega L. F., Polychronopoulou K. Deoxygenation of vegetable oils and fatty acids: How can we steer the reaction selectivity towards diesel range hydrocarbons? Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2023. Vol. 127. P. 36–61.

[3] Ahmad M., Khan M. A., Zafar M., Sultana S. Biodiesel from non edible plant oils. In: Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes. 2022.

[4] Kwon E. E., Kim S. et al. Kinetic insights into deoxygenation of vegetable oils to produce second-generation biodiesel. Fuel. 2023. Vol. 333. 126416.

[5] Verma D., Kumar S., Sharma A. K. et al. Hydrodeoxygenation of vegetable oils to produce renewable diesel: A review. Fuel. 2022.

[6] Taufiqurrahmi N., Bhatia S. State of the art of vegetable oil transformation into biofuels using catalytic cracking technology: Recent trends and future perspectives. Process Biochemistry. 2021. Vol. 110. P. 1–21.

CHEMICAL FUNDAMENTALS OF THE TRANSFORMATION OF VEGETABLE OIL TRIGLYCERIDES INTO MOTOR FUELS

Shvets I.A.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The chemical fundamentals of the conversion of vegetable oil triglycerides into motor fuels are considered. The influence of triglyceride molecular structure, including ester groups, oxygen and long-chain fatty acid fragments, on the properties of the feedstock is analyzed. Three main transformation pathways are summarized: transesterification, deoxygenation and thermocatalytic cracking.

Keywords: vegetable oil, triglycerides, motor fuel, transesterification, deoxygenation, thermocatalytic cracking, biodiesel.

UDC 629.5:621.352

COMPARISON OF FUEL SUPPLY SYSTEMS FOR AN LH_2 CARRIER WITH PEMFC AND HYDROGEN DUAL-FUEL ENGINES

Halai A.,
Master's student. Department of Operation
of Ship Power Plants and Thermal Power Engineering,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
galayannalee@gmail.com

Abstract. Liquefied hydrogen (LH_2) carriers generate boil-off gas (BOG) due to unavoidable heat ingress, which can be utilised as fuel for an onboard hybrid ship power plant (HSPP). At present, two main hydrogen-based power-generation technologies are being introduced into commercial marine applications: dual-fuel internal combustion engines and proton-exchange membrane fuel cells (PEMFCs).

This paper compares the fuel-supply systems required for these two technologies. For dual-fuel engines (DF ICE), the marine hydrogen fuel system (MHFS) developed by Kawasaki Heavy Industries for the J-ENG 6UEC35LSGH, Kawasaki 8L30KG-HDF, and Yanmar 6EY22ALDF-H engines demonstrates that vaporisation, heating, and staged pressure regulation can condition BOG for combustion. PEMFCs require additional deep purification to meet stringent hydrogen-purity requirements; however, their low-grade waste heat offers opportunities for energy recovery through ORC–DEC or thermoacoustic systems integrated with LH_2 regasification.

The study proposes a HSPP configuration combining dual-fuel engines for base-load generation with PEMFC + ESS + EMS for peak shaving and redundancy, with an emphasis on efficiency, reliability, and service life.

Keywords: hybrid ship power plant, PEMFC, auxiliary ship power plant systems, BOG.

Objective of the study. Dual-fuel hydrogen engines are particularly well suited for vessels where technical or economic constraints limit the transition to battery-electric propulsion or proton-exchange membrane fuel cells. For a hydrogen DF ICE, LH_2 is supplied from the cargo or fuel tank and vaporised if it remains in the liquid phase. The resulting gaseous hydrogen, including BOG, is then heated to the required admission temperature and pressure-regulated through the gas valve train before being introduced into the combustion process.

The same general principle is applied at a larger scale in the J-ENG 6UEC35LSGH (5,610 kW), Kawasaki 8L30KG-HDF (2,600 kW), and Yanmar 6EY22ALDF-H (800 kW): BOG is withdrawn from the cargo system, conditioned to the [7].

PEMFC: A PEMFC generates electricity through an electrochemical reaction rather than combustion. Hydrogen is oxidised at the anode, while oxygen is reduced at the cathode, producing DC power, water, and low-grade waste heat. Operating at approximately 60–80°C, low-temperature PEMFCs (LT-PEMFCs) offer high efficiency, low noise, and zero local emissions. However, their performance and service life depend strongly on hydrogen purity, load cycling, and water management [5].

Marine PEMFC technology is rapidly progressing towards commercial application. Fincantieri's hydrogen-fuelled "Viking Libra" Fig. 2, currently under construction, will be equipped with a 6 MW LT-PEMFC system supplied by Isotta Fraschini Motori, with delivery planned for late 2026 [2].

PowerCell Group has secured one of the largest marine fuel-cell orders to date, comprising 56 Marine System 225 units with a total output of more than 6.3 MW for a major European cruise-ship OEM, alongside two

additional 3.2 MW marine power solutions [3]. Samskip's SeaShuttle short-sea container vessels Fig. 3, scheduled for delivery in 2027, will each be equipped with a 3.2 MW PEMFC system [4].

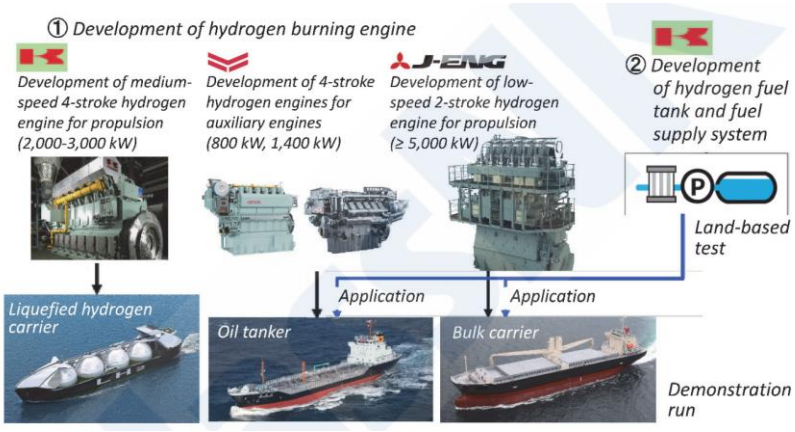


Figure 1 – Hydrogen-fuelled ICE



Figure 2 – Viking Libra



Figure 3 – Samskip's SeaShuttle container vessels

LH_2-fuelled PEMFC systems require regasification followed by hydrogen conditioning to achieve the required pressure, temperature, and purity [6].

Hybrid ship power plants design concept. The proposed HSPP configuration, PEMFC + battery ESS + electric propulsion + EMS, is designed to improve service life and reliability Fig. 4.

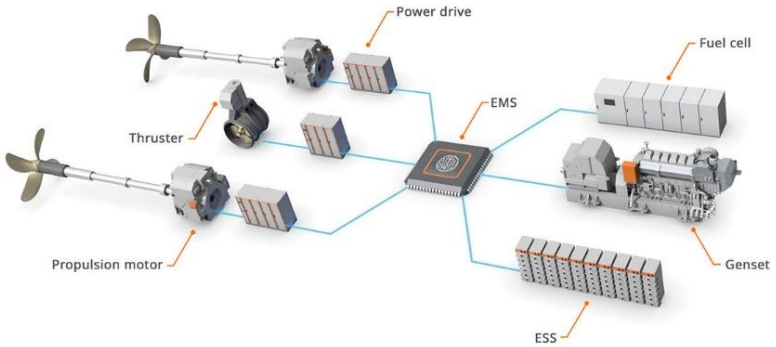


Figure 4 – Hybrid ship power plants design

The ESS absorbs peak and rapidly changing loads, allowing the PEMFCs to operate within a stable load range.

Conclusions. The comparison shows that hydrogen dual-fuel engines and PEMFCs share the same initial stage of fuel preparation – LH_2 vaporisation but differ significantly in the subsequent hydrogen-conditioning requirements. Dual-fuel ICEs require a simpler and more mature fuel-supply system, whereas PEMFCs offer higher electrical efficiency and quieter operation.

In HSPPs where PEMFC-based electrochemical generators are used as the main source of electrical power, the PEMFC system becomes a system-defining element of the ship power plant. This requires new technical, architectural, and system-layout solutions to be incorporated already at the design stage.

A hybrid configuration combining LT-PEMFCs with ESS and EMS, supplemented by a reserve dual-fuel ICE generator, makes it possible to integrate the advantages of both technologies while improving the flexibility, reliability, and efficiency of the ship power plant.

References

[1] International Maritime Organization. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. Resolution MEPC.377 (80), adopted 7 July 2023. (International Maritime Organization).

[2] Fincantieri. Fincantieri and Viking announce the world's first hydrogen-powered cruise ship and sign contracts for two new units. 08.04.2025. (fincantieri.com).

[3] PowerCell Group. World's Largest Marine Fuel Cell Systems. Marine customer case. 2023. (Powercellgroup)/

[4] Samskip. Samskip 2024 Sustainability Report. 2025. P. 57. У звіті наведено SeaShuttle та 3.2 MW hydrogen fuel cell для кожного судна. (Samskip).

[5] Berning T., Korobko V., Tanaka S. A Computational Fluid Dynamics Analysis of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell with a Perforated Metal Gas Diffusion Layer. SSRN Electronic Journal. 2026. 33 p. DOI: 10.2139/ssrn.7201556. (SSRN).

[6] Korobko V., Shevtsov A. Utilising thermoacoustic technologies in marine hybrid power plants with fuel cells. Aerospace Technic and Technology. 2023. No. 4. P. 85–91. DOI: 10.32620/aktt.2023.4.11. (nti.khai.edu).

[7] Takasaki K. Trends in Development of Marine Dual Fuel Engines to Reduce GHG Emissions. ClassNK Technical Journal No. 10, 2024 (II), P. 33–41. (ClassNK).

UDC 539.3

CONTACT STRESSES IN THE GAS TURBINE ROTOR BLADES AND DISKS CONNECTION AREA

Smetankina N.,
Dr. Sc., Professor, Department of Vibration and Thermostability Studies, Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine,
n.smetankina@ukr.net
Morhun S.,
PhD (Tech), Associate Professor, Department of Engineering Mechanics and Technology of Machinebuilding, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
serhii.morhun@nuos.edu.ua
Melnychenko O.,
Postgraduate, Department of Engineering Mechanics and Technology of Machinebuilding, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
moymilo@gmail.com

Abstract. The paper outlines a problem of the gas turbine rotor disks contact stresses problem, caused by the processes of heat exchange between the gas flow and the rotor surface. Refined mathematical model has been built by means of the curvilinear finite elements. The obtained results could be used in further studies of the turbine rotor reliability and durability.

Keywords: contact stresses, thermal state, blades and disks, contact area.

The problem of the modern gas turbine impellers contact problem has been studied. When designing the gas turbine rotors, the contact between the impeller parts is consisted absolutely hard with the hard clamping boundary conditions in the contact zones. It is caused by the influence of contact pressure, formed during the process of impeller mounting. But due to the influence of the gas flow, that causes forced vibration of the blades and intensive heat exchange between the blades and disk, the contact pressure decreases and as the result decreases the whole impeller stiffness. The structural damping is also present in the contact zones. Thus to find out the influence of these factors on the contact pressure value the refined mathematical model, based on the usage of specially developed contact finite elements was developed. All calculations have been done in the ANSYS finite elements program using the Lagrange variational principle and Kholetski numerical algorithm [1].

The influence of contact pressure on the value of contact heat transfer in the impeller contact zone has also been studied. It was determined that the contact heat transfer of the joint increases with increasing of contact pressure both in the contact zone of the blades with the disk and in the contact zone of the of the adjacent blades bandages. Taking into account the presence of structural damping in the blades bandages and the insignificant roughness of the contacting surfaces in accordance with the technological documentation of the blades mechanical processing, the dependence of the

contact pressure on the frequency of the most loaded first impeller forced vibration was determined. The influence of the bandages geometric parameters on the value of the contact pressure was established.

Solving the contact problem of deformable solid body mechanics for turbine rotor impellers, we will use the principle of stationarity or minimum change in virtual work. That is, the sum of the potential energy of deformation of the contact zone and the work of external forces in the contact zone is equal to zero. According to Lagrange's variational principle [2]:

$$\delta L = 0 \; L = \Pi^{ct} + W^{ct} \tag{1}$$

where L – Lagrange's function; Π^{ct} – potential energy of the contact zone deformation; W^{ct} – external forces work in the contact zone.

Using the energy balance method, we replace dependence (1) with the following variational equation:

$$\delta L = \delta(\Pi^{ct} - W^{ct}) = 0 \tag{2}$$

The contact zone energy functional minimization L (2) on the generalized displacement δ is carried out as follows [15, 16]:

$$\frac{\partial L}{\partial \{\delta\}} = 0 \tag{3}$$

where {δ} is the generalized displacement vector.

To determine the field of contact stresses the generalized Hooke's law should be used:

$$\{\sigma_{e2}\} = [D](\{\varepsilon_{e2}\} - \{\varepsilon_{Te2}\}) \tag{4}$$

$$(e_2 = 1, \ldots, j_2)$$

where $\{\sigma_{e2}\}$ – is the contact stresses vector; $\{\varepsilon_{e2}\}$ – is the contact element elastic strain vector; $[D]$ – the elasticity matrix.

References

[1] Smetankina, N., Morhun, S. Determination of the modern marine single shaft gas turbine rotor blades fatigue strength parameters. *International Journal of Turbo and Jet Engines*, 42 (2): 271–276 (2025). https://doi.org/10.1515/tjj-2024-0057

[2] S.Wang, L. Shouzuo, L. Lei, Zh. Zhao, D. Wei, S. Bengt. A high temperature turbine blade heat transfer multilevel design platform. Numerical Heat Transfer, Part A: *Applications* 79 (2), 122−145 (2021). https://doi.org/10.1080/10407782.2020.1835104

УДК 621.431.74:621.791.037:621.762

ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЇ DIRECTED ENERGY DEPOSITION ДЛЯ РЕМОНТУ СУДНОВИХ ДВЗ

Авдюнін Р.Ю.,
викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики,
roman.avdiunin@nuos.edu.ua
Бойцов О.О.,
здобувач вищої освіти кафедри суднового машинобудування та енергетики
oleksandr8385@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація: Здійснено аналіз технології спрямованого енергетичного осадження (DED) у контексті відновлення та зміцнення критичних вузлів суднових двигунів внутрішнього згоряння, таких як колінчасті вали, поршні, випускні клапани та втулки циліндрів. Розглянуто історичну еволюцію технології від традиційного дугового наплавлення до сучасних прецизійних адитивних систем. Проаналізовано фундаментальні фізико-металургійні механізми, що супроводжують процес DED, а також можливості застосування технології ОІМП-101. Доведено, що DED мінімізує зону термічного впливу, забезпечує високу втомну міцність та створює фундаментальні передумови для становлення безальтернативних галузевих стандартів у сфері експлуатаційної надійності суднових енергетичних установок.

Ключові слова: DED, LP-DED, ОІМП-101, in-situ machining, Stellite 21

Історично ремонт таких компонентів, як шийки колінчастих валів або посадочні фаски випускних клапанів, здійснювався за допомогою дугового зварювання (TIG, PTA), газотермічного напилення (HVOF) або гальванічного хромування [1].

Незважаючи на широку розповсюдженість, традиційні методи мали суттєві фізичні обмеження. Дугове зварювання характеризується значним розсіюванням теплової енергії, що призводить до формування широкої зони термічного впливу (Heat-Affected Zone – HAZ), високого рівня залишкових термічних напружень та, як наслідок, просторової деформації прецизійних поверхонь. Гальванічне хромування, хоч і забезпечувало високу твердість, утворювало покриття з низькою адгезійною міцністю, що часто відшаровувалося під час роботи, а також супроводжувалося виділенням високотоксичних сполук шестивалентного хрому [1].

Паралельно розвивалися технології лазерного наплавлення, які згодом трансформувалися в ширший клас адитивних процесів – Directed Energy Deposition (DED).

Запровадження технології DED, яка використовує сфокусований лазерний або електронний промінь для розплавлення матеріалу, що подається безпосередньо у ванну розплаву (у вигляді порошку або дроту), стало технологічним проривом [2]. Оцінка життєвого циклу підтверджує, що ремонт суднових гвинтів та валів методом DED дозволяє знизити викиди парникових газів на 62 % порівняно із заміною на нові деталі, відлиті у піщані форми.

Основою технології DED є локалізована взаємодія високоенергетичного джерела з поверхнею металу. Найбільш поширеним у судноремонті є лазерний порошковий DED (LP-DED або Laser Metal Deposition). У цьому процесі лазерний промінь генерує на поверхні зношеної деталі мікроскопічну ванну розплаву, куди через коаксіальне або латеральне сопло впорскується металевий порошок разом із транспортуючим інертним газом (аргоном або гелієм).

Процес DED відрізняється екстремальними термодинамічними показниками. Швидкість охолодження у ванні розплаву може досягати значень від 10^3 до 10^8 °C/c [3]. Такий температурний градієнт спричиняє потужні конвективні потоки всередині розплаву.

Однією з передових розробок у сфері DED є застосування магнітного поля під час лазерного осадження. Завдяки цьому пригнічується надмірна конвекція, що робить геометрію ванни розплаву більш плоскою, зменшує кількість пор і мікротріщин – критично важливе досягнення під час ремонту чавунних втулок циліндрів [4].

Механізм впливу ОІМП на відновлену зону виробу. Під дією потужних імпульсів (наприклад, з використанням установок типу ОІМП-101) відбувається різке зміщення доменних стінок [5]. Це генерує мікроскопічні пружно-пластичні деформації в кристалічній решітці як основного металу, так і наплавленого шару.

Електромагнітна енергія, перетворена на внутрішнє тертя, знижує бар'єр активації руху дислокацій (магнітопластичний ефект). У зонах із найвищим рівнем залишкових напружень – на межі сплавлення та в зоні термічного впливу – дислокації починають активніше рухатися [6]. Небезпечні залишкові макронапруження розтягу, залишені надшвидким кристалізуванням при DED, релаксують або частково трансформуються у сприятливі стискаючі напруження. Це прямо підвищує межу втомної витривалості мотильових та рамових шийок при циклічних згинальних та крутних навантаженнях.

Імпульсне магнітне поле (ІМП) активно досліджується та застосовується у процесах лазерного адитивного виробництва (включно з DED і лазерним наплавленням), і в багатьох випадках воно демонструє вищу ефективність порівняно зі статичним (постійним) магнітним полем.

Покращення механічних властивостей. Порівняльні дослідження наплавлення (наприклад, покриттів на основі нікелю) з використанням постійних, змінних та імпульсних полів показали, що саме ІМП найкраще зменшує площу нерівноважних евтектичних фаз і підвищує загальні механічні характеристики готової деталі.

Отже, імпульсне магнітне поле застосовується тоді, коли головною метою є не просто стабілізація процесу, а цілеспрямована зміна мікроструктури металу (зменшення розміру зерен і зниження термічних напружень) для досягнення максимальної міцності відновленого вузла (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння методів релаксації напружень після DED

Характеристика	ОІМП	Термічна обробка
Ризик геометричних деформацій	Відсутній (процес відбувається при кімнатній температурі)	Високий (через нагрів масивної деталі з асиметричною формою)
Вплив на мікроструктуру DED	Збереження вихідної дрібнозернистої структури наплавлення	Можливе зростання зерна та зниження міцності шару
Зміна мікротвердості	Локальне підвищення за рахунок субструктурного зміцнення	Зниження мікротвердості поверхні через відпуск металу
Енергоємність та час впливу	Низька (швидкоплинний локальний вплив імпульсами)	Висока (тривалий нагрів та повільне охолодження у печі)

Окрім стабілізації механічних властивостей, ОІМП готує відновлену шийку вала до неруйнівного контролю. Потужні магнітні імпульси впорядковують доменну структуру матеріалу, що значно підвищує роздільну здатність подальшої магнітоскопії під час діагностування підповерхневих мікротріщин, пор чи непроварів, які могли виникнути під час DED-процесу.

Ремонт колінчастих валів. Шийки колінчастих валів (мотилевих і рамових) піддаються інтенсивним крутильним коливанням і тертю. Порушення мастильного клина призводить до задирів, овальності та мікротріщин. Традиційні підходи передбачали шліфування під ремонтний розмір або нанесення хрому/металізації [7, 8].

Сьогодні процес відновлення колінчастого вала (наприклад, зі сталі 42CrMo4 або 316L) за допомогою LP-DED розпочинається з неруйнівного контролю (NDT) та 3D-сканування дефекту. Зношена ділянка розточується у формі V-подібної канавки для доступу лазерного сопла. Далі лазер пошарово заповнює об’єм втраченого матеріалу [9]. Здатність DED контролювати теплову історію дозволяє уникати акумуляції тепла, що гарантує відсутність залишкового викривлення геометрії масивного вала [10]. Після нанесення покриття деталь проходить фінішне полірування. Дослідження доводять, що втомна витривалість таких валів відновлюється на 100 %, а в деяких випадках навіть перевищує показники оригінальної деталі завдяки наявності стискаючих залишкових напружень на поверхні [9].

Розробляються мобільні роботизовані комплекси DED, які дозволяють виконувати лазерне відновлення шийок *in-situ* (прямо всередині картера, без демонтажу вала), що є колосальним економічним проривом [11].

Відновлення поршнів. В чотиритактних двигунах поршні зазнають термічної втоми та абразивного зносу канавок поршневих кілець. Заміна гальванічного хромування на DED дозволяє наносити Stellite 21 безпосередньо у розширені після фрезерування канавки. Відновлені таким чином поршні демонструють робочий ресурс понад 17 000 годин без жодних ознак руйнування зв’язку між основою та покриттям. Окрім сталевих деталей, DED використовується для реновації алюмінієвих спідниць поршнів із жорстким температурним моніторингом, щоб уникнути наскрізного розплавлення алюмінію.

Відновлення випускних клапанів. Температури понад 550 °C у поєднанні з агресивними компонентами випускних газів вимагають нанесення спеціальних покриттів на посадочні фаски. Оптимізація лазерного сканування під час кругового наплавлення клапанів дозволяє усунути пористість на стику початку та кінця траєкторії, що є хронічною проблемою традиційного TIG-зварювання [11]. Завдяки DED зношені клапани з дешевої сталі AISI 30 модернізуються високотехнологічним покриттям Stellite 6, що подовжує їхній життєвий цикл у кілька разів [12].

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз DED та традиційних технологій ремонту суднових енергетичних установок

Критерій оцінки	**Laser DED**	**TIG / PTA**	**HVOF**	**Гальванічне хромування**
Енергія тепловкладення	Локалізована і прецизійно контрольована	Надмірно висока, розсіяна	Мінімальна (відсутнє плавлення основи)	Відсутня (електрохімічний процес)
Характер зчеплення	Металургійний (атомарний зв’язок)	Металургійний	Адгезійний (механічне зачеплення)	Адгезійний
Ризик відшарування	Наближений до нуля	Наближений до нуля	Середній (при термошоку)	Високий (типова проблема зносу)
Зона термічного впливу	Мікрометрова (~20 мкм)	Макроскопічна (мм)	Практично відсутня	Відсутня
Мікроструктура покриття	Щільна, дрібнозерниста, без пор	Грубозерниста, можливі шлакові включення	Присутня внутрішня мікропористість	Наявні сітки мікротріщин
Екологічна безпечність	Висока	Середня	Помірна	Низька (наявність іонів Cr6+)
Схильність до деформації	Відсутня або мінімальна	Дуже висока (потребує подальшого відпалу)	Відсутня	Відсутня

Аналіз даних (див. табл. 2) підтверджує, що DED поєднує в собі найкращі риси традиційних методів: він гарантує надійний металургійний зв'язок (як при дуговому зварюванні), але усуває його головний недолік – ризик термічної деформації, наближаючись за делікатністю впливу до HVOF.

Класифікаційні товариства на кшталт DNV, ABS та Lloyd's Register запровадили жорсткі стандарти для кваліфікації послуг адитивного виробництва. Зокрема, документи серії DNV-ST-N001 та DNV-CP-0640 регламентують процедури верифікації матеріалів, акредитації лабораторій та проведення обов'язкового NDT після ремонту. Інженери, що виконують лазерне наплавлення колінчастих валів або інших критичних деталей, зобов'язані діяти в межах схвалених класифікаційним товариством процедур (WPS – Welding Procedure Specifications), адаптованих під специфіку лазерних технологій.

Висновки. Синтез наявних наукових і технологічних даних дозволяє зробити висновок, що технологія Directed Energy Deposition (DED) є переходом до нової ери в обслуговуванні та відновленні суднових енергетичних установок. Еволюціонувавши від експериментальних методів лазерного наплавлення, сучасний DED трансформувався у високоточний інструмент адитивного виробництва, здатний вирішувати комплексні інженерні задачі, недоступні для традиційного зварювання.

Ключовим досягненням технології є здатність формувати бездоганний металургійний зв'язок між субстратом і високолегованими покриттями (суперсплавами Inconel, Stellite, композитами з карбідним зміцненням) з мінімальним тепловкладенням. Це критично важливо для таких прецизійних та високовартісних вузлів, як колінчасті вали, де найменша деформація призводить до катастрофічних наслідків. Можливість контролювати мікроструктуру на рівні кристалізації (зокрема, завдяки електромагнітному асистуванню) відкриває шлях до успішного ремонту навіть таких складних у зварюванні матеріалів, як високоміцний і сірий чавун.

З точки зору сталого розвитку, перехід флоту на застосування DED є безпрецедентним кроком до досягнення вуглецевої нейтральності. Замість масштабного переплавлення металу та виготовлення нових запчастин індустрія отримує інструмент для «вічного» відновлення зношених поверхонь за менших витрат енергії та з мінімізацією викидів парникових газів. Разом із розробкою чітких нормативних протоколів морськими класифікаційними товариствами, такими як DNV, технологія *DED in-situ* поступово стає не просто альтернативним варіантом, а безальтернативним галузевим стандартом у сфері експлуатаційної надійності суднових енергетичних установок.

Література

[1] Saboori, A., Aversa, A., Marchese, G., Biamino, S., Lombardi, M., & Fino, P. (2019). Application of Directed Energy Deposition-Based Additive Manufacturing in Repair. *Applied Sciences, 9* (16), 3316. https://doi.org/10.3390/app9163316

[2] Piscopo, G., Atzeni, E., Saboori, A., & Salmi, A. (2023). An Overview of the Process Mechanisms in the Laser Powder Directed Energy Deposition. *Applied Sciences*, 13 (1), 117. https://doi.org/10.3390/app13010117

[3] Tang, H., Ma, Z., Ge, H., Hua, W., & Dong, P. (2026). Application of Additive Manufacturing Technology in Marine Equipment: A Review. *Metals, 16* (6), 596. https://doi.org/10.3390/met16060596

[4] Wang, X., Zhu, J., Tian, Y., Jiang, J., & Guan, T. (2024). Macroscopic Characteristic and Properties of Inconel 625 Cladding Layers on a Cylinder Liner Based on Laser Cladding Assisted by a Steady-State Magnetic Field. *Coatings*, *14* (4), 438. https://doi.org/10.3390/coatings14040438

[5] Андрєєва, Н. Б., Семенов, С. М., & Пендак, В. В. (2022). Дослідження впливу обробки імпульсним магнітним полем на характеристики матеріалів суднового машинобудування of Ukraine. Science, innovations and education: problems and prospects. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference (pp. 202–204). CPN Publishing Group. https://sci-conf.com.ua/vii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-science-innovations-and-education-problems-and-prospects-9-11-fevralya-2022-goda-tokio-yaponiya-arhiv/

[6] Уваров, В. А., Авдюнін, Р. Ю., & Мисько, В. О. (2020). Металографічні дослідження сталі ШХ15 після комбінованої магнітно-імпульсної та лазерної обробки. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Миколаїв, 24–25 вересня 2020 р. (Ч. 1, с. 429–434). НУК.

[7] Dass, A., & Moridi, A. (2019). State of the Art in Directed Energy Deposition: From Additive Manufacturing to Materials Design. *Coatings*, *9* (7), 418. https://doi.org/10.3390/coatings9070418

[8] Avdiunin, R. Yu., & Zahrai, Ye. V. (2025). The application of pulsed magnetic fields in crankshaft repair technology. *Суднова енергетика: стан та проблеми* : XII Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали (с. 244–248). Вид. Ємельянова Т. В.

[9] He, G., Wang, X., Dai, Y., Zhu, Z., Li, X., Jiang, D., Tan, H., Zhu, H., & Li, Z. (2026). Surface Modification of Equipment Under Extreme Conditions by Laser-Induced Thermal and Mechanical Effects. *Lubricants*, *14* (4), 152. https://doi.org/10.3390/lubricants14040152

[10] Koehler, Henry & Partes, Knut & Seefeld, T. & Vollertsen, F. (2010). Laser reconditioning of crankshafts: From lab to application. *Physics Procedia*. 5. 387–397. https://www.researchgate.net/publication/243652468_Laser_reconditioning_of_crankshafts_From_lab_to_application

[11] Casas, Adrián & Torims, Toms & Gutierrez, Santiago. (2019). Additive Manufacturing as a Technique for In Situ Repair and Renovation of Marine Crankshaft Journals. *Key Engineering Materials*. 799. 263–269. https://www.researchgate.net/publication/332677998_Additive_Manufacturing_as_a_Technique_for_In_Situ_Repair_and_Renovation_of_Marine_Crankshaft_Journals

[12] 2Cadenas, Modesto & Cuetos, J. & Fernandez, JE & Fernandez, MR & Vega, LM & de Damborenea, Juan. (2002). Laser cladding of Stellite 6 on stainless steel diesel engine exhaust valves. Revista de Metalurgia. 38. 457–463. https://www.researchgate.net/publication/297888978_Laser_cladding_of_Stellite_6_on_stainless_steel_diesel_ engine_exhaust_valves

PROSPECTS OF DIRECTED ENERGY DEPOSITION TECHNOLOGY FOR REPAIR OF MARINE ICES

Avdiunin R., Boitsov O.,
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This study analyzes Directed Energy Deposition (DED) technology for restoring and strengthening critical components of marine internal combustion engines, including crankshafts, pistons, exhaust valves, and cylinder liners. The historical evolution of the technology is examined, tracing its transition from conventional arc cladding to advanced precision additive systems. The fundamental physical and metallurgical mechanisms governing the DED process are analyzed, alongside the feasibility of applying the OIMP-101 technology. The findings demonstrate that DED minimizes the heat-affected zone (HAZ) and ensures high fatigue strength, thereby establishing the fundamental prerequisites for it to become an indispensable industry standard for the operational reliability of marine power plants.

Keywords: DED, LP-DED, OIMP-101, in-situ machining, Stellite 21

УДК 629.5.03:621.436:66.045

ВПЛИВ ГЛИБОКОГО ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ НА ПОКАЗНИКИ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ

Андрєєв А.А.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри теплотехніки
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,
artem.andreev@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі здійснено комплексне дослідження впливу технології глибокого охолодження наддувного повітря (ОНП) на ефективні, економічні та екологічні показники суднових двотактних малообертових дизелів (МОД). Проаналізовано термодинамічні переваги зниження температури продувного заряду з традиційних 40 °С до 20 °С, що забезпечує зростання його густини, оптимізацію робочого циклу та зниження питомої витрати палива (SFOC). Доведено ефективність глибокого охолодження як безреагентного методу зниження емісії термічних оксидів азоту (NOx) відповідно до норм IMO Tier II/III. Водночас детально досліджено експлуатаційні ризики: досягнення точки роси, інтенсивне випадання конденсату та небезпека розвитку низькотемпературної (холодної) корозії втулок робочих циліндрів. Запропоновано шляхи оптимізації шляхом застосування абсорбційних холодильних машин (АХМ) та високоефективних водовловлювачів.

Ключові слова: малообертовий дизель, наддувне повітря, глибоке охолодження, паливна економічність, оксиди азоту, точка роси, холодна корозія, абсорбційна холодильна машина.

Вступ. Підвищення енергоефективності суднових енергетичних установок та жорсткі екологічні вимоги Міжнародної морської організації (IMO) стимулюють пошук нових методів оптимізації робочого циклу дизелів. Одним із найважливіших параметрів, що визначають досконалість газообміну та процесу згоряння, є температура наддувного повітря у наддувному ресивері.

Традиційні суднові системи охолоджують повітря після турбокомпресора за допомогою забортної води. У тропічних широтах, де температура морської води сягає 30–32 °C. Концепція «глибокого охолодження» передбачає використання додаткових холодильних машин для штучного зниження температури заряду до 20–25 °C, незалежно від кліматичних умов.

1. Термодинамічний вплив на робочий цикл та паливну економічність

Зниження температури наддувного повітря за незмінного тиску безпосередньо впливає на його густину згідно з рівнянням стану ідеального газу. Збільшення густини дозволяє подати в циліндр більшу масу кисню за той самий проміжок часу газообміну. Це призводить до підвищення коефіцієнта надлишку повітря α, що забезпечує більш повне й швидке згоряння палива.

Крім того, зниження початкової температури стиснення зменшує роботу стиснення компресійного ходу поршня та знижує середні температури циклу, зменшуючи тепловтрати у стінки камери згоряння. Дослідження показують, що зниження температури наддувного повітря на кожні 10 °C забезпечує зниження питомої ефективної витрати палива (SFOC) на 1,5–2,0 г/(кВт·год) [1].

2. Екологічний ефект: Зниження емісії NOx

Головним джерелом утворення оксидів азоту (NOx) у циліндрі МОД є реакція окислення атмосферного азоту за термічним механізмом Зельдовича. Швидкість цієї реакції експоненційно залежить від максимальної локальної температури згоряння.

Глибоке охолодження зміщує температурний профіль всього циклу вниз. За рахунок зниження максимальної температури циклу, екіпаж отримує дієвий інструмент контролю викидів. Зниження температури заряду з 40 °C до 20 °C забезпечує скорочення термічних NOx на 15 % [2–4].

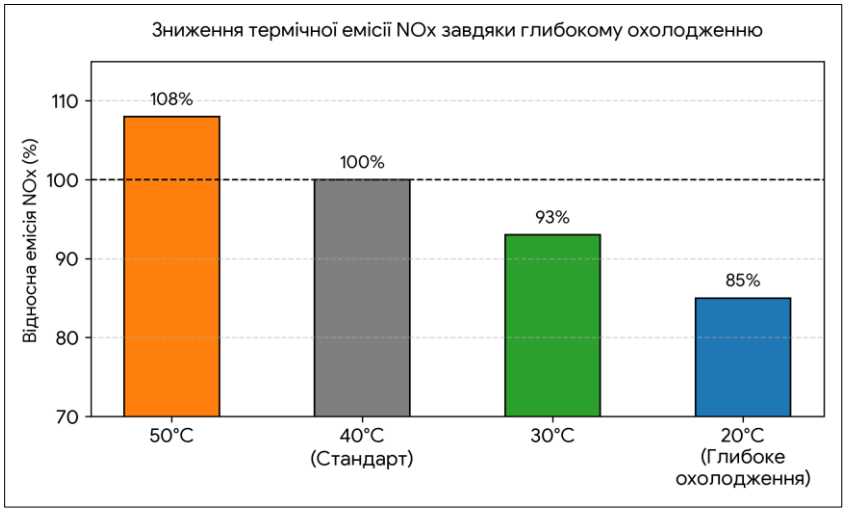


Рисунок 1 – Відносне зниження емісії NOx при глибокому охолодженні

3. Експлуатаційні ризики: Конденсація та холодна корозія

Одним з найбільших бар'єрів для впровадження глибокого охолодження є проблема атмосферної вологи. При охолодженні стисненого повітря його температура швидко досягає точки роси.

При досягненні точки роси починається інтенсивна конденсація. Якщо крапельна волога потрапить до циліндра, вона змиє масляну плівку. Більше того, наявність сірки в паливі призводить до утворення SO_3, який, сполучаючись із водою, утворює сірчану кислоту.

Глибоке охолодження знижує температуру стінок втулки нижче точки роси кислоти, що спричиняє інтенсивний електрохімічний знос металу (Cold Corrosion).

Висновки

1. Глибоке охолодження наддувного повітря (до 20–25 °C) є ефективним термодинамічним методом підвищення ККД суднового МОД, що забезпечує зниження питомої витрати палива на 1.5–3 %.
2. Зниження температури заряду гарантує зменшення локальних пікових температур згоряння, що призводить до падіння емісії оксидів азоту (NO_x) на 15 %, наближаючи судно до жорстких екологічних норм.
3. Головним експлуатаційним ризиком є інтенсивна конденсація атмосферної вологи та небезпека холодної корозії циліндрових втулок. Технічна реалізація глибокого охолодження вимагає обов'язкового застосування ефективних водовловлювачів і мікропроцесорного управління температурою за датчиком точки роси.

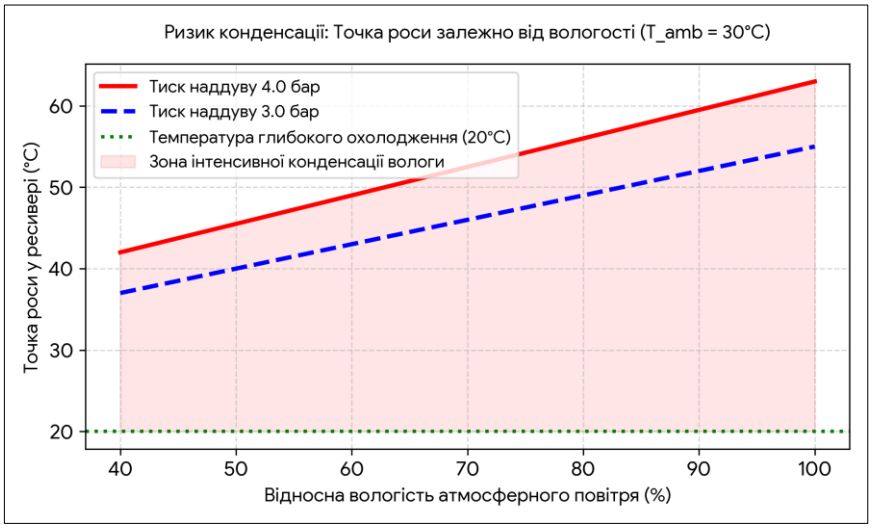


Рисунок 2 – Залежність точки роси від вологості навколишнього середовища та тиску наддуву

Література

[1] MAN Energy Solutions. Influence of Ambient Temperature Conditions on Engine Performance. Service Letter. Copenhagen, 2020.

[2] WinGD (Winterthur Gas & Diesel). Scavenge Air Cooler and Water Condensation Guidelines for X-series Engines. Technical Bulletin. Winterthur, 2022.

[3] Суворов П. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх технічна експлуатація : підручник. Одеса : НУ «ОМА», 2025. 45 с.

[4] IMO. MARPOL Annex VI. Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships. London, 2021.

INFLUENCE OF DEEP COOLING OF SCAVENGE AIR ON THE PERFORMANCE OF MARINE LOW-SPEED DIESEL ENGINES

Andrieiev A.A.

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The paper provides a comprehensive study of the impact of deep-scavenging air-cooling technology on the effective, economic, and environmental performance of marine two-stroke low-speed diesel engines. The thermodynamic advantages of reducing the scavenge charge temperature from the traditional 40 °C to 20 °C are analyzed, including increased density, optimized working cycle, and reduced specific fuel oil consumption (SFOC). The efficiency of deep cooling as a non-reagent method for reducing the emission of thermal nitrogen oxides (NOx) in accordance with IMO Tier II/III standards has been demonstrated. At the same time, operational risks are investigated in detail: reaching the dew point, intensive condensation, and the risk of low-temperature (cold) corrosion of cylinder liners. Ways to optimize the use of absorption refrigeration machines and high-efficiency water catchers are proposed.

Keywords: low-speed diesel engine, scavenge air, deep cooling, fuel efficiency, nitrogen oxides, dew point, cold corrosion, absorption refrigeration machine.

УДК 629.5.03:621.564:621.436

ПРОБЛЕМА КОНДЕНСАЦІЇ ВОЛОГИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ СУДНОВИХ МОД

Андрєєв А.А.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
artem.andreev@nuos.edu.ua
Андрєєва Н.Б.,
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теплотехніки
nataliia.andrieieva@nuos.edu.ua
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,

Анотація. У роботі детально досліджено проблему конденсації атмосферної вологи в системах глибокого охолодження наддувного повітря суднових малообертових дизелів (МОД) із застосуванням холодильних машин. Наведено психрометричний аналіз процесів стиснення та охолодження повітряного заряду, визначено термодинамічні умови досягнення точки роси під час експлуатації суден у тропічних та екваторіальних зонах. Проаналізовано негативний вплив крапельної вологи та кислотного конденсату на трибологічні характеристики циліндро-поршневої групи (ЦПГ), зокрема змивання масляної плівки (scuffing), задирки та інтенсифікацію низькотемпературної (холодної) корозії втулок циліндрів. Запропоновано комплексні технічні рішення, зокрема, використання високоефективних ламельних водовловлювачів та адаптивних алгоритмів управління температурою на основі розрахунку точки роси в реальному часі.

Ключові слова: наддувне повітря, холодильна машина, точка роси, конденсація вологи, холодна корозія, водовловлювач, судновий дизель, ЦПГ.

Вступ. Застосування компресійних або абсорбційних холодильних машин для глибокого охолодження наддувного повітря суднових малообертових дизелів (МОД) є потужним інструментом підвищення їхньої паливної економічності та зниження емісії NOx. Зниження температури у продувному ресивері до 15–20 °C дозволяє суттєво збільшити густину повітряного заряду.

Проте практична реалізація глибокого охолодження неминуче стикається із серйозним фізичним бар'єром – інтенсивною конденсацією атмосферної вологи. Під час руху судна у тропічних і екваторіальних регіонах висока відносна вологість навколишнього середовища у поєднанні з високим ступенем підвищення тиску у турбокомпресорі ($\pi_к$= 3,5…4,5) призводить до того, що точка роси стисненого повітря досягає 40–50 °C. Охолодження повітря нижче цієї межі спричиняє випадання сотень або навіть тисяч кілограмів води на годину. Потрапляння рідкої фази у циліндри загрожує катастрофічним руйнуванням ЦПГ [1].

1. Психрометрія та розрахунок кількості конденсату

Вологоємність повітря визначається парціальним тиском насиченої водяної пари. При стисненні повітря в турбокомпресорі парціальний тиск водяної пари зростає пропорційно ступеню підвищення тиску. Якщо кінцева температура у повітроохолоджувачі виявляється нижчою за отриману точку роси, надлишкова волога конденсується.

Для суднового МОД великої потужності у тропічних умовах при зниженні температури повітря до 20 °C швидкість утворення вологи може перевищувати 1,5–2,0 т/год. Це вимагає безперервного та надійного відведення рідини через дренажні системи ресивера [2].

2. Вплив вологи на трибологію та корозію циліндро-поршневої групи

Потрапляння крапель води через продувні вікна на дзеркало втулки робочого циліндра викликає два основні деструктивні процеси [3]:

1. Низькотемпературна (холодна) корозія: Під час спалювання суднового палива, що містить сірку, утворюється оксид сірки SO_3, який у присутності води перетворюється на сірчану кислоту. Якщо стінка втулки охолоджена нижче точки роси кислоти, відбувається інтенсивне електрохімічне роз'їдання металу.
2. Змивання масляної плівки (Washing-off effect): Контакт води з циліндровим мастилом за високих температур викликає його емульгацію та руйнування гідродинамічної плівки. Виникає режим сухого тертя, що призводить до задирок поршневих кілець і втулки.

3. Технічні засоби захисту та сепарації вологи

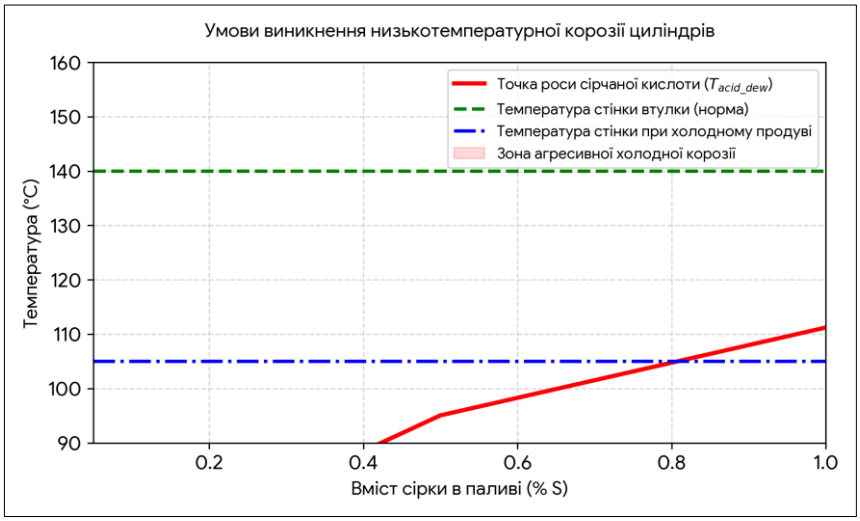


Рисунок 1 – Зона виникнення холодної корозії залежно від вмісту сірки та температури втулки

Для запобігання потраплянню вологи в циліндри двигуна після повітроохолоджувача встановлюють високоенергоефективні водовловлювачі (Water Catchers). Їх ефективність безпосередньо залежить від розміру крапель туману [4].

Висновки

1. Використання холодильних машин для глибокого охолодження наддувного повітря у тропічних умовах призводить до масової конденсації вологи (до 2 т/год), що створює загрозу для надійності двигуна.
2. Потрапляння рідкого конденсату в циліндри спричиняє змивання масляної плівки та інтенсифікацію низькотемпературної корозії під дією сірчаної кислоти.
3. Надійний захист ЦПГ забезпечується комбінацією високошвидкісних ламельних водовловлювачів (з ефективністю > 98 %), підтриманням підвищеної температури стінок втулок та впровадженням інтелектуальних систем управління охолодженням за точкою роси.

Література

[1] MAN Energy Solutions. Condensate Handling and Scavenge Air System Operation. Service Letter SL2021-715. Copenhagen, 2021.

[2] WinGD. Cooling Water and Scavenge Air Temperature Control for Marine Engines. Technical Bulletin TB-034. Winterthur, 2023.

[3] Woodyard, D. Pounder’s Marine Diesel Engines and Gas Turbines. 9th Edition. Butterworth-Heinemann, 2009.

[4] Суворов П. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх технічна експлуатація: підручник. Одеса : НУ «ОМА», 2025. 45 с.

THE PROBLEM OF MOISTURE CONDENSATION WHEN USING REFRIGERATION MACHINES FOR COOLING SCAVENGE AIR OF MARINE LOW-SPEED DIESEL ENGINES

Andrieiev A.A., Andrieieva N.B.

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The paper provides a detailed study of atmospheric moisture condensation in deep-scavenging air-cooling systems for marine low-speed diesel engines using refrigeration machines. A psychrometric analysis of the air charge’s compression and cooling processes is presented, and the thermodynamic conditions required to reach the dew point during vessel operation in tropical and equatorial zones are determined. The negative effects of droplet moisture and acid condensate on the tribological characteristics of the cylinder-piston group, including oil-film washing (scuffing), scoring, and intensified low-temperature (cold) corrosion of cylinder liners, are analyzed. Comprehensive technical solutions are proposed, including the use of highly efficient vane water catchers and adaptive temperature-control algorithms based on real-time dew-point calculations.

Keywords: scavenge air, refrigeration machine, dew point, moisture condensation, cold corrosion, water catcher, marine diesel engine, cylinder-piston group.

УДК 629.5.03:621.1.016:621.436

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ (WASTE HEAT RECOVERY) ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ККД СУДНА

Андрєєв А.А.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
artem.andreev@nuos.edu.ua
Андрєєва Н.Б.,
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теплотехніки
nataliia.andrieieva@nuos.edu.ua
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,

Анотація. У роботі здійснено комплексне науково-технічне дослідження потенціалу та методів утилізації теплоти наддувного повітря (Waste Heat Recovery – WHR) суднових малообертових дизелів (МОД) з метою підвищення загального коефіцієнта корисної дії (ККД) суднової енергетичної установки. Проаналізовано енергетичний та ексергетичний баланс сучасного суднового двотактного двигуна, що демонструє втрати до 15–17 % первинної енергії палива через повітроохолоджувач наддувного повітря (ОНП). Розглянуто схеми двоступеневого охолодження із розділенням на високотемпературну (HT) та низькотемпературну (LT) секції. Детально досліджені варіанти використання утилізованої теплоти для підігріву живильної води парових котлів, забезпечення загальносуднових потреб (опалення, підігрів палива, опріснення) та генерації електроенергії за допомогою органічного циклу Ренкіна (ORC). Доведено, що інтеграція утилізації теплоти наддувного повітря дозволяє підвищити сумарний ККД судна на 4–8 %, знизити питому витрату палива на 8–15 г/(кВт·год) та забезпечити відповідність судна сучасним нормам декарбонізації IMO (EEXI та CII).

Ключові слова: суднови малообертовий дизель, Waste Heat Recovery (WHR), наддувне повітря, двоступеневий повітроохолоджувач, органічний цикл Ренкіна (ORC), енергетичний баланс, EEXI, CII, паливна економічність.

Вступ. Глобальний морський транспорт перебуває у фазі найжорсткішої за всю історію реструктуризації нормативно-правової бази, зумовленої стратегією Міжнародної морської організації (IMO) щодо скорочення викидів парникових газів. Запровадження обов'язкових нормативів, таких як Індекс енергоефективності існуючих суден (EEXI) та Показник вуглецевої інтенсивності (CII) згідно з Додатком VI до Конвенції MARPOL, ставить перед судновласниками та проєктувальниками завдання підвищення паливної економічності як нових, так і експлуатованих суден.

1. Актуальність проблеми

Історично основна увага під час розробки систем утилізації вторинної теплоти (Waste Heat Recovery – WHR) приділялася відпрацьованим газам, температура яких на виході з циліндрів сягає 250–350 °C. Проте суттєве зростання ступеня підвищення тиску у сучасних турбокомпресорах призвело до того, що температура повітря після стиснення сягає 180–220 °C. Тепловий потік, який відводиться в повітроохолоджувачах (ОНП), становить від 15 % до 17 % загальної теплоти палива. Неповернення цієї теплоти є значною ексергетичною втратою. Метою даної роботи є системний аналіз та оцінка ефективності технологій утилізації теплоти наддувного повітря для підвищення загального ККД судна.

2. Конструктивні схеми двоступеневої утилізації та теплоносії

Для реалізації процесу WHR без погіршення умов газообміну двигуна використовується двоступеневий повітроохолоджувач. У першій, високотемпературній секції (HT-stage), повітря охолоджується від 200 °C до ~105 °C, передаючи тепло розігрітому проміжному теплоносію. У другій, низькотемпературній секції (LT-stage), повітря охолоджується до потрібних 35–40 °C забортною або центральною прісною водою.

Отриманий тепловий потік високого потенціалу інтегрується в судновий енергокомплекс за трьома основними напрямками:

1. Підігрів живильної води утилізаційного котла: Теплота наддувного повітря використовується для підігріву конденсату від 45 °C до 110–120 °C перед подачею в барабан утилізаційного котла. Це звільняє теплоту вихлопних газів від завдання підігріву рідини і спрямовує її повністю на пароутворення, збільшуючи вихід перегрітої пари на 18–25 %.

2. Органічний цикл Ренкіна (Organic Rankine Cycle – ORC): Застосування низькокиплячих робочих тіл (R245fa, R1233zd(E), N-пентан) дозволяє ефективно перетворювати теплову енергію води з температурою 90–120 °C на механічну та електричну енергію. Термодинамічний ККД ORC-установки на цьому рівні температур становить 10–14 %, що для двигуна потужністю 30 МВт забезпечує додаткову електричну потужність 400–600 кВт.

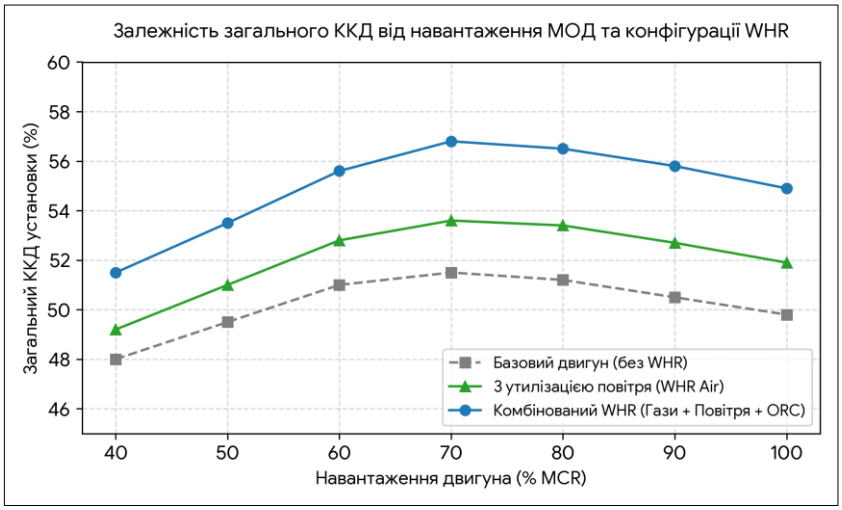


Рисунок 1 – Вплив конфігурації систем WHR на загальний ККД судна при різних навантаженнях МОД

3. Загальносуднові потреби та життєзабезпечення: Утилізоване тепло повністю задовольняє потреби у підігріві важких палив, забезпечує роботу вакуумних опраснювачів та систем опалення/кондиціонування (через абсорбційні чилери).

Висновки

1. Теплота наддувного повітря сучасних малообертових дизелів становить 15–17 % енергетичного балансу палива та має достатній температурний потенціал (180–210 °С) для високоефективного використання.

2. Застосування двоступеневих повітроохолоджувачів із розведенням контурів на високотемпературний (НТ) та низькотемпературний (LT) є оптимальним технічним рішенням.

3. Інтеграція утилізованої теплоти повітря в систему підігріву живильної води утилізаційних котлів та в установки органічного циклу Ренкіна (ORC) дає змогу згенерувати додаткові 400–600 кВт електроенергії для двигуна потужністю 30 МВт.

Література

1. IMO. Resolution MEPC.328(76): 2021 Revised MARPOL Annex VI (EEXI and CII regulations). London: International Maritime Organization, 2021.

2. MAN Energy Solutions. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption and Emissions in Two-Stroke Engines. Copenhagen: MAN ES, 2022. 34 p.

3. WinGD. Waste Heat Recovery Technologies and Integration on X-DF Marine Engines. Technical Paper. Winterthur: Winterthur Gas & Diesel, 2021.

4. Суворов П. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх технічна експлуатація: підручник. Одеса : НУ «ОМА», 2025. 45 с.

SCAVENGE AIR WASTE HEAT RECOVERY FOR ENHANCING OVERALL SHIP EFFICIENCY: A COMPREHENSIVE THERMODYNAMIC, TECHNOLOGICAL, AND TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS

Andrieiev A.A., Andrieieva N.B.

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. This paper presents a comprehensive scientific and technical study on the potential and methods of scavenging air Waste Heat Recovery (WHR) in marine low-speed two-stroke diesel engines to increase the overall efficiency of the ship's power plant. The energy and exergy balance of a modern two-stroke marine engine is analyzed, demonstrating losses of up to 15–17 % of the fuel's primary energy through the scavenge air cooler (SAC). Two-stage cooling schemes separated into high-temperature (HT) and low-temperature (LT) sections are considered. Options for utilizing the recovered heat to preheat steam boiler feedwater, supply shipboard auxiliary needs (heating, fuel preheating, desalination), and generate electricity using the Organic Rankine Cycle (ORC) are investigated in detail. It is proven that the integration of scavenge air heat recovery increases total ship efficiency by 4–8 %, reduces specific fuel consumption by 8–15 g/(kWh), and ensures vessel compliance with modern IMO decarbonization regulations (EEXI and CII).

Keywords: marine low-speed diesel engine, Waste Heat Recovery (WHR), scavenge air, two-stage air cooler, Organic Rankine Cycle (ORC), energy balance, EEXI, CII, fuel efficiency.

УДК 629.5.03:621.436:504.054

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯНОГО ЗАРЯДУ НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА РОБОТУ СУДНОВИХ МОД НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВАХ

Андрєєв А.А.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
artem.andreev@nuos.edu.ua
Андрєєва Н.Б.,
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теплотехніки
nataliia.andrieieva@nuos.edu.ua
Корогод М.О.,
здобувач вищої освіти, група 2217
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,

Анотація. У роботі досліджено критичний вплив температури наддувного повітря на екологічні показники (емісію NOx, CO_2, твердих частинок) та стабільність робочого циклу суднових малообертових дизелів (МОД). Особливу увагу приділено режимам роботи на альтернативних паливах (LNG, метанол, аміак), які сьогодні впроваджуються для досягнення цілей декарбонізації IMO. Розглянуто термодинамічні аспекти зниження максимальної температури згоряння для пригнічення термічних оксидів азоту за механізмом Зельдовича. Проаналізовано проблему детонації (Knock limit) та пропусків запалювання (Misfire) у двопаливних двигунах із циклом Отто (X-DF) під час роботи на зрідженому природному газі (LNG). Доведено, що управління температурою повітряного заряду є не лише засобом оптимізації паливної економічності, а й необхідною умовою безпечного використання низьковуглецевих та безвуглецевих палив.

Ключові слова: наддувне повітря, екологічні показники, емісія NOx, альтернативне паливо, LNG, метанол, аміак, детонація, двопаливний двигун, судновий МОД.

Вступ та актуальність проблеми. Сучасна морська галузь переживає фундаментальну енергетичну трансформацію. Згідно з вимогами Додатка VI до Конвенції MARPOL, впровадження стандарту IMO Tier III вимагає скорочення викидів оксидів азоту (NOx) на 80 % порівняно з рівнем Tier I у зонах контролю викидів (ECA). Паралельно, стратегія IMO з декарбонізації ставить за мету досягнення нульових викидів парникових газів (Net-Zero GHG) до 2050 року. Виконання цих умов неможливе без переходу суднових енергетичних установок на альтернативні види палива: зріджений природний газ (LNG), зелений метанол та аміак [1].

Фізико-хімічні властивості альтернативних палив (теплота згоряння, температура самозаймання, швидкість поширення полум'я) кардинально відрізняються від традиційного важкого палива (HFO). Відповідно, параметри робочого тіла на початку стиснення – зокрема, температура наддувного повітря – набувають вирішального значення для контролю процесу згоряння та формування шкідливих викидів.

1. Термодинаміка утворення NOx та вплив температури заряду

Утворення оксидів азоту в циліндрі МОД відбувається переважно за термічним механізмом Я.Б. Зельдовича. Кількість утвореного NO експоненційно залежить від максимальної локальної температури згоряння та часу перебування газів у високотемпературній зоні (понад 1600–1700 °C).

Зниження температури наддувного повітря у продувному ресивері призводить до відповідного зниження температури наприкінці такту стиснення, що, за умови незмінного тепловиділення, зменшує максимальну температуру циклу. Кожні 10 °C зниження температури наддувного повітря забезпечують зниження загальної емісії NOx на 5–8 %.

2. Робота на зрідженому природному газі (LNG): межа детонації

На сьогодні найпоширенішою технологією використання LNG на двотактних МОД є двопаливні двигуни низького тиску (наприклад, серія WinGD X-DF), що працюють за циклом Отто. Газ впорскується у циліндр на початку такту стиснення, утворюючи гомогенну газоповітряну суміш, яка запалюється невеликою порцією пілотного палива [2].

Головною проблемою циклу Отто є ризик неконтрольованого самозаймання (детонації / Knocking) гомогенної суміші наприкінці стиснення, що може призвести до руйнування ЦПГ. Температура наддувного повітря є головним інструментом контролю детонації. Для двигунів X-DF система управління (Engine Control System) примусово знижує температуру заряду при високих навантаженнях, щоб зберегти температурний запас до межі детонації [3,4].

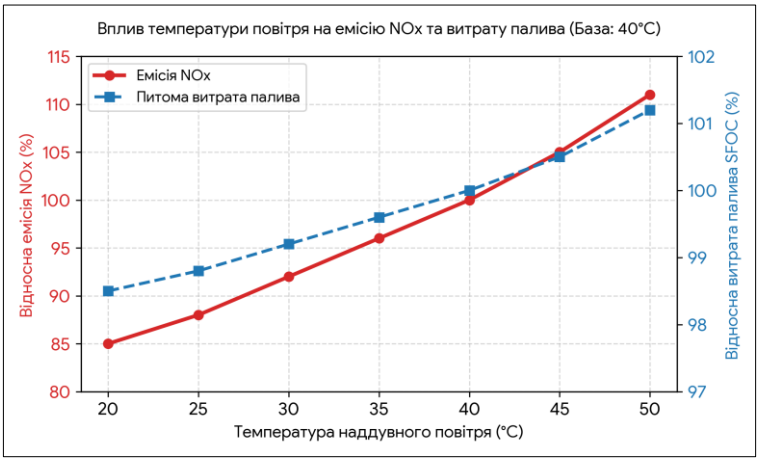


Рисунок 1 – Залежність емісії NOx та питомої витрати палива від температури наддувного повітря

Висновки

1. При роботі двопаливних двигунів на LNG (цикл Отто) точне регулювання та інтенсивне охолодження наддувного повітря є критично необхідними для запобігання самозайманню (детонації) гомогенної газової суміші.

2. Перехід на низькореактивні палива (метанол та аміак) кардинально змінює підхід до охолодження повітря. Висока теплота пароутворення метанолу та надвисока температура самозаймання аміаку вимагають підтримання вищих температур повітряного заряду для забезпечення стабільного займання та безперебійного горіння.

3. Впровадження альтернативних палив для досягнення цілей декарбонізації IMO вимагає створення інтелектуальних систем управління (Smart Charge Air Cooling), здатних динамічно адаптувати температуру у продувному ресивері залежно від типу використовуваного палива, поточного навантаження та атмосферних умов.

Література

[1] IMO. Resolution MEPC.328 (76): 2021 Revised MARPOL Annex VI (EEXI, CII and NOx Technical Code regulations). London: International Maritime Organization, 2021.

[2] WinGD. Low-Pressure Dual-Fuel Technology for X-DF Marine Engines: Operating principles and knock margin control. Winterthur Gas & Diesel, 2022.

[3] MAN Energy Solutions. Engine operation on Methanol (LGIM) and Ammonia (LGI-A): Dual Fuel two-stroke engines. Copenhagen: MAN ES, 2023.

[4] Суворов П. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх технічна експлуатація: підручник. Одеса : НУ «ОМА», 2025. 45 с.

IMPACT OF CHARGE AIR TEMPERATURE ON ENVIRONMENTAL PERFORMANCE AND OPERATION OF MARINE LOW-SPEED ENGINES RUNNING ON ALTERNATIVE FUELS

Andrieiev A.A., Andrieieva N.B., Korogod M.O.

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. This paper investigates the critical impact of scavenge/charge air temperature on the environmental indicators (emissions of NOx, CO2, and particulate matter) and the stability of the working cycle in marine low-speed two-stroke diesel engines. Special attention is given to operating modes that utilize alternative fuels (LNG, methanol, and ammonia), which are currently being implemented to meet the decarbonization targets set by the International Maritime Organization (IMO). The thermodynamic aspects of reducing the maximum combustion temperature to suppress the formation of thermal nitrogen oxides via the Zeldovich mechanism are examined. The issues of knocking and misfiring in Otto-cycle dual-fuel (X-DF) engines operating on liquefied natural gas (LNG) are analyzed. It is demonstrated that managing the charge air temperature is not only a means of optimizing fuel efficiency, but also a prerequisite for the safe and reliable use of low-carbon and zero-carbon fuels.

Keywords: charge air, environmental performance, NOx emissions, alternative fuel, LNG, methanol, ammonia, knocking, dual-fuel engine, marine low-speed engine.

УДК 629.5.03:621.436:681.5

ПРЕДИКТИВНА ДІАГНОСТИКА ТА ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧІВ НА РОБОТУ ТУРБОНАГНІТАЧА СУДНОВИХ МОД

Андрєєв А.А.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
artem.andreev@nuos.edu.ua
Андрєєва Н.Б.,
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теплотехніки
nataliia.andrieieva@nuos.edu.ua
Худік Р.О.,
здобувачка вищої освіти, група 2217
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,

Анотація. У роботі досліджено вплив експлуатаційного забруднення повітроохолоджувачів наддувного повітря (ОНП) на термодинамічні показники та газодинамічну стійкість турбонагнітачів суднових малообертових дизелів (МОД). Проаналізовано механізми формування відкладень на теплообмінних поверхнях та їх наслідки: зростання аеродинамічного опору, зниження коефіцієнта теплопередачі, що призводить до зміщення робочої точки компресора в бік межі помпажу (Surge line). Розглянуто сучасні методи предиктивної діагностики (Predictive Maintenance), засновані на машинному навчанні (ML) та цифрових двійниках (Digital Twins). Впровадження алгоритмів виявлення аномалій дозволяє прогнозувати деградацію характеристик ОНП, оптимізувати графіки хімічного очищення та уникати аварійних зупинок двигуна.

Ключові слова: предиктивна діагностика, турбонагнітач, помпаж, повітроохолоджувач, забруднення ОНП, аеродинамічний опір, машинне навчання, судновий дизель.

Вступ. Ефективність роботи сучасних двотактних суднових малообертових дизелів (МОД) критично залежить від стану агрегатів повітряного тракту. Турбонагнітач (ТН) та повітроохолоджувач наддувного повітря (ОНП) працюють у тісному термодинамічному зв'язку, забезпечуючи подачу необхідної маси свіжого заряду в циліндри. В умовах тривалої морської експлуатації поверхні ОНП неминуче забруднюються.

Традиційне планово-попереджувальне обслуговування (ППО) часто призводить або до передчасного очищення (втрата часу та хімікатів), або до запізнення, що викликає серйозні збої в роботі турбонагнітача. Саме тому перехід на предиктивну діагностику (Condition-Based Maintenance) є одним із головних трендів цифровізації судноплавства.

1. Фізика впливу забруднення ОНП на робочий цикл

Забруднення теплообмінних поверхонь повітроохолоджувача з боку повітря (Air-side fouling) характеризується двома основними негативними факторами:

1. Зростання аеродинамічного опору Δp: Зменшення прохідного перерізу між ламелями через шар бруду призводить до квадратичного зростання перепаду тиску. Якщо у чистого ОНП Δp становить 1.0–1.5 кПа, то у забрудненого він може сягати 4–6 кПа.
2. Зниження коефіцієнта теплопередачі: Шар маслянистих відкладень діє як теплоізолятор. Це призводить до зниження ефективності охолодження. Внаслідок цього температура повітря у продувному ресивері зростає, що зменшує густину повітряного заряду та масову витрату повітря через двигун.

2. Наслідки для турбонагнітача: наближення до помпажу

З точки зору компресора турбонагнітача, забруднений ОНП і двигун виступають як гідравлічний опір (дросельна заслінка). Збільшення опору призводить до того, що для проштовхування тієї ж маси повітря компресор змушений створювати вищий тиск. Робоча точка на характеристиці компресора зміщується вліво і вгору – до зони нестійкої роботи (Surge line).

3. Предиктивна діагностика та цифрові двійники (Digital Twins)

Сучасні системи предиктивної діагностики використовують комплексні математичні моделі та алгоритми машинного навчання (Machine Learning) для безперервного аналізу стану ОНП. Модель (цифровий двійник) розраховує еталонні (Baseline) показники тиску та температури для поточних обертів двигуна, температури забортної води й атмосферного тиску.

Аналіз відхилень (Residuals) між реальними вимірами та показниками моделі дозволяє виявити аномалію ще до того, як вона вплине на роботу двигуна.

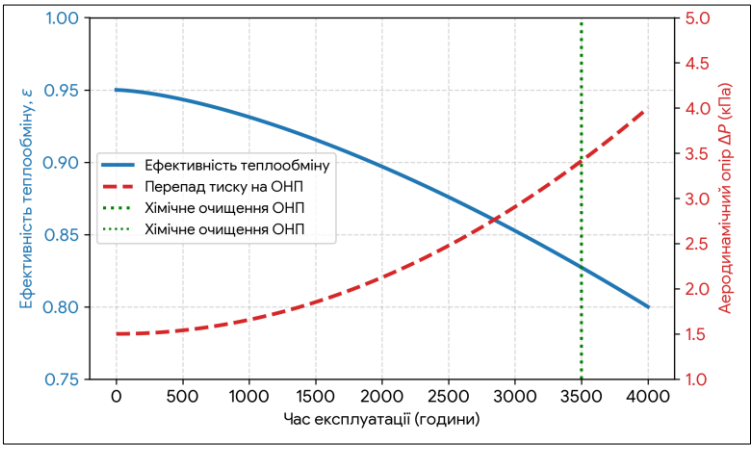


Рисунок 1 – Динаміка зростання аеродинамічного опору та падіння ефективності ОНП

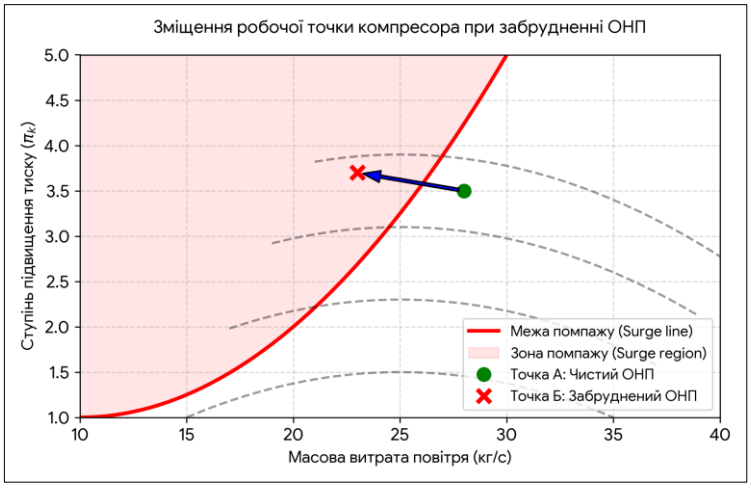


Рисунок 2 – Зміщення робочої точки компресора внаслідок забруднення ОНП

Висновки

1. Забруднення повітроохолоджувача (ОНП) є одним із головних факторів погіршення ефективності робочого процесу суднового МОД, що призводить до зростання аеродинамічного опору та падіння інтенсивності теплообміну, зміщує робочу точку компресора турбонагнітача у зону менших витрат і вищих тисків, критично наближаючи її до межі газодинамічної нестійкості (помпажу).

3. Впровадження систем предиктивної діагностики з використанням цифрових двійників (Digital Twin) та аналізу трендів дозволяє завчасно ідентифікувати початок забруднення, оптимізувати процедуру очищення і забезпечити безаварійну роботу турбонагнітача.

Література

[1] Woodyard, D. Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. 9th Edition. Butterworth-Heinemann, 2009. 896 p.

[2] MAN Energy Solutions. Turbocharger surging and scavenge air cooler fouling – Service Letters. Copenhagen, 2021.

[3] WinGD (Winterthur Gas & Diesel). Scavenge Air Cooler and Water Condensation Guidelines for X-series Engines. Technical Bulletin. Winterthur, 2022.

[4] Суворов П. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх технічна експлуатація: підручник. Одеса : НУ «ОМА», 2025. 45 с.

PREDICTIVE DIAGNOSTICS AND THE IMPACT OF AIR COOLER FOULING ON TURBOCHARGER PERFORMANCE IN MARINE LOW-SPEED ENGINES

Andrieiev A.A., Andrieieva N.B., Hudik R.O.

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. This paper investigates the impact of operational fouling of charge air coolers (CAC) on the thermodynamic parameters and gas-dynamic stability of turbochargers in marine low-speed two-stroke diesel

engines. The mechanisms of deposit formation on heat-transfer surfaces and their consequences–namely, an increase in aerodynamic resistance and a decrease in the heat-transfer coefficient, which cause the compressor operating point to shift toward the surge line–are analyzed. Modern methods of predictive maintenance based on machine learning (ML) and digital twins are examined. The implementation of anomaly detection algorithms enables the forecasting of CAC performance degradation, the optimization of chemical cleaning schedules, and the prevention of emergency engine shutdowns.

Keywords: predictive diagnostics, turbocharger, surging, charge air cooler, CAC fouling, aerodynamic resistance, machine learning, marine diesel engine.

УДК 629.5:620.9

ЕКСЕРГІЯ ХОЛОДУ LNG ПІД ЧАС РЕГАЗИФІКАЦІЇ НА FSRU

Нікончук С.В.,
аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
serhii.nikonchuk@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто регазифікацію LNG на FSRU Independence за одним із опублікованих суднових режимів: складом LNG 99,6 % CH_4 і 0,4 % N_2, витратою 102 666 кг/год та тиском 6,5 МПа(надл.). За наведеними в джерелі тепловим навантаженням випарника й зміною ексергії потоку виконано перерахунок питомих показників. Для 50, 75 і 100 % базової витрати оцінено потужності за припущення незмінних питомих значень. Результат є лінійним сценарним перерахунком, а не виміряною чистою потужністю системи утилізації холоду.

Ключові слова: FSRU, LNG, регазифікація, ексергія холоду, термодинамічний аналіз.

Вступ. Під час регазифікації LNG поглинає теплоту, переходячи з кріогенного стану до природного газу за умов подачі. Цю зміну стану можна використати для технологічного охолодження [1, с. 336] або одночасного виробництва електроенергії та холоду [4, с. 463]. Для FSRU розглянуто теплообмінні схеми та енергетичні цикли, результат яких залежить від властивостей LNG і робочого тіла [2, с. 60–62; 3, с. 857].

Для кількісної оцінки необхідно розрізняти теплове навантаження випарника, спад фізичної ексергії LNG та її теплову складову. Фізична ексергія охоплює температурну й механічну складові, тому її спад не можна автоматично ототожнювати із суто ексергією холоду [2, с. 60–62]. Нижче використано опублікований спад фізичної ексергії; поділ на складові та чисту електричну потужність тут не розраховано.

Мета роботи. Мета роботи – визначити нормовані теплові й ексергетичні показники опублікованого режиму FSRU та межі застосування їх лінійного перерахунку за зміни витрати.

Основна частина. За основу прийнято режим 2 FSRU Independence: витрата LNG 102 666 кг/год, склад 99,6 % метану та 0,4 % азоту, тиск 6,5 МПа(надл.) і циркуляція BOG [5, с. 4, табл. 1]. Джерело не уточнює у цій таблиці базу відсоткового складу. Теплова потужність випарника дорівнює 19,45 МВт [5, с. 13, табл. 5], а спад ексергії між L6 та L7 – 46,65 − 33,97 = 12,68 МВт [5, с. 11, рис. 2]. Це результати авторів джерела, використані як вихідні дані.

Теплова потужність випарника визначається балансом ентальпії (1):

$$\dot{Q}_{vap} = \dot{m}_{LNG} (h_{L7} - h_{L6}) \quad (1)$$

де $\dot{Q}vap$ – теплова потужність випарника; $\dot{m}LNG$ – витрата через нього; hL6 і hL7 – питомі ентальпії на вході та виході. Для нормування прийнято наведену в джерелі витрату 102 666/3600 = 28,5183 кг/с. Отже, на одиницю цієї витрати припадає 19 450/28,5183 = 682,0 кДж/кг. Її ототожнення з витратою через випарник є припущенням перерахунку.

Зміну фізичної ексергії потоку на тій самій ділянці визначає різниця ексергій станів до і після випарника за формулою (2):

$$\dot{B}_{vap} = \dot{m}_{LNG} (e_{L6} - e_{L7}),\ e_i = (h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0) \quad (2)$$

Тут $\dot{B}vap$ – спад потужності фізичної ексергії; e_i – питома фізична ексергія; h_0, s_0 – властивості за спільного опорного стану. За сталого складу ці опорні величини скорочуються в різниці eL6 − eL7. Джерело приймає T_0 = 288,15 K [5, с. 8]; властивості станів тут повторно не моделюються. Нормований спад становить 12 680/28,5183 = 444,6 кДж/кг, а його відношення до теплового навантаження – 0,652. Це відношення двох балансних величин, а не ККД установки.

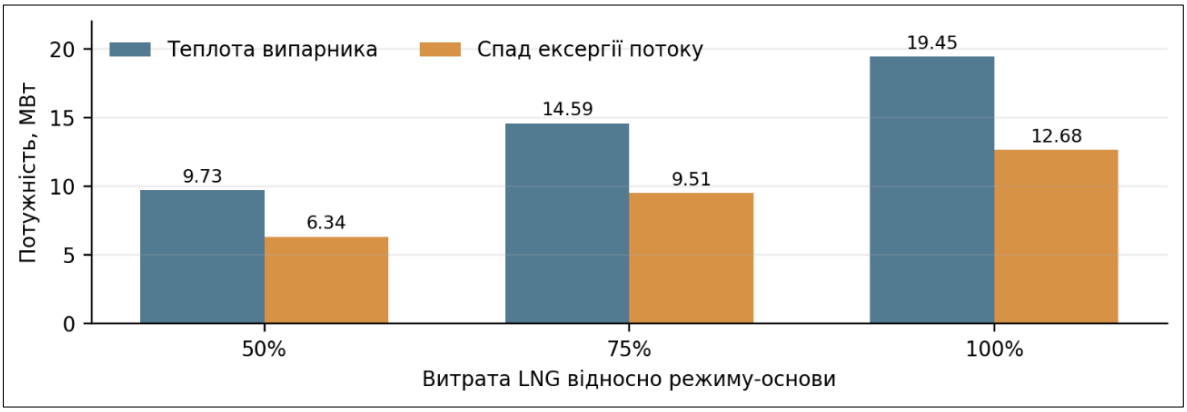


Рисунок 1 – Лінійний перерахунок теплового навантаження та спаду фізичної ексергії.
Вихідні дані – [5, с. 4, 11, 13]; сценарний розрахунок і рисунок – автора.

Прийнято λ = 0,50; 0,75 та 1,00 від базової витрати. Лінійна модель припускає сталі питомі показники та пропорційне масштабування потоків, включно з BOG. Потужності визначаються за (3):

$$\dot{Q}_\lambda = \lambda \dot{Q}_0;\ \dot{B}_\lambda = \lambda \dot{B}_0 \quad (3)$$

За витрат 51 333; 76 999,5 і 102 666 кг/год теплова потужність становить 9,73; 14,59 і 19,45 МВт, а спад фізичної ексергії – 6,34; 9,51 і 12,68 МВт. Сталість відношення 0,652 є наслідком прийнятої моделі, а не встановленою властивістю FSRU за часткового навантаження. Перерахунок показує масштаб потоків, але не враховує зміну температур, тиску, складу й роботи обладнання. Тому він не визначає доступний виробіток електроенергії. Для вибору споживача холоду необхідні температурний графік теплообміну, баланс допоміжних витрат і окремий розрахунок утилізаційного контуру.

Висновки. За опублікованими даними отримано нормовані показники 682,0 кДж/кг за теплотою та 444,6 кДж/кг за спадом фізичної ексергії. Лінійний сценарій для 50–100 % базової витрати дає відповідно 9,73–19,45 МВт та 6,34–12,68 МВт. Практичне значення перерахунку полягає у попередній оцінці масштабу потоків для заданих припущень. Він не підтверджує ефективність конкретного способу використання холоду; для цього потрібен розрахунок теплообміну та власного споживання установки.

Література

[1] Khor J. O., Dal Magro F., Gundersen T., Sze J. Y., Romagnoli A. Recovery of cold energy from liquefied natural gas regasification: Applications beyond power cycles. *Energy Conversion and Management.* 2018. Vol. 174. P. 336–355. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.028

[2] Naveiro M., Romero Gómez M., Arias Fernández I., Romero Gómez J. Exploitation of liquefied natural gas cold energy in floating storage regasification units. *Brodogradnja*. 2021. Vol. 72, No. 4. P. 47–78. DOI: https://doi.org/10.21278/brod72404

[3] Lee Y. LNG-FSRU cold energy recovery regasification using a zeotropic mixture of ethane and propane. Energy. 2019. Vol. 173. P. 857–869. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.111

[4] Atienza-Márquez A., Bruno J. C., Coronas A. Cold recovery from LNG-regasification for polygeneration applications. *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 132. P. 463–478. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.12.073

[5] Semaskaite V., Bogdevicius M., Paulauskiene T., Uebe J., Filina-Dawidowicz L. Improvement of regasification process efficiency for floating storage regasification unit. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Vol. 10, No. 7. Article 897. DOI: https://doi.org/10.3390/jmse10070897

COLD EXERGY OF LNG DURING REGASIFICATION ON THE FSRU

Nikonchuk Sergii
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Published data for an operating case of the FSRU Independence are used to normalize vaporizer heat duty and the decrease in physical stream exergy. The reference flow rate is 102,666 kg/h. A linear scenario covers 50 %, 75 %, and 100 % of that flow under constant specific values and proportional stream scaling. The results indicate the scale of the energy flows but do not establish thermal exergy alone or net recoverable power.

Keywords: FSRU, LNG, regasification, cold exergy, thermodynamic analysis.

УДК 620.178.5

ДЕФЕКТИ ВІБРОІЗОЛЯТОРІВ ТА ФУНДАМЕНТІВ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ

Свиридов В.І.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,
viacheslav.svyrydov@nuos.edu.ua

Анотація. Дефекти віброізоляторів насосного обладнання виявляються у втраті їх пружності, руйнуванні матеріалу або зміщенні агрегату, що веде до різкого зростання вібрації, появи структурного шуму та пошкодження корпусу або муфт насоса, і все це суттєво впливає на експлуатаційну надійність будь-якого рухомого устаткування.

Ключові слова. Експлуатація, устаткування, віброізолятори, дефекти, вібрації, резонанс.

На віброактивність насосного устаткування впливає технічний стан віброізоляторів, на яких воно встановлено. Майже немає наукових праць, які б розглядали технічний стан віброізоляторів у контексті вібродіагностики рухомих механізмів. Відомо, що старіння гуми, що використовується для віброізоляції механізмів, зазвичай пов’язане з підвищенням її жорсткості.

Підвищена жорсткість кріплення, що амортизує, викликає зменшення амплітуди вібрації на лапах машин і фланцях приєднання її до трубопроводів, призводить до збільшення вібрації корпусних конструкцій, що, в свою чергу, призводить до механічного перевантаження тих чи інших деталей та вузлів.

Ця обставина під час проведення вібродіагностики насосного устаткування може призвести до постановки помилкового діагнозу.

Основні види дефектів віброізоляторів:

– Старіння та руйнування гуми: поява тріщин, розривів, втрата еластичності через перепади температури або часу.

– Осадження (повзучість) пружного елемента: сильне стиснення або деформація пружини/гуми під постійною вагою насоса.

– Руйнування металевих частин: корозія корпусу, зношування різьблення, тріщини в зварних швах або злам витків пружинних ізоляторів.

– Масляна або хімічна руйнація: розбухання гумових елементів через витік олії або потрапляння агресивних рідин, при використанні немаслобензостійких типів гуми.

– Ослаблення кріплення: розбовтування анкерних болтів і гайок, що фіксують віброізолятор до рами або фундаменту.

Причини та наслідки:

– помилки під час добору за вагою та частотою, перевищення допустимого навантаження, агресивне середовище в приміщенні, природне зношування.

– передача вібрації на несучі конструкції, резонанс трубопроводів, вихід з ладу підшипників та передчасний ремонт насоса.

Ефективність віброізоляторів насосного устаткування доцільно оцінювати за перепадом віброприскорень, виміряних до і після віброізолятора, тобто, вимірювання перепаду віброприскорень проводити на лапі механізму та на фундаменті. На низьких частотах, що виникають у діапазоні від 1 Гц до 50 Гц, ефективність віброізоляції практично дорівнює нулю. Тому рекомендується вимірювати перепад віброприскорення на віброізоляторах у діапазоні від 50 Гц до 1000 Гц.

Для кожного типу віброізоляторів існують свої норми щодо перепаду віброприскорень. Ці обставини необхідно обов’язково враховувати перед початком проведення вібродіагностування, щоби не отримати помилковий діагноз.

Висновки. Практично всі види дефектів і несправностей вузлів та деталей насосного устаткування можна визначити за параметрами вібрації.

Дефекти віброізоляторів насосного обладнання виявляються у втраті їхньої пружності, руйнуванні матеріалу або зміщенні агрегату, що призводить до різкого зростання вібрації, появи структурного шуму та пошкодження корпусу або муфт насоса.

Література

[1]. Костишин В. С., Яремак І. І. Аналіз показників ефективності та надійності роботи насосного агрегата на засадах системного підходу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. № 1 (62). С. 50–60.

[2]. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики : монографія / В.П. Бабак та ін. ; за ред. В.П. Бабака. Київ : Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 51 с.

[3]. Костишин В. С., Яремак І. І. Математична модель надійності та ефективності роботи насосного агрегата нафтоперекачувальної станції. *Науковий вісник. Національного гірничого університету.* 2017. № 5 (161). С. 62–68.

[4]. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів : ФМІ НАНУ, 2013, 80 с.

DEFECTS OF VIBRATION ISOLATORS AND FOUNDATIONS OF PUMPING EQUIPMENT

Svyrydov Viacheslav

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. Defects of vibration isolators of pumping equipment are manifested in the loss of their elasticity, destruction of the material, or displacement of the unit, which leads to a sharp increase in vibration, the appearance of structural noise, and damage to the pump housing or couplings, and all this significantly affects the operational reliability of any moving equipment.

Keywords: Operation, equipment, vibration isolators, defects, vibrations, resonance.

УДК 620.178.5

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІДРОДІАГНОСТУВАННЯ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ

Свиридов В.І.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
viacheslav.svyrydov@nuos.edu.ua

Анотація. Діагностика насосного обладнання є найважливішим аспектом експлуатації будь-якого обладнання, і вона включає в себе контроль технічного стану для забезпечення надійної експлуатації. Ці способи допомагають виявляти приховані дефекти (дисбаланс, зношування підшипників, кавітацію) до того, як насос вийде з ладу або з'являться фактори, які ускладнять подальшу експлуатацію. Усе це суттєво впливає на експлуатаційну надійність і моторесурс будь-якого рухомого устаткування.

Ключові слова. Експлуатація, устаткування, контроль, дефекти, вібрації, аналіз.

Основні методи вібродіагностики насосного обладнання включають контроль загального рівня вібрації, спектральний аналіз, метод огинаючої та кепстральний аналіз. Ці способи допомагають виявити приховані дефекти (дисбаланс, зношування підшипників, кавітацію) ще до того, як насос вийде з ладу.

Контроль загального рівня вібрації:

– вимірюють загальну енергію коливань;
– порівнюють із нормами ДСТУ;
– показує загальний стан агрегату;

Спектральний аналіз;

– розкладають сигнал на частоти;
– знаходять конкретні дефекти (дисбаланс вала, проблеми з лопатями).

Аналіз огинаючої (Demodulation):

– вирізняють високочастотні удари;
– дозволяє виявляти дефекти підшипників кочення на ранній стадії.

Кепстральний аналіз:

– допомагає у складних спектрах;
– виявляє періодичні сигнали та луни у вузлах.

Проведений аналіз показує, що для функціональної оцінки технічного стану насосного устаткування найбільшого поширення набули два методи: вібраційний метод діагностики та метод акустичної емісії. Обидва ці методи належать до одного класу – акустичних методів. Основна відмінність цих методів – у частотному діапазоні досліджуваних коливань.

Метод акустичної емісії має обмежені можливості з діагностики вузлів та деталей насосного устаткування, і тому в роботі не розглядається. Коротка характеристика деяких широко застосовуваних методів віброакустичної діагностики

Для аналізу найчастіше застосовують різні методи віброакустичної діагностики, зокрема вібраційну. Для діагностування застосовують різні характеристики вібрації: віброприскорення, віброшвидкість, вібропереміщення, амплітудно-частотні або амплітудно-фазові характеристики вібрації, а також амплітудну та фазову модуляцію сигналу вібрації. В основному вимірюють середньоквадратичні значення параметрів вібрації в різних діапазонах частот і використовують різні смуги пропускання фільтрів. Таким чином, можна зробити висновок, що універсального методу віброакустичної діагностики насосного устаткування не існує, оскільки технічний стан того чи іншого вузла чи деталі характеризує своя найбільш інформативна ознака. Розглянемо найбільш застосовувані методи діагностики окремих вузлів і деталей насосного устаткування.

1. Метод ударних імпульсів. Метод ударних імпульсів заснований на ефекті впливу руйнування тіл кочення підшипника на коливання в зоні резонансної частоти вібродатчика (~ 35 кГц), яка знаходиться за межами основних резонансних частот механізму, що лежать нижче 5 кГц
2. Метод огинаючої. Відомо, що модуляція вібраційних процесів відбувається через нелінійність властивостей системи та зміни параметрів контактів між елементами кінематичних пар та іншими передавальними ланками на шляху поширення вібрації від місць її виникнення до випромінюючої поверхні насосного устаткування.
3. Кепстральний аналіз. При появі дефектів електропривода, що визначаються неоднорідністю опорів та насиченням окремих ділянок магнітного ланцюга, а також ударними імпульсами в підшипнику, спектр сигналу вібрації електропривода виявляється насиченим великою кількістю гармонійних складових з частотами, кратними основним складовим вібрації, і комбінаційними частотами.
4. Спектральний аналіз. Спектральний аналіз широко застосовується для виявлення причин підвищеної віброактивності різних машин та механізмів, а також використовується під час проведення вібродіагностики. При цьому використовують різні характеристики вібрації: усунення, швидкість, прискорення, потужність. Ці параметри вимірюють для цілей нормування вібрації та діагностики в різних октавних смугах частот аналізу: октаві, 12-й октаві, 13-й октаві тощо. Під час проведення вібродіагностики використовують («тонкий» аналіз) вузькосмуговий аналіз, наприклад, у смузі 1 Гц.

Висновки. Практично всі види дефектів і несправностей вузлів та деталей насосного устаткування можна визначити за параметрами вібрації.

Таким чином, можна зробити висновок, що універсального методу віброакустичної діагностики насосного устаткування немає, оскільки технічний стан того чи іншого вузла чи деталі буде характеризуватися своєю найбільш інформативною ознакою.

Література

[1] Костишин В. С., Яремак І. І. Аналіз показників ефективності та надійності роботи насосного агрегата на засадах системного підходу. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2017. № 1 (62). С. 50–60.

[2] Інформаційне забезпечення моніторингу об’єктів теплоенергетики : монографія. В.П. Бабак та ін., за ред. В.П. Бабака. Київ : Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 51 с.

[3] Костишин В. С., Яремак І. І. Математична модель надійності та ефективності роботи насосного агрегата нафтоперекачувальної станції. *Науковий вісник. Національного гірничого університету.* 2017№ 5 (161).С. 62–68

[4] Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів : ФМІ НАНУ, 2013, 80 с.

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR DIAGNOSTIC MONITORING OF PUMPING EQUIPMENT

Svyrydov Viacheslav

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. Diagnostics of pumping equipment is a crucial aspect of operation, encompassing monitoring the technical condition to ensure reliable performance. These methods help detect hidden defects (such as imbalance, bearing wear, or cavitation) before the pump fails or conditions arise that render further operation impossible; all of this significantly impacts the operational reliability and service life of any rotating machinery.

Keywords: operation, equipment, monitoring, defects, vibration, analysis.

УДК 620.178.5

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ПІДШИНИКІВ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ

Свиридов В.І.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,
viacheslav.svyrydov@nuos.edu.ua
Колесников О.В.,
морський суперінтендант та портовий капітан,
морська компанія "FANTASEA Ship Management"
Kolesnykov83@gmail.com
Заграй Є.В.,
здобувач вищої освіти, група 3217
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,
zagrajevgenij549@gmail.com

Анотація. Технічний стан насосного устаткування у конкретний момент часу та пошук дефектів під час експлуатації є однією з найважливіших проблем їх створення, що полягає в прогнозуванні та передбаченні технічного стану насосного устаткування у прогнозований момент часу або в тимчасовому інтервалі, протягом якого насосне устаткування не змінить свого стану.

Ключові слова. Експлуатація, устаткування, прогнозування, дефекти, підшипники, ресурс.

Поряд із визначенням технічного стану насосного устаткування у конкретний момент часу та пошуком дефектів, однією з найважливіших проблем їх створення та експлуатації є прогнозування стану, що полягає в передбаченні технічного стану насосного устаткування та визначенні моменту часу або тимчасового інтервалу, протягом якого насосне устаткування не змінить свого стану. Слід зазначити, що розроблені до нашого часу методи прогнозування дають змогу передбачити раптові відмови, тобто відмови, що характеризуються різкою зміною параметрів технічного стану насосного устаткування, зокрема підшипників кочення, до граничного значення. Прогнозувати з певним ступенем точності можна поступові відмови, що характеризуються поступовою зміною параметрів технічного стану та обумовлені зносом тіл і доріжок кочення підшипників і старінням мастила [5, 6].

Основою для прогнозування технічного стану насосного устаткування, як і для багатьох інших технічних об'єктів, є аналітичне прогнозування, при якому за багатовимірним вектором станів S_n (S_1, S_2, …, S_n) або діагностичних сигналів X_m (X_1, X_2, …, X_n), виміряному в моменти t_1, …, t_i , …, t_k необхідно визначити їх значення в моменти t_j (j = k +1, … k + L)

Аналітичне прогнозування технічного стану об'єктів ґрунтується на об'єктивному існуванні певної тенденції зміни параметрів їхнього стану або діагностичних сигналів під час експлуатації, основні закономірності якої можуть бути охарактеризовані тимчасовою функцією.

Прогнозування технічного стану підшипників кочення насосного устаткування є порівняно складним технічним завданням. Це зумовлено тим, що на технічний стан навіть однотипного підшипника кочення впливає поєднання великої кількості експлуатаційних чинників, частину з яких важко врахувати. Основне завдання прогнозування – визначення залишкового ресурсу підшипника кочення, тобто його напрацювання від початку експлуатації до настання граничного стану. Визначення залишкового ресурсу підшипника кочення дозволяє об'єктивно визначити момент необхідності технічного обслуговування і ремонту. Прогнозування ресурсу підшипників насосного устаткування – це оцінка часу до їхньої поломки. Метод допомагає вчасно змінювати деталі та уникати аварій. Для прогнозування використовують аналіз вібрації, температури та математичні моделі.

Основні методи прогнозування це:

– вібродіагностика: найточніший спосіб. Зростання рівня вібрації та ударні імпульси свідчать про знос доріжок кочення та тіл;
– аналіз температури: різке нагрівання вузла свідчить про брак мастила або перевантаження;
– математичний розрахунок: формули враховують навантаження, обороти та якість мастила;
– нейромережі та штучний інтелект: сучасні алгоритми аналізують потік даних із датчиків у реальному часі та передбачають залишковий термін експлуатації.

Основні чинники зносу підшипників можуть бути наступні:

– забруднення води чи мастила.
– помилки при монтажі та перекіс вала;
– робота на сухому ходу або кавітація у насосі;
– неправильний вибір типу мастила.

Завдання прогнозування відмов роторного устаткування можна обґрунтовано звести до розрахунку залишкового ресурсу його підшипникових вузлів, оскільки майже половина відмов відбувається через вихід з ладу підшипників. Описана у статті програма дозволяє скоригувати прогнозовані показники залишкового ресурсу підшипника з урахуванням умов експлуатації.

Отримана аналітична залежність дозволяє коригувати залишковий ресурс підшипника L_h залежно від його конструктивних особливостей, умов експлуатації (температури, мастила), режиму навантаження та рівня вібрації механізму. Реалізація розрахунку цієї формули у вигляді програми із завантаженими довідковими даними для різних марок механізмів та підшипників дозволяє максимально автоматизувати процеси обчислення залишкового ресурсу та визначення фактичного стану підшипникового вузла, що особливо актуально на виробництві в умовах обмеженого часу та різного рівня кваліфікації обслуговуючого й ремонтного персоналу.

Висновки. Уточнення залишкового ресурсу підшипника математично описаними параметрами фактичних умов експлуатації роторного механізму значно підвищує ймовірність отримання достовірного прогнозу. Отримана аналітична залежність дозволяє коригувати залишковий ресурс підшипника L_h залежно від його конструктивних особливостей, умов експлуатації (температури, мастила), режиму навантаження та рівня вібрації механізму.

Література

[1] Костишин В. С., Яремак І. І. Аналіз показників ефективності та надійності роботи насосного агрегата на засадах системного підходу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* 2017. № 1 (62). С. 50–60. https://pdogf.com.ua/uk/journals/1-62

[2] Інформаційне забезпечення моніторингу об’єктів теплоенергетики : монографія / В.П. Бабак та ін. ; за ред. В.П. Бабака. Київ : Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 51 с. https://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/02/babak_monografia2015.pdf

[3] Костишин В. С., Яремак І. І. Математична модель надійності та ефективності роботи насосного агрегата нафтоперекачувальної станції. *Науковий вісник. Національного гірничого університету.* 2017. № 5 (161). С. 62–68. https://www.researchgate.net/publication/321157763_Mathematical_model_of_reliability_and_efficiency_of_pumping_unit_of_an_oil_pumping_station

[4] Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів, ФМІ НАНУ, 2013, 804 с. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=JwU_B&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=U=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%92213.305%20%D0%B2647.1

[5] Свиридов В.І., Попов І.М. Дослідження підшипникових вузлів насосного обладнання та механізмів через вібраційні показники. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* Херсон : ХНТУ, 2017. Т. 1, Вип. 3 (62). С. 338–344. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_3(1)__61

[6] ISO 13373-1:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: General procedures. https://www.iso.org/ru/standard/21831.html

[7]. ISO 13373-2:2016Condition monitoring and diagnostics of machines – Vibration condition monitoring. Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data. https://www.iso.org/standard/68128.html

PREDICTING THE SERVICE LIFE OF PUMP EQUIPMENT BEARINGS

[1]Svyrydov Viacheslav, [2]Oleg Kolesnykov, [1]Zahrai Yevhenii

[1]Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

[2]FANTASEA Ship Management Marine Company

Abstract. Assessing the technical condition of pumping equipment and detecting defects during operation, particularly through condition forecasting, poses critical challenges in the development of such systems. This process entails predicting either the equipment’s technical state at a future point in time or the duration of the interval during which the equipment’s condition remains unchanged.

Keywords: operation, equipment, forecasting, defects, bearings, service life.

УДК 620.178.5

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ПІДШИПНИКІВ

Свиридов В.І.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
viacheslav.svyrydov@nuos.edu.ua
Олійник О.О.,
здобувач вищої освіти, група 3217
alexandroleinik432@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна,

Анотація. Розрахунок експлуатаційної довговічності підшипників кочення ґрунтується на визначенні базового розрахункового ресурсу (L_{10}) у мільйонах оборотів або годин, за якого 90 % ідентичної партії підшипників працюють без ознак втоми металу.

Ключові слова. Експлуатація, устаткування, ресурс, підшипники, дефекти, втома підшипника, балансування.

Під довговічністю (розрахунковим терміном служби) розуміють термін служби партії підшипників, протягом якого не менше 90 % однакових підшипників за одного й того ж навантаження та частоти обертання повинні працювати без появи ознак втоми металу на робочих поверхнях, і це є вимогою ДСТУ. Під втомою підшипників кочення мається на увазі початок утворення лущення, мікротріщин і вибоїн на робочих поверхнях тіл і доріжок кочення.

Розглянемо методику розрахунку експлуатаційної довговічності підшипників кочення, яка полягає в такому.

1. За допомогою вібровимірювальної апаратури вимірюють загальний рівень Lк віброприскорення підшипникового щита (у діапазоні частот від 5…20 Гц до 10…15 кГц) у децибелах або сумарний коефіцієнт віброперевантаження Кп, який визначається за формулою $К_п = A/g$, де А – амплітуда віброприскорення, м/с^2; g – прискорення вільного падіння. Якщо вимірювали $L_к$, дБ, $К_п$ знаходимо за формулою

$$K_n = 10^{(L_p - 90,3)/20}, \quad (1.1)$$

де $L_р=(L_к + 10)$ – рівень віброприскорення ротора, дБ.

2. Експлуатаційну довговічність підшипників котіння насосного устаткування знаходимо за формулою експериментально-теоретичної залежності

$$T_0 = T\left[1,7/(1+K_n)\right]^r, \quad (1.2)$$

де: Т – розрахункова довговічність насосного устаткування (зазвичай наводиться у формулярах насосів і, як правило, дорівнює 10…12 тис.годин); r – показник ступеня (r = 3 для шарикопідшипників; r = 3,33 для роликопідшипників).

Розглянемо результати розрахунку довговічності підшипників котіння за формулою (1.2) від довільно обраних $К_п$ за умови, що розрахункова довговічність підшипників складатиме Т = 10…12 тис.годин, що характерно для більшості насосів.

З формули (1.2) видно, що підвищити ресурсу підшипників кочення в експлуатаційних умовах можливо шляхом зменшення $К_п$ за рахунок:

– періодичного проведення підбалансування (рекомендується через 2…2,5 тис. годин) ротора;

– своєчасного (за фактичним технічним станом) проведення технічного обслуговування і ремонту;

Розрахунок експлуатаційної довговічності підшипників кочення ґрунтується на визначенні базового розрахункового ресурсу (L_{10}) у мільйонах оборотів або годин, за якого 90 % ідентичної партії підшипників працюють без ознак втоми металу. Головними параметрами у формулах є динамічна вантажопідйомність (С) та еквівалентне динамічне навантаження (Р). Розглянемо формули та параметри для визначення моторесурсу підшипників.

Стосовно номінального ресурсу в оборотах (L_{10}):

$$L_{10}=(C/P)^r$$

де r = 3 для кульки – і r = 3,33 для роликопідшипників.

– Моторесурс в годинах L_{10h}:

$L1_{0h}=10^6/60\ n\ L_{10}$, де n – частота обертання ($хв^{-1}$).

– Еквівалентне динамічне навантаження (P):

$$P = (X\ V\ Fr + Y\ Fa)\ K_t\ K_s$$

де F_r і F_a – радіальне та осьове навантаження;

X і Y – коефіцієнти радіальної та осьової сил;

V – коефіцієнт обертання кільця,

K_t – температурний коефіцієнт;

K_s – коефіцієнт безпеки (що враховує характер навантаження).

Чинники, що впливають на реальний моторесурс підшипників:

– якість, тип і чистота мастильного матеріалу.

– робоча температура підшипникового вузла.

– точність монтажу та наявність перекосів вала.

– Рівень забруднення навколишнього середовища (наявність пилу, вологи). Для точної оцінки з урахуванням реальних умов застосовують ДСТУ (або міжнародний стандарт ISO 281), який вводить скоригований розрахунковий ресурс (L_{nam}) за допомогою коефіцієнтів надійності та змащування.

Висновки. За допомогою вібровимірювальної апаратури вимірюють загальний рівень Lк віброприскорення підшипникового щита (в діапазоні частот від 5…20 Гц до 10…15 кГц) в децибелах або сумарний коефіцієнт віброперевантаження $K_п$,

Література

[1] Костишин В. С., Яремак І. І. Аналіз показників ефективності та надійності роботи насосного агрегата на засадах системного підходу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* 2017. № 1 (62). С. 50–60.

[2] Свиридов В.І., Попов І.М. Дослідження підшипникових вузлів насосного обладнання та механізмів через вібраційні показники. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* Херсон : ХНТУ, 2017. Т. 1, Вип. 3 (62). С. 338–344.

[3] Свиридов В. І., Андреєв А.А., Андрєєв А.А. Аналіз впливу граничних рівнів вібрації на залишковий ресурс суднових машин і механізмів. *Розвиток транспорту*. 2023. № 4 (19). С. 125–139.

[4] Інформаційне забезпечення моніторингу об’єктів теплоенергетики: Монографія. В.П. Бабак та ін., за ред. В.П. Бабака. К., Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 51 с.

[5] Костишин В. С., Яремак І. І. Математична модель надійності та ефективності роботи насосного агрегата нафтоперекачувальної станції. Науковий вісник. Національного гірничого університету. 2017. № 5 (161). С.62–68

[6] Інформаційне забезпечення моніторингу об’єктів теплоенергетики : монографія / В.П. Бабак та ін. ; за ред. В.П. Бабака. Київ : Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 51 с.

[7] Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів : ФМІ НАНУ, 2013, 80 с.

METHODOLOGY FOR CALCULATING BEARING SERVICE LIFE

Svyrydov Viacheslav, Oliinyk Oleksandr

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The calculation of the service life of rolling bearings is based on the determination of the basic design life (L_{10}) in millions of revolutions or hours, at which 90 % of an identical lot of bearings work without signs of metal fatigue.

Keywords. Operation, equipment, resource, bearings, defects, bearing fatigue, balancing.

УДК 539.3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ТОНКОСТІННОЇ ОБОЛОНКИ ДЛЯ ТЕРМОМОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

Семенов М.М.,
викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики,
mykola.semenov@nuos.edu.ua
Золотий Ю.Г.,
викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування,
yurii.zolotyi@nuos.edu.ua
Моргун С.О.,
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
serhii.morhun@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Представлено методику експериментального визначення просторового температурного поля тонкостінної осесиметричної оболонки за даними радіометричної тепловізійної зйомки. За результатами обробки вихідного радіометричного файлу отримано розподіл температури у п'яти поперечних перерізах оболонки з кутовим періодом 15°*C*. Виконано геометричну прив'язку отриманих температурних даних до реальної конфігурації оболонки в системі координат *X*, *Y*, *Z*, *T*. Одержані результати призначені для верифікації математичних моделей термомеханічного та модального аналізу тонкостінних елементів жарових труб газотурбінних двигунів.

Ключові слова: тонкостінна оболонка, температурне поле, тепловізійний контроль, радіометрія, термомодальний аналіз.

Тонкостінні елементи камер згоряння газотурбінних установок у процесі експлуатації зазнають інтенсивного та просторово нерівномірного теплового навантаження. Наявність локальних зон підвищеної температури спричиняє неоднорідні температурні деформації, та формування локальних термічних напружень. В свою чергу зміна жорсткісних характеристик конструкції може впливати на частотний та модальний спектри тонкостінних конструкцій і змінювати локалізацію осесиметричних коливальних форм оболонок обертання [1–3].

При чисельному дослідженні динамічних характеристик нерівномірно нагрітих конструкцій одним із визначальних факторів достовірності моделі є спосіб задання температурного навантаження. Особливо це важливо для локального нагрівання, за якого температура поверхні може суттєво змінюватися як уздовж осі оболонки, так і в окружному напрямку [1, 3].

Одним із перспективних засобів отримання експериментальної інформації про тепловий стан поверхні є радіометрична термографія.[4] На відміну від звичайного тепловізійного зображення, радіометричний файл містить цифрові дані, що характеризують температуру окремих ділянок поверхні. Їх обробка дозволяє з використанням функції (1) перейти від якісної візуалізації зони нагрівання до кількісного температурного поля:

$$T = T\left(\phi, z\right) \tag{1}$$

де φ – кутова координата поверхні оболонки, *z* – координата вздовж її осі.

Подальша геометрична прив'язка експериментальних температур до реальної форми конструкції дає можливість сформувати просторовий масив *(X, Y, Z, T)*, який може бути безпосередньо використаний як вихідна інформація для чисельного термомеханічного та модального аналізу твердотільної конструкції методом скінченних елементів.

Метою роботи є розробка методики експериментального визначення просторового температурного поля тонкостінної оболонки за даними радіометричної термографії, геометрична прив'язка отриманих температур до реальної поверхні конструкції та формування масиву даних для подальшого термомодального аналізу.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань: обробити радіометричні дані тепловізійної зйомки; визначити розподіл температури у п'яти поперечних перерізах оболонки; сформувати залежності *T(φ)* з кроком 15 °C; виконати перехід від координат термограми до реальних координат поверхні оболонки; підготувати масив *X, Y, Z, T* для подальшого чисельного моделювання.

Експериментальне визначення температурного поля виконувалося для тонкостінної осесиметричної оболонки при локальному тепловому навантаженні. Реєстрацію температурного стану поверхні

здійснювали тепловізором UNI-T UTi260B. Для подальшої кількісної обробки використовувався вихідний радіометричний файл тепловізора, що містив температурні дані для матриці розміром 192×256 пікселів.

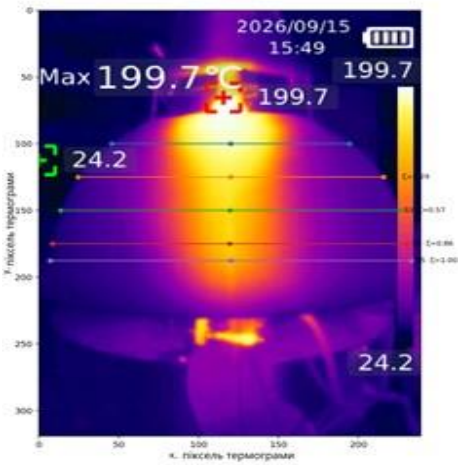


Рисунок 1 – П'ять поперечних перерізів досліджуваної оболонки

У дослідженому режимі мінімальна та максимальна температури, зафіксовані тепловізором, становили відповідно: T_{min} = 24,2˚C, T_{max}=199,7˚C.

Таким чином, загальний перепад температури в межах зареєстрованого поля досягав: ΔT=175,5˚C, що підтверджує суттєву просторову неоднорідність теплового стану об'єкта.

Для переходу від цифрових значень 16-бітної радіометричної матриці до температури використовувалася залежність (2):

$$T = \frac{N}{16} - 273,5 \qquad (2)$$

де N – цифрове значення елемента радіометричної матриці; T – температура поверхні, ˚C.

Залежність (2) була додатково перевірена за контрольними температурами, записаними безпосередньо у вихідному файлі тепловізора. Розбіжність між температурою, визначеною за формулою (2), та контрольними значеннями не перевищувала приблизно 1,3˚C.

Для кількісного опису просторового температурного поля на термограмі було виділено п'ять поперечних перерізів оболонки S_1−S_5, розташованих уздовж її осі (рис. 1). Положення границь оболонки в кожному перерізі визначалося алгоритмічно за зовнішнім градієнтним переходом між поверхнею оболонки та фоном. Для кожного перерізу визначалися координати лівої x_L та правої x_R границь відповідно. Це дозволило розрахувати положення осі оболонки відносно центральної образуючої, орієнтованої у напрямку тепловізора (x_O) та проекційний радіус (R_{proj}).

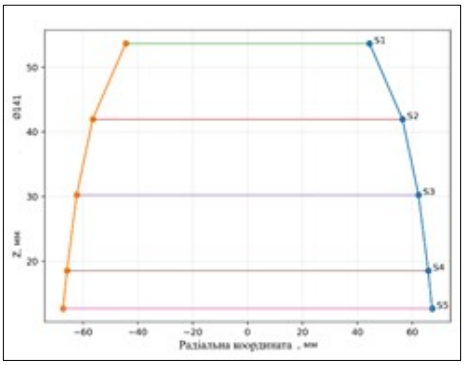


Рисунок 2 – Розташування температурних перерізів по висоті оболонки

$$x_0 = \frac{x_L - x_R}{2} \qquad R_{proj} = \frac{x_R - x_L}{2} \qquad (3)$$

Перехід від координати пікселя до кутової координати поверхні здійснювався за співвідношенням (4):

$$x = x_0 + R_{proj}\sin(\varphi) \qquad (4)$$

де φ – кутова координата точки поверхні.

Температурні значення визначалися в межах видимої тепловізором півокружності −90°≤ φ ≤+90° ,з кроком Δφ = 15°.

Для зменшення впливу випадкових піксельних флуктуацій температура кожної точки визначалася локальним усередненням у прямокутній області 3×5 пікселів. У результаті для кожного з п'яти перерізів отримано по 13 температурних значень.

Геометричну прив'язку температурних перерізів до реальної поверхні оболонки виконано за її розмірним кресленням. За початок осьової координати прийнято площину нижнього перерізу оболонки.

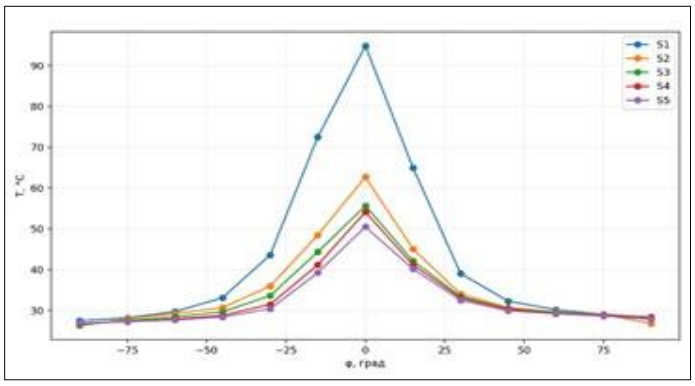


Рисунок 3 – Розподіл температури T(φ) по координатних перерізах

Для п’яти досліджуваних перерізів отримано координати, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Геометричні параметри та температура центральної образуючої

Переріз	z, мм	r, мм	T(φ = 0°), °C
S_1	53,72	44,39	94,82
S_2	41,99	56,41	62,69
S_3	30,27	62,26	55,65
S_4	18,54	65,80	54,15
S_5	12,68	67,22	50,51

Отримані результати показують, що найбільша температура у виділених перерізах спостерігається в області центральної образуючої. Для перерізу S_1 вона досягає 94,82 °C, тоді як у перерізах, розташованих нижче, зменшується до 50−63 °C. При віддаленні від центральної області в окружному напрямку температура також знижується і поблизу положень φ=±90° наближається до 27−30 °C.

При цьому розподіл температури відносно φ=0° не є строго симетричним. Наприклад, у перерізі S_1 при φ=−15 ° отримано T=72,49 °C, тоді як при φ=+15°температура становить T=64,98 °C.

Аналогічна, хоча менш виражена, асиметрія спостерігається і в інших перерізах. Це свідчить про необхідність використання фактичного експериментального поля температур замість припущення про рівномірний або осесиметричний нагрів.

Таким чином, за результатами тепловізійного експерименту температурний стан оболонки може бути представлений функцією

$$T = T(\varphi, z) \tag{5}$$

Для подальшого чисельного аналізу кутові та осьові координати були перетворені у декартову систему. Для кожного перерізу координати температурних точок визначалися як:

$$X_{ij} = r_i \sin\left(\phi_j\right) \qquad Y_{ij} = r_i \cos\left(\phi_j\right) \qquad Z_{ij} = z_i \tag{6}$$

де r_i та z_i – відповідно радіус і осьова координата i-го перерізу; φ_j – кутова координата j-ї температурної точки.

У результаті сформовано експериментальний масив $\{X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}, T_{ij}\}$.

Запропонований підхід дозволяє використовувати експериментально визначене, а не умовно рівномірне температурне поле при термомеханічному та модальному аналізі. Це створює основу для подальшого дослідження впливу нерівномірного нагрівання і термічних напружень на власні частоти та форми коливань тонкостінних елементів газотурбінних установок.

Література

[1] Wang. G., Zhu Z., Zhang Y., Xu R., Jiang Y., Liu Q. Free and forced vibration analysis of thin-walled cylindrical shells with arbitrary boundaries in steady thermal environment. Thin-Walled Structures. 185, (2023). https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.110556

[2] Bazhenov V.A., Krivenko O.P., Kozak A.A. Modal analysis of a complex shell structure under operational loads. Strength of Materials and Theory of Structures. 106. 5–13. (2021). https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.106.5-13

[3] Kamenskikh A.O., Lekomtsev S.V., Matveenko V.P. Numerical analysis of natural frequencies of shallow shells under temperature load. Procedia Structural Integrity. 72. 252–259. (2025). https://doi.org/ 10.1016/j.prostr.2025.08.100

[4] Usamentiaga R., Venegas P., Guerediaga J., Vega L., Molleda J., Bulnes F.G. Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. Sensors. 14 (7). 12305-12348. (2014). https://doi.org/10.3390/s140712305

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE TEMPERATURE FIELD OF A THIN-WALLED SHELL FOR THERMAL MODAL ANALYSIS OF GAS TURBINE COMPONENTS

Mykola Semenov, Yirii Zoloyyi, Serhii Morhun

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A method for the experimental determination of the spatial temperature field of a thin-walled axisymmetric shell using radiometric thermography is presented. Temperature distributions were obtained for five transverse sections of the shell with an angular increment of 15°. The experimental temperature data were geometrically referenced to the actual shell surface and transformed into a set of X,Y,Z,T coordinates. The obtained data are intended for subsequent thermo-mechanical and prestressed modal analysis of thin-walled gas turbine components.

Keywords: thin-walled shell, gas turbine, temperature field, thermography, radiometry, thermal modal analysis.

УДК 621.438:621165

МОЖЛИВІ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ГИБРИДНИХ ГАЗО-ПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВОДНІ

Шмарков О.А.,
доктор філософії (PhD), викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
shmarkov.oleksandr@gmail.com

Анотація. Гібридні газо-паротурбінні установки складного термодинамічного циклу, що працюють на водні відображають основні тенденції енергетичного машинобудування у напрямках гнучкої генерації електроенергії та задоволення міжнародних норм на викиди токсичних компонентів. Можливі варіанти застосування даних установок становить важливе питання для дослідження.

Ключові слова: зелена енергія; паливо; водень; гібридні установки; екологічні показники; альтернативні палива.

Занепокоєність станом навколишнього середовища та впливом на нього діяльності людини знаходить відображення у всіх аспектах людської діяльності, у тому числі у промисловості. Тому тенденціям останніх років у Європі та й у світі притаманні кроки, які чітко регламентують вплив теплових двигунів на екологію. Прийняті світовою спільнотою угоди, такі як Європейський зелений договір [1] та Паризька угода [2] накладають обмеження на рівні емісії токсичних компонентів з поступовим досягненням практично нульового забруднюючого впливу на навколишнє середовище до 2050 р. Відмітимо, що Україна також приймає участь у даному напрямі.

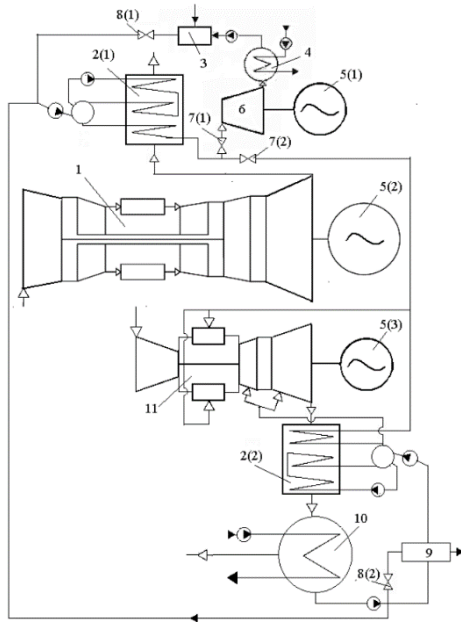


Рисунок 1 – Принципова схема гібридної газо-паротурбінної установки з гібридним циклом: 1 – базовий ГТД; 2 (1), 2 (2) – УПГ; 3 – цистерна котлової води; 4 – паровий конденсатор; 5 (1), 5 (2), 5 (3) – електрогенератори; 6 – парова турбіна; 7 (1), 7 (2) – парові клапани; 8 (1), 8 (2) – водяні клапани; 9 – блок водоочищення; 10 – газопаровий конденсатор; 11 – контактний ГТД [3]

З приводу цього при проєктуванні енергетичних установок на рівні з енергетичними показниками ефективності стають екологічні показники у вигляді рівнів емісії токсичних компонентів.

Забезпечення надійності і маневреності сучасних енергосистем може задовольнятися за допомогою обладнання таких систем гібридними газо-паротурбінними установками, які здатні виробляти електроенергію у широкому діапазоні навантажень. Прикладом такої установки може слугувати комбінована газо-паротурбінної установка принципова схема якої наведена на рис. 1. Застосування водню в якості палива в свою чергу може забезпечувати відповідність екологічних показників установки міжнародно встановленим нормам.

До складу установки входять базовий ГТД простої теплової схеми 1, парова турбіна 6 теплоутилізаційного контуру базового ГТД, а також контактний ГТА (КГТА) 11; кожна з наведених турбін працює в якості приводу електрогенераторів. Агрегат оснащений двома утилізаційними котлами та системою подачі та перерозподілу пари між паровою турбіною та контактним ГТА.

Метою даної роботи є визначення потенційних сфер застосування модульної гібридної газо-паротурбінної установки, що працює на водні.

Умови застосування енергетичних установок, що можуть генерувати електроенергію у широкому діапазоні потужності описуються технологічними вимогами сучасних енергосистем. Такими умовами можуть виступати – нерівномірність споживання електроенергії; різкі коливання її генерації викликані наявністю у системі нестабільних джерел електроенергії, наприклад сонячні батареї; специфікою роботи автономних об’єктів з великими мінливими потребами у електроенергії. Також використання гібридних установок з широким діапазоном досяжних потужностей може мати на увазі економічні та екологічні міркування. Такі установки за

рахунок великої маневреності здатні зберігати свою термічну ефективність та екологічну надійність на режимах часткового навантаження більшу у порівнянні з системами , які представлені окремими ГТД з тією самою сумарною потужністю.

Тож виходячи з приведених умов можна зазначити, що потенційний варіант застосування гібридних газо-паротурбінних установок буде представлено судна типу FPSO. Оскільки вони виконують свою діяльність у відкритому морі, виникає необхідність у автономному забезпечені власних потреб у електроенергії. В залежності від місця видобутку та розмірів судна потреби у електроенергії можуть варіюватись від 50 до 150 МВт з яких близько 80-90 % згенерованої енергії йде на забезпечення видобутку й підготовки нафти або газу [4, 5].

Наступним варіантом застосування таких установок можна відзначити роботу у комплексі з вітровими та сонячними електростанціями. Великий діапазон досяжної потужності гібридних установок та велика маневреність дозволяє компенсувати різкі перепади у генерації електроенергії та покривати необхідне навантаження для функціонування електричної мережі. На відміну від АЕС або ТЕС, які збільшують або зменшують рівень генерації електроенергії протягом годин та навіть діб, гібридні установки можуть регулювати генерацію електроенергії значно швидше [6].

Стрімкий розвиток штучного інтелекту, хмарних обчислень та великих даних спричинив стрымке зростання енергоспоживання дата-центрів, які потребують від десятків до сотень мегават безперервної електричної потужності. Сучасні технологічні компанії висувають жорсткі вимоги щодо безвуглецевого живлення, проте будівництво нових центрів часто залежить від наявних вільних потужностей у централізованих енергомережах. Застосування автономної гібридної газопарової установки на чистому водні може дозволити вирішити проблему забезпечення дата-центрів надійною локальною генерацією.

У підсумку можна відмітити, що гібридні газо-паротурбінні установки зі складним термодинамічним циклом у поєднанні з водневим паливом можуть застосовуватись у великому спектрі об’єктів, список яких не обмежується наведеним у роботі. Таким чином, напрямок створення таких установок відповідає як потребам об’єктів у генерації електроенергії так і світовим тенденціям зі зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Література

[1] International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2020. 2020. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf (дата звернення: 16.02.2025).

[2] United Nations Organization. Adoption of the Paris Agreement: FCCC/CP/2015/L.9. 2015. URL: https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/LTD/G15/283/07/PDF/G1528307.pdf (дата звернення: 16.02.2025).

[3] Сербін С. І., Шмарков О. А. Параметри гібридної газопарової установки, що працює на водневому паливі. Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: НУК, 2023. № 1 (490). С. 103–110. DOI: https://doi.org/10.15589/znp2023.1 (490).13

[4] Analysis: Electrification holds the key to FPSO decarbonization. 2024. URL: https://www.offshore-mag.com/energy-transition/article/14305406/abs-electrification-holds-the-key-to-fpso-decarbonization.

[5] Combined cycle power plants may help offshore producers decarbonize. 2021. URL: https://www.offshore-mag.com/production/article/14209801/siemens-combined-cycle-power-plants-may-help-offshore-producers-decarbonize.

[6] A. Althobaiti, M. Alotaibi, A. Alahmed, F. Alharbi, S. Al-Dhahab. The Impact of Integrating Variable Renewable Energy Sources into Power Grids. Energies. 2025. Vol. 18, issue 3. DOI: https://doi.org/ 10.3390/en18030689.

[7] J. T. Kim, Y. S. Harvey et al. Techno-Economic and Environmental Assessment of Trigeneration Systems for Data Centers Applied Energy. 2020. Vol. 27. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tsep.2026.104625.

POTENTIAL APPLICATIONS OF HYDROGEN-FUELED HYBRID COMBINED CYCLE POWER PLANTS

Shmarkov Oleksandr

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Hybrid gas-steam turbine units with complex thermodynamic cycles operating on hydrogen reflect major trends in power engineering toward flexible electricity generation and compliance with international emissions standards for toxic components. The potential application scenarios of these units represent a critical question for investigation.

Keywords: green energy; fuel; hydrogen; hybrid plants; environmental indicators; alternative fuels.

УДК 662.769.21

СУЧАСНИЙ СТАН ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У СУДНОВОМУ ТУРБОБУДУВАННІ

Шмарков О.А.,
доктор філософії (PhD), викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
shmarkov.oleksandr@gmail.com
Долгов Р. В.,
студент групи 3217 кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
dolgovryslan79@gmail.com

Анотація. Наведено сучасні виклики декарбонізації суднових енергетичних установок у контексті екологічних вимог ІМО та ЄС. Обґрунтовано доцільність впровадження суднових газотурбінних установок на альтернативних паливах (водні, аміаку та метанолі) та розкрито фізико-хімічні й експлуатаційні обмеження їхнього спалювання.

Ключові слова: зелена енергія; паливо; водень; аміак; метанол; екологічні показники; альтернативні палива.

Посилення екологічних стандартів Міжнародної морської організації щодо досягнення нульових рівнів викидів токсичних компонентів до 2050 року, а також впровадження жорстких регіональних вимог EU ETS та FuelEU Maritime, вимагають кардинальної декарбонізації суднових енергетичних установок. Перехід до «зеленої» морської енергетики спирається на впровадження альтернативних безвуглецевих та низьковуглецевих носіїв енергії, таких як водень, аміак та метанол. Цей процес вимагає від галузей суднобудування та турбобудування переходу до нових високоефективних силових систем, здатних стабільно працювати на нових видах палива без втрати питомої потужності.

Перспективним напрямком задоволення поставлених цілей є використання судових ГТУ для великовантажних та швидкісних суден через їх високу питому потужність, компактні масогабарити та паливну гнучкість. Проте робота камери згоряння ГТУ на альтернативних безвуглецевих паливах стикається з низкою складних фізико-хімічних питань: спалювання водню пов’язане з ризиком виникнення ефекту проскоку полум’я та виникнення термоакустичної нестабільності [1] висока максимальна температура, що вища за температуру горіння метану спричиняє спричиняє підвищення рівня емісії оксидів азоту; при горінні аміак має низьку швидкість горіння, потребує високої енергії займання та маленький діапазон концентрації для займання [2]; метанол є одним з найпростіших варіантів декарбонізації оскільки він залишається рідким за нормальних умов, але його експлуатація також пов’язана з певними складнощами. На відміну від традиційних видів палива метанол має у 2–2,5 рази нижчу теплотворну здатність, що веде до збільшення необхідного об’єму палива на судні, має низьку температуру спалаху та високу корозійну активність – ці чинники значно ускладнюють його технічну експлуатацію [3].

У висновку можна зазначити, що напрям енергетики у судновому турбобудуванні знаходиться на перехідному етапі між використанням традиційних видів палива та використанням «зеленої» енергії, що є перспективним напрямом декарбонізації, але потребує проведення додаткових досліджень як з боку модернізації конструкцій, так і умов технічної експлуатації ГТУ.

Література

[1] Beita J., Talibi M., Sadasivuni S., Balachandran R. Thermoacoustic instability considerations for high hydrogen combustion in lean premixed gas turbine combustors: a review. *Hydrogen*. 2021. Vol. 2, № 1. P. 33–57. DOI: 10.3390/hydrogen2010003.

[2] S. Serbin, N. Washchilenko, M. Dzida, X. Zhao. Operational Behaviour of a Gas Turbine Combustion Chamber Using Hydrogen–Ammonia Fuel. *Polish Maritime Research.* 2026. Vol. 33, no. 3. P. 91–100. DOI: 10.2478/pomr-2026-0038.

[3] Study on Methanol as a Marine Fuel / Nanyang Technological University, Methanol Institute. 2021. 118 p. URL: https://methanol.org/wp-content/uploads/2020/04/SG-NTU-methanol-marine-report-Jan-2021-1.pdf (date of access: 25.09.2026).

CURRENT STATE OF GREEN ENERGY IN MARINE TURBOMACHINERY

Shmarkov Oleksandr, Dolhov Ruslan
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The modern challenges of decarbonizing marine power plants within the context of IMO and EU environmental regulations are presented. The feasibility of implementing marine gas turbine units operating on alternative fuels (hydrogen, ammonia, and methanol) is substantiated, and the physicochemical and operational constraints of their combustion are revealed.

Keywords: green energy; fuel; hydrogen; ammonia; methanol; environmental indicators; alternative fuels.

УДК 662.769.21

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА У КАМЕРАХ ЗГОРЯННЯ З ПОПЕРЕДНІМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ

Шмарков О.А.,
доктор філософії (PhD), викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
shmarkov.oleksandr@gmail.com
Олійник С.А.,
студент групи 3217 кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
seruj960@gmail.com

Анотація. Процес декарбонізації у турбобудуванні для відповідності міжнародним нормам на емісію токсичних компонентів може передбачати поєднання різних методів зниження забруднювачів. Перевід камери згоряння з попереднім змішування на водневе паливо або чистий водень пов'язано не тільки зі зниженням викидів оксидів азоту та оксидів вуглецю, а й з виникненням технічних викликів пов'язаних з відмінністю фізико-хімічних властивостей водню та традиційних вуглеводневих палив.

Ключові слова: газотурбінний двигун; зелена енергія; водень; камера згоряння; екологічні показники; альтернативні палива.

Сучасні глобальні тенденції у енергомашинобудуванні й не тільки спрямовані на вирішення важливих екологічних питань – таких як забруднення атмосфери токсичними сполуками та викиди парникових газів. Застосування водневих технологій у турбобудуванні напряму корелюються з даними тенденціями.

Метою цієї роботи є обґрунтування ефективності поєднання методу зниження емісії шкідливих речовин за допомогою технології попереднього перемішування палива з повітрям у поєднанні з використанням водневого палива з високими концентраціями водню або чистого водню.

Ідея створення екологічно чистих камер згоряння передбачає застосування технологій організації робочого процесу що будуть вирішувати основні перепони пов'язані з відмінністю горіння водню у порівнянні з традиційним вуглеводневим паливом.

У світовій практиці для ефективного використання водневого паливи при організації процесу роботу у камері згоряння ГТД використовують наступні технології.

Одна з найпоширеніших технологій організації робочого процесу при створені DryLowNOx (DLN) або як їх ще називають Dry Low Emission (DLE) камер згоряння – це застосування принципу попереднього перемішування палива з повітрям. Загальна схема за якою працюють камери даного типу наведена на рис. 1.

Організація робочого процесу передбачає розмежування процесів горіння та перемішування. У зоні змішування відбувається утворення бідної суміші шляхом перемішування палива з великою кількістю повітря, яке надходить від компресора без безпосереднього горіння. Такий підхід забезпечує контроль над максимальною температурою горіння, що в свою чергу впливає на рівень NO_x у вихідних газах.

Враховуючи що робота камери згоряння з високими концентраціями або на чистому водні або суттєво знижує, або повністю нівелює емісію парникових газів, але одночасно з цим стикається з рядом технічних проблем викликаних відмінністю фізико-хімічних властивостей водню на відміну від природного газу. Значною проблемою при спалюванні водню при використанні у камерах типу DLN та DLE є ризики

виникнення ефекту проскоку полум'я та термоакустичної нестабільності – пульсації тиску та тепловиділення, що виникають через зворотний зв'язок між акустичними хвилями камери та коливаннями швидкості реакції [2]. Дослідження [1] зазначає, що робочий діапазон камер з попереднім перемішуванням невеликий через встановлені норми на викиди забруднюючих речовин типу CO та NO_x з однієї сторони та ризиком виникнення термоакустичної нестабільності з іншої. Робочий діапазон таких камер наведено на рис. 2.

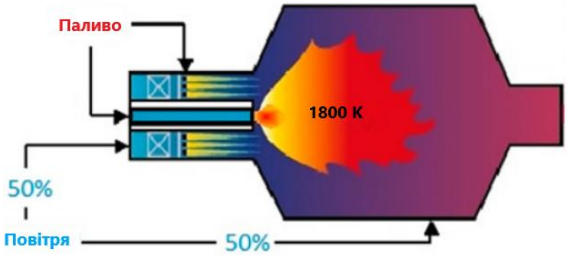


Рисунок 1 – Схема роботи камери згоряння з попереднім перемішуванням палива та повітря [1]

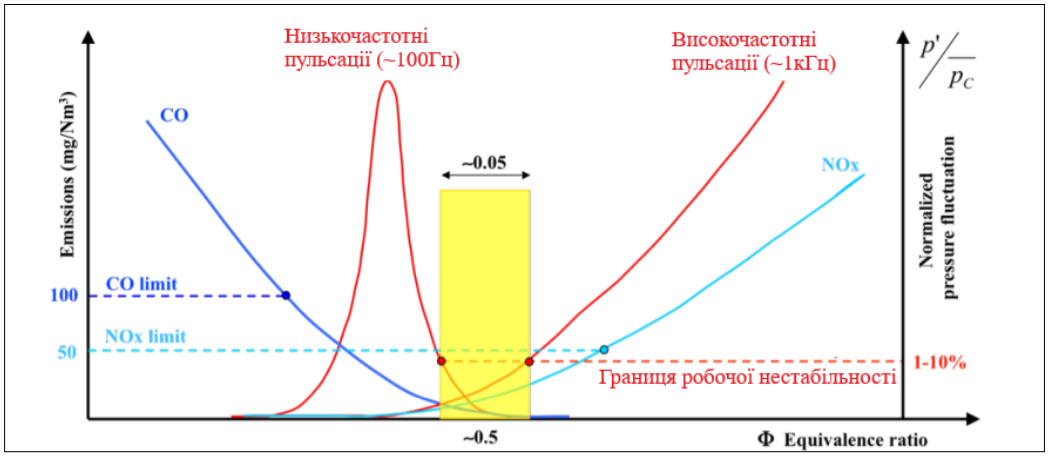


Рисунок 2 – Робочий діапазон роботи камери згоряння з попередній перемішуванням [1]

Зазначимо, що камери з попереднім перемішуванням, що використовують водне в якості палива, як було зазначено вище, мають недолік пов'язаний з виникненням ефекту проскоку полум'я у зону попереднього змішування та збудженням акустичної нестабільності вірогідність яких суттєво збільшується при роботі з високим вмістом водню у паливі [3]. Вплив вмісту подню у паливі на частоту пульсацій у камері згоряння наведено на рис. 3.

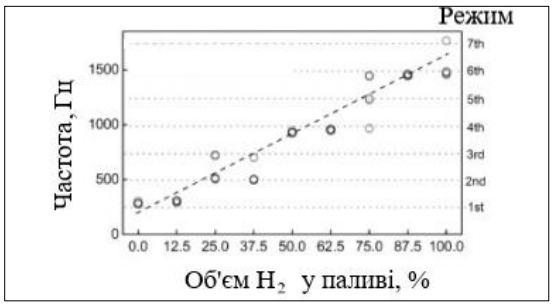


Рисунок 3 – Вплив вмісту водню у паливі на частоти пульсацій у камері згоряння[3]

Підсумовуючи зазначене можна дійти висновку, що задля досягнення синергуючого ефекту від одночасного застосування технології попереднього перемішування та використання водню в якості палива необхідно розв'язати ряд інженерних завдань стосовно ефекту проскоку полум'я та появи термоакустичної нестабільності для досягнення стабільної роботи камери згоряння з низькими викидами забруднювачів та задовільною енергоефективністю.

Література

[1] Cecere D., Giacomazzi E., Di Nardo A., Calchetti G. Gas turbine combustion technologies for hydrogen blends. *Energies*. 2023. Vol. 16, 6829. P. 1–29. DOI: 10.3390/en16196829.

[2] Beita J., Talibi M., Sadasivuni S., Balachandran R. Thermoacoustic instability considerations for high hydrogen combustion in lean premixed gas turbine combustors: a review. *Hydrogen*. 2021. Vol. 2, № 1. P. 33–57. DOI: 10.3390/hydrogen2010003.

[3] Yoon J., Joo S., Kim J., Lee M. C., Lee J. G., Yoon Y. Effects of convection time on the high harmonic combustion instability in a partially premixed combustor. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2017. Vol. 36. P. 3753–3761. DOI: 10.1016/j.proci.2016.06.105.

FEATURES OF HYDROGEN FUEL UTILIZATION IN PREMIXED COMBUSTION CHAMBERS

Shmarkov Oleksandr, Oliinyk Serhii
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The decarbonization process in turbomachinery aimed at complying with international standards on toxic emissions may involve a combination of various pollutant reduction methods. Converting a lean premixed combustor to hydrogen-enriched fuel or pure hydrogen is associated not only with the reduction of nitrogen oxide and carbon oxide emissions, but also with the emergence of technical challenges arising from the differences in physical and chemical properties between hydrogen and traditional hydrocarbon fuels.

Keywords: gas turbine engine; green energy; hydrogen; combustion chamber; environmental indicators; alternative fuels.

УДК 621.43

АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМІННИКА В СУДНОВІЙ ORC-СИСТЕМІ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА

Александровська Н.І.,
Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна
e-mail: a.nadegda@gmail.com

Анотація. Оцінено доцільність внутрішньої регенерації в судновій ORC-системі утилізації теплоти води сорочки охолодження головного двигуна. Порівняно базову та регенеративну схеми модуля Hydrocurrent ORC 125EJW з R245fa для суднового двигуна потужністю 13,76 МВт з урахуванням обмеження електричної потужності 125 кВт. Встановлено, що за 100 % MCR (навантаження) регенерація підвищує ККД, але практично не збільшує електричну потужність; за 50 і 30 % MCR її ефект проявляється при підвищенні температури забортної води. Доцільність регенератора визначається спільним впливом навантаження двигуна, умов конденсації та номінальної потужності ORC-модуля.

Ключові слова: органічний цикл Ренкіна, регенеративний теплообмінник, утилізація скидної теплоти, судновий головний двигун, часткове навантаження, номінальна потужність.

Вода сорочки охолодження (JCW) суднового головного двигуна є стабільним джерелом низькопотенційної теплоти для ORC систем (систем на основі Органічного циклу Ренкіна). Для двигуна 8G50ME-C10.7 потужністю 13,76 МВт теплове навантаження охолоджувача JCW за повного навантаження становить близько 2,2–2,3 МВт при температурі води на виході з двигуна 80–90 °C. Внутрішня регенерація дає змогу використати перегрів пари після турбіни для підігріву рідини перед випарником і підвищити ККД циклу. Проте для суднової установки приріст ККД може не переходити у приріст електричної потужності, якщо роботу обмежує номінальна потужність турбогенератора.

Метою роботи є визначення режимів, за яких рекуперативний теплообмінник забезпечує практичний енергетичний ефект. За прототип прийнято Hydrocurrent ORC 125EJW номінальною потужністю 125 кВт з R245fa, інтегрований з JCW-контуром двигуна 8G50ME-C10.7. Порівнювали базову схему та схему з регенератором. Розглядали температуру забортної води 2–30 °C, температуру JCW 85 °C, її зниження у системі прийняте рівним 15 K. Ураховано позарозрахункову зміну ізоентропного ККД турбіни. При перевищенні 125 кВт витрату робочої речовини зменшували до виконання обмеження потужності [1, 2].

Система з регенеративним теплообмінником має вищий ККД (термодинамічний циклу та повний ККД системи) у всьому дослідженому діапазоні. Водночас температура кипіння R245fa у схемі з регенеративним теплообмінником приблизно на 1 K нижча, порівняно з традиційною схемою, через пінч-обмеження в регенераторі. Отже, позитивний ефект внутрішнього теплообміну частково компенсується зниженням температурного рівня циклу.

За 100 % максимального тривалого навантаження (MCR) обидві схеми практично в усьому діапазоні температур забортної води працюють з обмеженням 125 кВт, тому регенерація не збільшує фактичний

вихід електроенергії. За 50 % MCR обмеження на вихідну потужність зберігається при низьким температурах забортної води. Доцільність регенерації проявляється за високих навколишніх температур. За 30 % MCR доступна теплота JCW є визначальним фактором майже в усьому діапазоні, і різниця між схемами зростає. На рис. 1 показано, що при температурі забортної води 30 °C для 50 % MCR вихідна потужність збільшується приблизно з 95 до 100 кВт (≈ 5 %), а для 30 % MCR – з 70 до 75 кВт (≈ 7 %).

Рисунок показує основний результат: регенерація дає практичний виграш після виходу ORC-модуля з режиму номінального обмеження. Річний розрахунок за профілями навантаження головного двигуна також показав, що при температурах забортної води 2 і 18 °C кількість річної виробленої електроенергії відрізняється незначно. Помітніша різниця виникає при високих температурах забортної 25–30 °C.

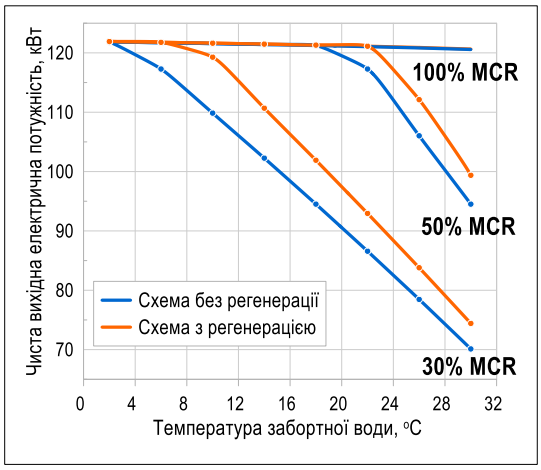


Рисунок 1 – Чиста електрична потужність суднової ORC системи залежно від температури забортної води та навантаження головного двигуна

Для схеми з регенерацією при температурі забортної води 18 °C потенціал перетворення енергії первинного палива, завдяки утилізації теплоти, на електроенергію досягає близько 2 %.

Отримані результати важливі й для вибору номінальної потужності ORC. Для розглянутого двигуна модуль 125 кВт є недостатнім при роботі поблизу 100 % MCR, близьким до раціонального при переважній роботі близько 50 % MCR та частково завищеним для профілю з домінуванням навантажень близько 30 % MCR. Тому регенератор слід вибирати разом із номінальною потужністю ORC з урахуванням реального профілю роботи судна.

Гідравлічні втрати в регенераторі в наведеному розрахунку окремо не моделювалися, тому отриманий приріст характеризує термодинамічний потенціал. У практичному проєкті його необхідно зіставляти з падінням тиску, додатковими масою та габаритами теплообмінника і доступною часткою теплоти JCW. Таким чином, при 100 % MCR регенерація практично не впливає на фактичну електричну потужність через обмеження 125 кВт; при 50 % MCR її ефект проявляється переважно за температури забортної води понад 20 °C, а при 30 % MCR – у значній частині робочого діапазону.

Література

[1] Aleksandrovska N., Khliyeva O., Shestopalov K., Hlek Y., Varbanets R. Impact of rated power limitation and ship operational profiles on marine ORC system performance. Ocean Engineering. 2026. Vol. 364. 126923. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2026.126923.

[2] Sellers C. Field operation of a 125 kW ORC with ship engine jacket water. Energy Procedia. 2017. Vol. 129. P. 495–502. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.168.

FEASIBILITY OF A RECUPERATIVE HEAT EXCHANGER IN A MARINE ORC SYSTEM FOR ENGINE-COOLING HEAT RECOVERY

Aleksandrovska Nadiia

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. Internal recuperation was assessed for a 125 kW R245fa marine ORC recovering main-engine jacket-water heat. At 100 % MCR, the rated-power limit suppresses any practical power gain, whereas at 50–30 % MCR the benefit appears as seawater temperature rises. Recuperator selection should therefore account for ORC rated power and the ship operating profile.

Keywords: organic Rankine cycle, recuperative heat exchanger, waste heat recovery, marine main engine, rated-power limitation.

СЕКЦІЯ 4. ХОЛОД В ЕНЕРГЕТИЦІ, ПРОМИСЛОВОСТІ

UDC 621.57

INNOVATIVE VARIABLE REFRIGERANT FLOW (VRF) SYSTEMS AND THEIR RATIONAL DESIGNING TO FORECAST ON SITE OPERATION

Trushliakov E.,
Dr. Science, Prof.
rektor@nuos.edu.ua
Radchenko, A.,
Cand. Techn. Science, Ass. Prof.
andrad1978@gmail.com
Radchenko, M.,
Dr. Science, Prof.
nirad50@gmail.com
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

The application of variable refrigerant flow (VRF) systems with speed regulated compressors (SRC) is considered as the most advanced trend in air conditioning systems (ACS) due to ability of SRC to cover changeable thermal loads with a high efficiency. Herewith, all the range of changeable loads is supposed to be set off by SRC entirely. However, to confirm this, the load range behind the regulated load range should be considered as the object for analyses to estimate the efficiency of SRC operation and VRF system performance as the whole. For this purpose the load regulated level of SRC has been compared with a level of loading the last one. The approach of dividing the overall thermal load range of outdoor air conditioning into the ranges with changeable and unchangeable loads to be compared with load regulated level of SRC are used. Issuing from this approach the method of rational designing and shearing design refrigeration capacity in response to current loading, based on the principle of two-stage conditioning, is extended through defining load level of the sheared ranges by imposing the load regulated level of SRC to estimate the efficiency of SRC performance. In dependence of the ratio between the available range of unchangeable load with a range of load range behind the regulated load limited by load regulated level of SRC, the conclusion concerning adequate load regulated level of SRC has been made. The innovative criteria and indicators for rational shearing the load ranges to match current duties and load level evaluation enable to reveal the reserves for improving the efficiency of SRC operation and of ACS of VRF type as the whole. The peculiarities of changes in required level of refrigeration capacity regulation by SRC and a method to reveal them are developed.

Keywords: refrigeration capacity, load regulated level, load level, load range.

Introduction. One of the preferable reserves for enhancing energy efficiency of ACS consists in operation of refrigeration compressor in nominal modes closed to design load and its rational distribution according to load change in actual climatic conditions. Generally, the overall range of current thermal loads of ACS involves the range of changeable thermal loads according to the parameters of incoming outdoor air and a relatively unchangeable share for further air conditioning with decreasing cooled air temperature from a definite threshold temperature to the set value [1].

It is preferable that a stable range of thermal load is off set when operating a conventional compressor in a mode closed to the nominal value, while preconditioning of outdoor air with significant fluctuations in load requires regulation of refrigeration capacity by using a SRC. The load regulated level (LRL) of SRC must be consistent with the ranges with different behavior of load change.

The VRF systems of combined type include outdoor and indoor subsystems. The first subsystem is focused to treat the outdoor air to compensate changeable thermal loads to avoid overloading the indoor subsystems.

Despite a widespread application of SRC, their load regulated levels (LRL) rarely correspond to the required values and should be adopted to actual outer loading in site climatic conditions. Otherwise, the performance of SRC compressor will be inefficient. This needs a development of ACS designing methodology focused to matching a load regulation level of SRC compressor to climatic conditions. It is preferably to forecast the phenomenological basis of load distribution at designing stage. This might be achieved due to determining a rational value of design load that enables to minimize its deviation from current duties.

The aim of the research is to develop the approaches and method for determining the conditions for effective regulation of refrigeration capacity and efficient operation of SRC accordingly, based on the current refrigeration consumption, through shearing the overall range of loading in the relevant ranges for its regulation: ranges of refrigeration capacity regulation and without its regulation.

The results. The new approach of dividing the overall load range of ACS into changeable and relatively unchangeable load ranges at corresponding threshold temperature according has been accepted to the realize the principle of two-stage air conditioning [1–4].

Therefore the changeable thermal load range is chosen as the object for energy saving by recuperating the excessive refrigeration generated at lowered loading to compensate for the increased loads thereby matching actual duties.

The booster thermal loads for precooling outdoor air to the threshold temperature is used for determining the required value of LRL matching actual site climatic conditions. Thus, the ratio of the rest booster thermal load to the total design load as LRL is determined by the level of loading a relatively stabile basic load.

Issuing from the above a new methodological approach through comparing the range of a practically stable thermal load with the range below the regulated load by SRC compressor is developed to assess the efficiency of SRC operation.

The level of loading (LL) as relative value of the consumed refrigeration to the available one (according to design value) is applied as indicator for estimation of the operation efficiency of RSC and ACS as result.

Herewith a range of a stable thermal load corresponds to conditioning air from a threshold temperature to a target value and the ratio between the ranges of a basic stable thermal load and below the regulated load is, in reality, the level of loading the unregulated range LL.

Thus, the level of loading a relatively stabile basic load can be considered as an indicator for estimating the performance efficiency of SRC in ACS as well as for determining the requested value of LRL in actual climatic conditions.

Furthermore, this indicator makes it possible to reveal the peculiarities of the threshold and target temperatures influence on LRL [1]. So, the lower a threshold temperature, the less effective operation of SRC compressors, because of less loading the unregulated load range, id est. more excess of the installed refrigeration capacity of the SRC compressor.

The latter requires increasd value of LRL or the use of excessive refrigeration energy to cover peaked loads and to reduce the range of changeable loads matching the LRL of SRC compressor.

The most efficient operation of RSC takes place when the LL = 1.0, id est. when the both ranges of stable thermal load and below the regulated load converge.

The validity of methodology is justified by coincidence of the summarized and current values of LRL as well as of the LL for the range without regulation [1].

It is shown that for temperate climatic conditions the required LRL is about 0.5 for refrigeration recuperation against 0.7 without refrigeration recuperation [3].

Conclusions. The main advantages of the innovative design methodology consist not only in estimation of the efficiency of SRC and ACS as result in real site climatic conditions and in determining the required value of LRL of SRC compressor, but also in revealing the reserves for enhancing the ACS of any type including VRF by using the excessive refrigeration energy determined due to application of the methodology developed.

The principle of sharing the total thermal load on the ACS into the ranges of changeable loads for outdoor air precooling and a relatively stable load range for further processing air are used as a basic one.

The methodology makes it possible to reveal the reserves for enhancing the SRC and the whole VRF systems operation efficiency by recuperation of the refrigeration, reserved at lowered loads, to boost the changeable loads for outdoor air precooling, thereby matching the current refrigeration consumption at reduced capacities installed.

The thermal load stabilization through excessive refrigeration recuperation leads to the narrowed range of changeable loads and reducing the LRL of the SRC.

The recuperation of refrigeration enables to reduce design refrigeration capacity of VRF system with SRC by about 20 to 30 % for temperate climatic conditions [2].

A novel trend in air conditioning by two-stage ambient air processing with unstable and stable thermal loads is proposed as an advanced alternative to VRF [1-3].

The two-stage ambient air processing might be considered as prosperous trend in ACS for in-cycle air condition in combustion engines of different types [5, 6].

References

[1] Radchenko M., Radchenko A., Trushliakov E., Pavlenko A., Radchenko R. Advanced method of variable refrigerant flow (VRF) systems designing to forecast on site operation–Part 1: General approaches and criteria. *Energies.* 2023, 16, 1381. https://doi.org/10.3390/en16031381

[2] Radchenko M., Radchenko A., Trushliakov E., Koshlak H., Radchenko R. Advanced method of variable refrigerant flow (VRF) systems designing to forecast on site operation– Part 2: Phenomenological simulation to recuperate refrigeration energy. *Energies.* 2023, 16, 1922. https://doi.org/10.3390/en16041922

[3]. Radchenko M., Radchenko A., Trushliakov E., Pavlenko A., Radchenko R. Advanced Method of Variable Refrigerant Flow (VRF) System Design to Forecast on Site Operation–Part 3: Optimal Solutions to Minimize Sizes. *Energies.* 2023, 16, 2417. https://doi.org/10.3390/en16052417

[4]. Trushliakov E., Radchenko M., Bohdal T., Radchenko R., Kantor S. An innovative air conditioning system for changeable heat loads. In: Tonkonogyi V. et al. (eds.) ICAMP, InterPartner-2019. LNME, Springer, Cham, 2020, 616–625.

[5]. Radchenko A., Trushliakov E., Kosowski K., Mikielewicz D., Radchenko M. Innovative turbine intake air cooling systems and their rational designing. Energies, 2020, Vol. 13, Issue 23, No. 6201.

[6]. Trushliakov E., Radchenko A., Forduy S., Zubarev A., Hrych A.: Increasing the operation efficiency of air conditioning system for integrated power plant on the base of its monitoring. In: Nechyporuk M et al. (eds.) ICTME (ICTM 2019). AISC (2020), Springer, Cham, Vol. 1113, 2020, 351–360.

УДК 621.565:621.431

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТРИГЕНЕРАЦІЇ НА БАЗІ ГАЗОПОРШНЕВИХ УСТАНОВОК АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СТРАТИФІКОВАНИМ АКУМУЛЮВАННЯМ ХОЛОДУ ТА ПРИРОДНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

Фордуй С.Г.,
кандидат технічних наук, докторант кафедри кондиціювання та рефрижерації
sforduy@gmail.com
Радченко М.І.,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кондиціювання та рефрижерації
nirad50@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто підвищення еколого-енергетичної ефективності газопоршневих установок (ГПУ) автономного енергопостачання харчового підприємства, що працюють у режимі тригенерації з абсорбційними бромистолітієвими холодильними машинами (АБХМ), шляхом стратифікованого акумулювання холоду та природного охолодження (фрікулінгу) градирнями АБХМ у холодний період року. На прикладі заводу соків і напоїв (м. Миколаїв) побудовано ієрархію імітаційних моделей – від проєктної спекотної доби до цілорічної погодинної (8760 год) зі стохастичним навантаженням шести технологічних ліній. Встановлено, що інтегроване керування «фрікулінг – АБХМ – акумулятор – механічні чилери» знижує річне електроспоживання на холодопостачання на 54,6 %, а пікову електричну потужність – приблизно на третину. Визначено пороги фрікулінгу за температурою мокрого термометра та техніко-економічно раціональну ємність акумулятора холоду.

Ключові слова: газопоршнева установка, тригенерація, абсорбційна холодильна машина, стратифіковане акумулювання холоду, природне охолодження (фрікулінг), градирня, еколого-енергетична ефективність.

Вступ. Для післявоєнного відновлення промисловості України важливим є автономне енергопостачання підприємств на базі ГПУ, у харчових виробництвах – з утилізацією теплоти двигунів в АБХМ (тригенерація). Ефективність механічних чилерів погіршується з підвищенням температури повітря: COP зменшується з 3,67 за 28,3 °C до 2,18 за 46,6 °C [1], тобто саме тоді, коли потреба в холоді максимальна. АБХМ на скидній теплоті ГПУ, зокрема для охолодження циклового повітря, підвищують паливну ефективність двигунів [2, 3], проте цінність тригенерації обмежується невідповідністю в часі між виробленням теплоти, потребою в холоді та піками технологічного навантаження, а градирні АБХМ у холодний період простоюють. Продовжуючи дослідження термостабілізації інтегрованих енергосистем [4, 5], пропонується узгоджувати вироблення і споживання холоду стратифікованим акумулятором та використовувати фрікулінг градирнями АБХМ.

Метою роботи є кількісна оцінка ефекту стратифікованого акумулювання холоду та фрікулінгу градирнями АБХМ для системи холодопостачання підприємства з ГПУ автономного енергопостачання та визначення раціональної ємності акумулятора.

Виклад основного матеріалу

1. Об’єкт дослідження. Енергоцентр заводу соків і напоїв (м. Миколаїв) включає чотири ГПУ Jenbacher JMS 420 GS-N.L (гаряча вода 90/70 °C, близько 1,5 МВт теплоти кожна), АБХМ AR-D500L2 (2000 кВт) та AR-D270L2 (800 кВт) з градирнями EVAPCO, механічні чилери та три стратифіковані баки-акумулятори по 5 м³ з температурою холодоносія 5–7 °C. Технологічне навантаження формують шість ліній пастеризації, що працюють циклами «виробництво 18–24 год – безрозбірне миття – стерилізаційний пуск»; під час пуску рекуперація не працює і потреба лінії в холоді зростає вдвічі.

2. Методика. Розроблено зв’язану тепло-електричну модель системи «акумулятор – АБХМ – механічні чилери – градирні». COP механічних чилерів задано функцією температури повітря, каліброваною за даними [1]; акумулятор описано одновимірною моделлю стратифікованого бака; градирні – моделлю ефективності (ε = 0,666 за паспортними даними); температуру мокрого термометра визначено за [6]. Стохастичність навантаження і погоди відтворено відтворюваним методом Монте-Карло (авторегресійні збурення ±20 %). Пріоритет покриття навантаження: фрікулінг → АБХМ → акумулятор → механічні чилери. Горизонти: проєктна доба, тиждень (крок 15 хв) і рік (8760 год).

3. Енергетичні результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Ефект акумулювання холоду та фрікулінгу порівняно з роботою лише механічних чилерів

Горизонт і режим	Зниження електроспоживання	Зниження пікової потужності
Проєктна спекотна доба, АБХМ + акумулятор	56 %	30 %
Стохастичний тиждень, шість ліній	47,7 %	41 %
Типовий січневий тиждень, фрікулінг	78 %	0,55 → 0,09 МВт
Рік, 8760 год, інтегроване керування	3886 → 1765 МВт·год (54,6 %)	1,11 → 0,75 МВт

Отримано аналітичні пороги фрікулінгу за температурою мокрого термометра: 7,0 °C для прямого охолодження технологічної води до 12 °C та 3,5 °C для заряджання акумулятора до 8 °C. Поріг 7,0 °C узгоджується з незалежною умовою постачальника обладнання $t \le 6{,}7$ °C. У річному балансі холоду фрікулінг покриває 39,9 %, АБХМ – 23,6 %, механічні чилери – 35,9 %, безпосередньо акумулятор – лише 0,7 %.

4. Роль і раціональна ємність акумулятора. Акумулятор зрізає піки пускових стерилізацій, зменшує дефіцит покриття навантаження з 1,5 до 0,1 % і є резервом потужності. Енергетичний оптимум ємності становить близько 40 % добового навантаження, що зсувається в часі, що відтворює результат [1] (не більше 50 %) і підтверджується градусо-годинним індикатором [7] (раціональне значення 30 %). Техніко-економічна оптимізація 400 конфігурацій «ємність акумулятора × парк градирень» за 15-річним грошовим потоком дала оптимум: 29 м³ акумуляції, один пластинчастий теплообмінник 1500 кВт з парою градирень для фрікулінгу та скорочення парку механічних чилерів з 5,0 до 3,5 МВт (IRR 58,8 %, окупність 1,8–2,0 року).

5. Еколого-енергетичний ефект для ГПУ. Зменшення річного електроспоживання на 2,12 ГВт·год за середнього коефіцієнта емісії мережі 0,333 т CO_2/(МВт·год) [8] відповідає скороченню викидів близько 0,7 тис. т CO_2 на рік. В автономному режимі зниження пікового електричного навантаження холодопостачання з 1,11 до 0,75 МВт вивільняє близько 0,36 МВт електричної потужності ГПУ. Акумулятор розв’язує в часі вироблення холоду АБХМ і його споживання, що створює передумови для стабілізації теплового навантаження контуру гарячої води ГПУ, температура зворотної води в якому обмежена виробником значенням 70 °C.

Висновки

1. Акумулювання холоду і фрікулінг у складі тригенерації на базі ГПУ зменшують річне електроспоживання на холодопостачання на 54,6 %, а пікову електричну потужність – з 1,11 до 0,75 МВт.
2. Градирні АБХМ у холодний період забезпечують фрікулінг за температури мокрого термометра до 7,0 °C і покривають близько 40 % річної потреби в холоді.
3. Основна цінність акумулятора – потужнісна (зрізання піків, резерв), а не енергетична; техніко-економічно раціональна ємність 29 м³ дозволяє скоротити парк механічних чилерів з 5,0 до 3,5 МВт.

Література

[1] Choi S.-G., Park D.-Y., Choi D.-S., Jung Y.-H. Performance analysis of thermal energy storage tanks and chillers for optimizing cooling efficiency in smart greenhouses in hot and arid climates. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. P. 11136.

[2] Radchenko A., Radchenko M., Konovalov A., Zubarev A. Increasing electrical power output and fuel efficiency of gas engines in integrated energy system by absorption chiller scavenge air cooling on the base of monitoring data treatment. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 70. P. 03011.

[3] Radchenko A., Trushliakov E., Kosowski K., Mikielewicz D., Radchenko M. Innovative turbine intake air cooling systems and their rational designing. *Energies*. 2020. Vol. 13. P. 6201.

[4] Wen, H.; Radchenko, A.; Radchenko, R.; Radchenko, M.; Fordui, S.; Zubarev, A.; Pavlenko, A,; Sichko, V. Thermal stabilization as a key to sustainable operation of combustion engines and power plants–Part 1: A case study in integrated energy system, general approaches, hypothesis and criteria. *Energies* 2026, 19, 2369. https://doi.org/10.3390/en19102369

[5] Liu, Y., Radchenko, A., Zheng, F., Radchenko, R., Radchenko, M., Zubarev, A., Forduy, S. Thermal Stabilization as a Key to Sustainable Operation of Combustion Engines and Power Plants–Part 2: Thermal Stabilization of IES Due to Advanced Intake Air Cooling and Heat Recovery Assessed by Appropriate Criteria. Energies, 19 (17), 4221. https://doi.org/10.3390/en19174221

[6] Stull R. Wet-bulb temperature from relative humidity and air temperature. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2011. Vol. 50. P. 2267–2269.

[7] Radchenko A., Radchenko M., Mikielewicz D., Radchenko R., Andreev A. A novel degree-hour method for rational design loading. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2022. DOI: 10.1177/09576509221135659.

[8] GHG emission factors for electricity generation and consumption in Ukraine / DiXi Group, Green Transition Office. Kyiv, 2020.

IMPROVING THE ECOLOGICAL AND ENERGY EFFICIENCY OF A TRIGENERATION SYSTEM BASED ON GAS ENGINE UNITS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY BY STRATIFIED COLD STORAGE AND FREE COOLING

Fordui Serhiy, Radchenko Mykola

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Stratified cold storage and free cooling with idle absorption chiller cooling towers are considered as means of improving the ecological and energy efficiency of gas engine units for autonomous trigeneration supply of a food plant. Simulation models from a hot design day to a year-round hourly model with stochastic load of six production lines are built for a juice and beverage plant in Mykolaiv. Integrated control in the order free cooling – absorption chillers – storage – mechanical chillers is shown to reduce annual electricity use for cooling by 54.6 % and peak electrical demand by about one third. Wet-bulb thresholds of free cooling and a techno-economically rational cold storage volume are determined.

Keywords: gas engine unit, trigeneration, absorption chiller, stratified cold storage, free cooling, cooling tower, ecological and energy efficiency.

UDC 629.5.06

COMPARATIVE ANALYSIS OF TURBULENCE MODELS FOR CFD SIMULATION OF AIRFLOWS IN SHIP COMPARTMENTS

Kobalava H.,
PhD, Head of the Thermal Engineering Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine
halyna.kobalava@nuos.edu.ua

Abstract. The paper presents a comparative numerical study of turbulence closure models for predicting 3D airflows and thermal patterns in ship compartments with internal obstacles. Using CFD techniques in ANSYS Fluent, the performance of the Standard k-ε model and the Shear Stress Transport (SST) k-ω model was evaluated under tropical navigation conditions. The analysis focuses on supply air jet decay, the Coanda effect along the ceiling, and flow separation around internal structures. The results demonstrate that the k-ω SST model effectively resolves boundary layers and prevents excessive turbulent dissipation, providing higher accuracy for evaluating microclimate uniformity and HVAC energy efficiency.

Keywords: CFD Simulation, Turbulence Models, Standard k-ε, k-ω SST, Ship Ventilation, Air Distribution.

Air conditioning and ventilation systems are key elements of ship life-support, ensuring comfortable conditions for the crew and proper operation of onboard equipment. Marine operating conditions, characterized by limited compartment volume, high ambient temperatures, and internal equipment obstructions, pose significant challenges for designing uniform air distribution systems. Traditional calculation methods do not allow for accurate consideration of complex room geometries and flow interactions. Therefore, the choice of an appropriate turbulence model in numerical simulations (CFD) is critical for accurately capturing jet throw, boundary layer behavior, and stagnant thermal zones [1].

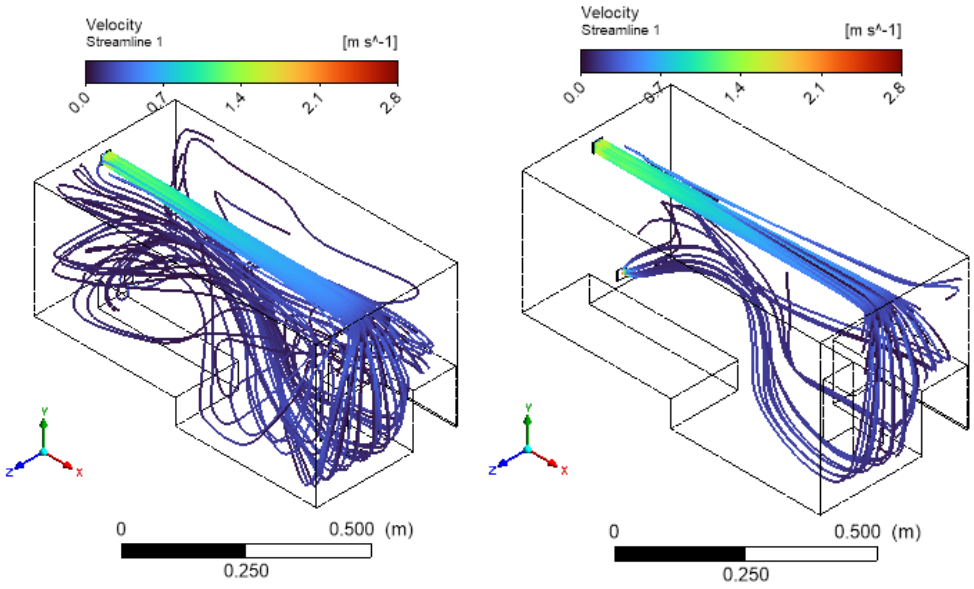
The aim of this study is to perform a comparative analysis between two-equation turbulence models, Standard k-ε and k-ω SST, in modeling 3D airflows and heat transfer within a ship cabin (4×3×2. m) containing internal obstacles.

Numerical simulations were carried out in ANSYS Fluent using the finite volume method. Air is supplied at a velocity of 2. m/s and temperature of 293 K (20 °C).

The results show that both models successfully capture the Coanda effect, where the supply air jet attaches to the ceiling surface. However, significant physical discrepancies were identified in flow structure representation: the Standard k-ε model overpredicts turbulent eddy viscosity in the core jet region, causing rapid velocity decay, artificial isotropic mixing, and overly diffuse recirculation loops that artificially smooth out local velocity gradients around obstacles, whereas the k-ω SST model accurately accounts for the transport of principal turbulent shear stresses, maintaining high-velocity jet momentum ($V > 2.$ m/s) over a longer distance and capturing flow separation as well as secondary vortex formation behind internal furniture with superior fidelity.

Thermal distribution analysis indicates an average working zone temperature of 296.5–297.5 K. However, k-ω SST reveals localized stagnant zones ($V < 0.$ m/s) with elevated temperatures up to 297.8 K behind lower obstacles, which are underestimated by the Standard k-ε approach (Fig. 1).

Correct selection of the turbulence closure model directly impacts the optimization of air supply angles and velocities (1.2–1. m/s), enabling up to 8–12 % energy savings through precise air distribution without additional refrigeration load.



(a) (b)

Fig. 1. Velocity streamline of the airflow: (a) Standard k-ε model; (b) k-ω SST model

Conclusion

CFD modeling is an effective tool for analyzing airflows, but model selection significantly affects physical accuracy. The k-ω SST model is proved to be superior to the Standard k-ε model for marine HVAC applications involving wall-bounded jets and obstacle-driven flow separation. These findings provide an essential methodological basis for developing accurate Reduced-Order Models (ROM) and digital twins for intelligent ship energy management systems.

References

[1] Park, S., Kim, M., Seo, J., Choi, S. Numerical study on the internal ventilation of the engine room of a ship under construction. Alexandria Engineering Journal, Vol. 100, P. 232–245. 2024. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.05.031

[2] Nugroho, A., Widodo, WA., Suryo, IB., Numerical study of engine room air ventilation systems for landing ship tank class warships in supporting crew comfort and safety. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1423 0120042024. 2024. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1423/1/012004

[3] Salmani A., Hosseini SF., Khani H. Modelling heat transfer and fluid flow in a ship engine room using CFD analysis to evaluate and improve ventilation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment. Vol. 237 (2), pp. 420-435. 2022.

UDC 620.92:681.518

AUTOMATED HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON HOME ASSISTANT FOR A RESIDENTIAL BUILDING WITH A SOLAR POWER PLANT UNDER FREQUENT POWER OUTAGES

Kobalava H.,
PhD, Head of the Thermal Engineering Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine
halyna.kobalava@nuos.edu.ua
Kobalava H.,
Student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine
kobalavahuram@gmail.com

Abstract. This paper highlights the development and implementation of a home energy management system for a 12 m^2 residential building based on the Home Assistant platform. The advantages of local data processing platforms and the design of a hardware architecture utilizing Zigbee 3.0 and ESPHome protocols are substantiated. Control algorithms for the priority power supply of critical loads (lighting, CCTV cameras, refrigerator) and the discrete redirection of surplus solar photovoltaic generation to secondary needs (water heater, air conditioning) following storage battery charging are described. The system was tested and implemented under conditions of frequent and prolonged power outages in a frontline area.

Keywords: Home Assistant, Solar Power Plant, Energy Management, Renewable Energy Sources, Energy Efficiency.

The transformation of the energy sector is turning private households into active prosumers. For facilities equipped with hybrid solar photovoltaic systems and battery energy storage systems (BESS), the absence of automated control leads to reduced generation efficiency, as solar irradiance peaks do not coincide with consumption peaks. This issue is particularly acute in regions with a high risk of energy infrastructure damage and frequent power supply disruptions.

The aim of this study is to develop, simulate, and implement a comprehensive intelligent home energy management system for a residential building based on the Home Assistant platform to achieve maximum energy independence and optimize consumption under severe grid power deficit conditions.

An analysis of platforms (Google Home, Xiaomi Mi Home) revealed their dependency on cloud servers, a lack of flexibility, and limited support for industrial protocols. Conversely, the open-source Home Assistant system implements the Local-first principle, ensuring data processing autonomy and a high level of cybersecurity [1].

The server core is built on a quad-core Intel N100 processor with 16 GB RAM and an NVMe SSD. The communication network integrates the Zigbee 3.0 protocol (using a CC2652P coordinator) for microclimate sensors, Wi-Fi modules running ESPHome for relays, and a Bluetooth Proxy based on ESP32 [2, 3]. Monitoring and control of the inverter state are implemented using power voltage relays and Zigbee 3.0 smart relays. The system includes a solar inverter/charger with a built-in MPPT controller, solar panels with a total capacity of 2.8 kW, and BESS with a capacity of 13 kWh. Physical switching between the external grid and the inverter into autonomous mode is provided by an Automatic Transfer Switch (CNC ATS 63A motor-driven switch). Protection against grid voltage surges is implemented via a PH-125 relay, while selective priority-based load distribution is carried out using Schneider Electric Resi9 circuit breakers. Real-time monitoring and energy flow accounting are realized using Tongou smart relays (Zigbee 3.0). Additionally, cell-level monitoring of the LiFePO4 battery management system (BMS) was implemented to detect voltage imbalance and prevent overheating. The display

shows (Fig. 1) the current monitoring parameters of the LiFePO4 battery pack modules: operating voltage, charge/discharge current, and thermal state. This enables local control and early detection of potential issues.

The core of the development lies in algorithmic energy distribution: priority consumers (night lighting, video surveillance, refrigeration equipment) and battery charging are supplied first. Upon reaching a battery voltage of 27.3 V (fully charged state), surplus solar generation is directed to secondary needs (water heating at 800 W and air conditioning). Adjusting the water heater's consumption to the excess power level is realized via threshold automation using a power relay with a voltage sensor, which prevents deep battery discharge. Network defense is implemented by isolating IoT devices into a virtual local area network (VLAN).



Figure 1 – Local battery monitoring and controller state display

Conclusion. A functional model of a local energy management server based on Home Assistant with zero cloud dependency, capable of operating under frequent grid failures, has been created and tested. Owing to load prioritization algorithms, uninterrupted power supply to critical infrastructure (lighting, cameras, refrigerator) is ensured, while surplus PV generation (2.8 kW) is efficiently stored in the battery (13 kWh) and redirected to high-power secondary consumers (water heater, air conditioning).

References

[1] Home Assistant Energy Management guide. 2025. URL: https://www.home-assistant.io/docs/energy/ (дата звернення: 04.03.2026).

[2] Connectivity Standards Alliance (Zigbee Alliance) : official website. URL: https://csa-iot.org/ (дата звернення: 04.03.2026).

[3] ESPHome: documentation. URL: https://esphome.io/ (дата звернення: 04.03.2026).

UDC 621.577

THERMODYNAMIC AND ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF COMBINED RESIDENTIAL HEATING SYSTEMS

Kobalava H.,
PhD, Head of the Thermal Engineering Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine
halyna.kobalava@nuos.edu.ua
Konovalov D.,
D.Sc, Professor of the Heat Engineering Department,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine
Professor of the Department of Energy and Process Engineering,
Norwegian University of Science and Technology, Norway

Abstract. This study evaluates the energy and thermodynamic efficiency of integrating electric boilers and heat pumps into residential heating systems to capitalize on off-peak nighttime electricity tariffs. Based on a 3-year meteorological dataset (2022–2025) for a 20 m^2 residential building, four heating configurations were modeled using a custom calculation tool. The results show that the combined electric boiler-heat pump system reduces

seasonal electricity consumption to 14,800 kWh compared to 35,000 kWh for an electric-boiler-only setup, achieving a 35–50 % reduction in energy demand and monthly savings of 2,015–4,945 kWh.

Keywords: Combined Heating Systems, Heat Pumps, Electric Boilers, Energy Efficiency.

Global energy resource scarcity and rising natural gas prices necessitate energy-efficient heating solutions in the municipal sector [1]. Nighttime electricity tariffs present a favorable opportunity to balance grid load and lower heating costs by integrating electric heating with traditional boilers, solar collectors, and heat pumps [2, 3].

A computational model was developed to assess the seasonal performance of a 20 m^2 single-story residential house under weather-compensated control. Meteorological data (3-hour interval, 2022–2025) were retrieved from meteomanz.com. The HVAC system comprises a Vitocal 200-S heat pump (15.5 kW), a Vitodens 100-W condensing gas boiler (26 kW), two Vitosol 100-FM solar collectors, a Vitocell 300 L water heater, and a Vitotron 100 electric boiler (30 kW) with 10–100 % power modulation [4].

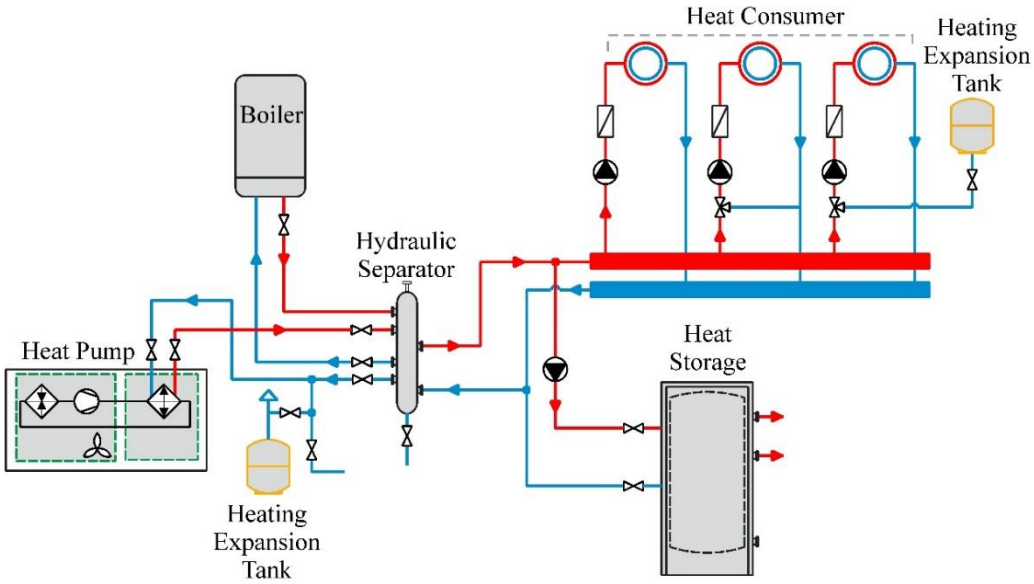


Figure 1 – Schematic diagram of the combined heat pump and boiler heating system

Comparative analysis demonstrates significant differences in electrical loads across the operational schemes: operating the electric boiler alone requires N_{eb} = 5–23 kW with a total seasonal consumption of ΣN_{eb} = 35,000 kWh, whereas the combined scheme (electric boiler + heat pump) maintains a nearly constant compressor load of N_{hp} = 4.0–5.0 kW alongside episodic boiler operation for peak coverage, effectively reducing the total peak electrical load to $N_{eb.hp+hp}$ = 4.0–17.0 kW.

Seasonal energy breakdown for the combined scheme yields ΣN_{hp} = 14,500 kWh (heat pump) and $\Sigma N_{eb.hp}$ = 300 kWh (electric boiler), giving a total seasonal demand of $\Sigma N_{eb.hp+hp}$ = 14,800 kWh. Monthly electricity savings reach 2,015–4,945 kWh compared to the baseline scheme.

Conclusion. Integrating a heat pump with an electric boiler under weather-compensated control reduces seasonal electrical energy consumption by 35–50 % (15,000–17,000 kWh) compared to mono-electric heating. This technical solution significantly reduces peak grid loads and optimizes heating costs under variable tariff structures.

References

[1] Mahmood, N., Wang, Z., Hassan, S.T.: Renewable energy, economic growth, human capital, and CO2 emission: an empirical analysis. *Environ Sci Pollut Res Int.* 26 (20), 20619−20630 (2019). DOI: 10.1007/s11356-019-05387-5

[2] Kalinichenko, I., Kornienko, V., Kobalava, H. (2025). Effectiveness Evaluation of Using a Ship Alternative Heat Pump Steam Generating Unit. In: Lytvynov, O., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2024. ICTM 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1474. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-94852-7_15

[3] European Commission, Joint Research Centre, Miranda Barbosa, E., Peteves, E., Vázquez Hernández, C. EU coal regions – Opportunities and challenges ahead, Publications Office (2018). https://data.europa.eu/doi/10.2760/064809, last accessed 2023/01/15

[4] Konovalov, D., Kobalava, H., Radchenko, M., Karpoff, M., Shapovalov, Y. (2024). Energy Efficiency of Combined Heating Systems Based on Heat Pumps for Private Residential Buildings Under the Climatic Conditions of Ukraine. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_49

УДК 662.9

КОМПЛЕКСНА ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛА ЦЕ ШЛЯХ ДО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОБЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

Димо Б.В.,
кандидат технічних наук, професор
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна ,
borys.dymo@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто комплексну термомодернізацію багатоквартирного житлового фонду України як один із основних напрямів підвищення енергоефективності та енергетичної безпеки держави. Проаналізовано основні технічні заходи та сучасні державні, муніципальні й міжнародні програми термомодернізації, зокрема «ЕнергоДІМ», «ВідновиДІМ», «ГрінДІМ», «Теплий Миколаїв» та проєкти за підтримки міжнародних фінансових організацій, а також наведено приклади їх реалізації у місті Миколаєві.

Ключові слова. Багатоквартирні будинки, термомодернізація, енергоефективність

Вступна частина. Як відомо, житлово-комунальне господарство України є енерговитратним. Одним із дієвих шляхів підвищення енергоефективності цієї галузі є термомодернізація старого житлового фонду. За даними [1] житловий фонд України складав на 2020 р. 1014, млн м² та на 93 % побудований до 2000 року, а частка житла до 1980 року складає до 80 %. Термомодернізація такого житла в сучасних умовах і є майже єдиним засобом продовження життевого циклу на 20-30 років та значно скоротити витрати енергії на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання [2].

Мета роботи. Встановити мінімально необхідний комплекс правових та організаційно-технічних заходів щодо інтенсифікації робіт з термомодернізації багатоквартирних будинків в Україні.

Основна частина. Держава виявляє інтерес до проблеми термомодернізації житлового фонду. Розроблена необхідна правова основа такого механізму у вигляді законів, державних стандартів з енергоефективності та енергозбереження, постанов КМУ та НКРЕКП, відомчих наказів міністерств [3, 4]. Все нове житло, що будується в Україні, відповідає сучасним вимогам з енергоефективності. Все ж старе житло в Україні знаходиться у вкрай незадавільненому стані по рівню енергозбереження, що не досягає навіть класу енергоефективності типу С.

В цілому термомодернізація це комплекс заходіи, направлених на підвищення енергоефективності житла. Ці заходи включають в тому числі:

- встановлення індивідуальних теплових пунктів;
- утеплення стін, перекрить дахів та підвалів;
- балансування стояків опалення, заміна та ізоляція трубопроводів;
- встановлення енергоефективних вікон, скління балконів, лоджій;
- модернізація систем вентиляції та встановлення рекуператорів тепла;
- розробка проєктної документації та енергоаудит;
- встановлення сучасних приладів обліку теплової енергії та теплоносіїв;
- встановлення термостатичних клапанів на стояках системи опалення.

На даний час в Україні є чимало прикладів термомодернізації будівель і споруд. Слід зазначити, що зараз термомодернізація суттево відрізняється від процесу, що передував бойовим діям. Якщо раніше основний акцент у термомодернізації робився на зниженні енергоспоживання, то з 2022 р. діючими програмами одночасно вирішуються три основні задачі:

- зниження споживання теплової енергії;
- підвищення стійкості будинків до перебоїв з енергопостачання;
- відновлення будинків, які зазнали пошкоджень внаслідок бойових дій.

Фактично такий процес термомодернізації напрвлений на підвищення енергетичної безпеки України.

Головною програмою комплексної модернізації в державі є программа «ЕнергоДІМ», яка реалізується Фондом Енергоефективності [5]. Вона зоріентована на багатоквартирні будинки під управлінням ОСББ. Фонд компенсує частку витрат (до 70 %) на заходи з термомодернізації житла.

Програма «ВідновиДІМ» призначена для будівель, які зазнали пошкоджень внаслідок бойових дій [6]. За цією програмою заходи з термомодернізації виконуються частково та фінансуються обмежено. Головне, це відновлення житла.

Програма «ГрінДІМ» [7] напряму пов/язана з підвищення енергобезпеки житла в Україні на спрямована на:

– встановлення сонячних електростанцій;
– обладнання для підвищення енергетичної автономності будинків;
– використання акумуляторних систем.

Термомодернізація житла також виконується і за програмами державно-приватного сектору економіки України. В обласних центрах, великих та малих містах України задіяні муніципальні програми підвищення ефективності житлово-комунальної сфери. Так у м. Миколаєві діє муніципальна програма «Теплий Миколаїв». Програма використовується як підтримка ОСББ. В наступний час програма координується міжнародними організаціями. Задіяні і державні програми «ЕнергоДІМ» та «ВідновиДІМ» з часткою муніципального фінансування. Також місто приймає участь у деяких міжнародних проєктах, зокрема:

– DemoUkraineDH – модернізація систем централізованого теплопостачання;
– підвищення енергоефективності в сфері централізованого теплопостачання;
– проєкти при підтримці НЕФКО (NEFCO) та уряду Данії [8].

У Миколаєві є результати дії цих програм, направлених на підвищення енергоефективності та відновлення житла:

– вул. Евгенія Логінова, 50. Встановлено два индивідуальні теплоі пункти (ИТП), модернізована система опаления за програмою «ЕнергоДІМ». Це один із перших закінчених проєктів за обновленою програмою;
– вул. Евгенія Логінова, 44 и 44А. Міська компенсація у рамках програми «Теплий Миколаїв» спільно з державною програмою «ЕнергоДІМ»;
– вул. Південна, 33. Компенсація на энергоэфективні заходи будинку за міською програмою;
– вул. Паркова, 38. Отримано міське софінансування заходів з термомодернізації;
– пров. Першотравневий, 63. Участь в міській програмі підтримки енергоэфективності.

Висновки. Комплексна термомодернізація старого багатоквартирного фонду є одним із ключових шляхів зменшення споживання теплової енергії.

В умовах війни термомодернізація набуває додаткового значення як засіб підвищення енергетичної стійкості та безпеки житлового фонду.

Поєднання державних, муніципальних та міжнародних програм створює можливість прискорити модернізацію, але потребує подальшого вдосконалення механізмів фінансування та залучення співвласників будинків.

Література

[1] Житловий фонд України. Державна статистична служба України. URL: https://www.google.com/search?client=firefox-b-1-d&q= (дата звернення 06.07.2026).

[2] Степаненко І. І. Проблеми та перспективи розвитку енергоефективності в житловому секторі міст України [Електронний ресурс] / І. І. Степаненко. *Ефективна економіка.* 2011, № 11. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2010_11_20

[3] Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22 червня 2017 р. № 2118-VIII / *Голос України*. 2017. № 134. С. 10–12.

[4] Димо Б. В. Дослідження енергоефективності багатоквартирного будинку старої забудови з частково проведеною термомодернізацією. / Б. В. Димо, С. М. Анастасенко, В. В. Голеншин. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв : НУК, 2024. -№ 2 (495). – С. 49-60

[5] Програма підтримки енергомодернізації багатоквартирних будинків «ЕнергоДім». Фонд енергоефективності України. Київ, 2026. 5 с. Режим доступу: https://eefund.org.ua/documents/programa-pidtrymky-energomodernizacziyi-bagatokvartyrnyh-budynkiv-energodim-redakcziya-vid-17-lyutogo-2026-roku/

[6] Програма «ВідновиДім». Фонд енергоефективності України. Київ, 2026. 1 с. Режим доступу: https://eefund.org.ua/documents/programa-vidnovydim-redakcziya-vid-17-02-2026/

[7] Програма «ГрінДім». Фонд енергоефективності України. Київ, 2026. 1 с. Режим доступу: https://eefund.org.ua/documents/programa-grindim-redakcziya-vid-17-02-2026/

[8] Nordic Environment Finance Corporation (NEFCO). URL: https://www.nefco.int/financing/municipalities-in-eastern-europe/green-recovery-ukraine/how-nefco-works-in-ukraine/?utm_source=chatgpt.com. (дата звернення 01.08.2026)

COMPLEX THERMAL MODERNIZATION OF APARTMENT BUILDINGS IS THE WAY TO ENERGY SAVING AND ENERGY SECURITY IN UKRAINE

Dymo B.V.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper considers the comprehensive thermal modernization of the apartment housing stock of Ukraine as one of the main areas of increasing energy efficiency and energy security of the state. The main technical measures and modern state, municipal and international thermal modernization programs are analyzed, in particular "EnergoDIM", "VidnovyDIM", "GreenDIM", "Tepliy Mykolaiv" and projects supported by international financial organizations, and examples of their implementation in the city of Mykolaiv are also provided.

Keywords: Apartment buildings, thermal modernization, energy efficiency.

УДК 662.9

ДО РОЗРОБКИ МЕХАНІЗМУ СПРАВЕДЛИВОГО РОЗПОДІЛУ ВИТРАТ НА ОПАЛЕННЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ В УКРАЇНІ

Димо Б.В.,
кандидат технічних наук, професор
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна, borys.dymo@nuos.edu.ua
Анастасенко С.М.,
кандидат технічних наук, доцент
ТОВ «Мотортєх» м. Первомайськ, Миколаївської обл., Україна
ondi2008@ukr.net

Анотація. У роботі запропоновано підхід до справедливого розподілу витрат на опалення між мешканцями багатоквартирного будинку з урахуванням особливостей розташування квартир та результатів часткової термомодернізації. На основі даних натурного дослідження п'ятиповерхового житлового будинку в м. Миколаєві показано, що застосування комбінованого коефіцієнта розподілу теплової енергії може забезпечити більш обґрунтоване нарахування плати за опалення та стимулювати власників житла до проведення енергоефективних заходів.

Ключові слова. багатоквартирний будинок, термомодернізація, енергоефективність, справедливий розподіл витрат на опалення

Вступна частина. В Україні з початку 2000-х років проводиться робота з підвищення енергоефективності житлово-комунального господарства (ЖКГ). Основою таких робіт є комплексна термомодернізація багатоквартирних будинків та споруд. З початком бойових дій у лютому 2022 року така робота не зупинилась, але її характер змінився більш у напрямку відновлення житла та підвищення його енергетичної стійкості. В Україні використовуються два джерела термомодернізації. По-перше, за розробленими програмами, державними, державно-приватного сектору економіки України, міжнародними, муніципальними, тощо. По-друге, за ініціативою власників житла, або їх невеликих груп. За програмами відбувається комплексна термомодернізація, яка включає всі, або більшість її складових. Власникам житла при проведенні термомодернізації своїх помешкань під силу виконання тільки обмеженої частки робіт. В основному, це ізолювання зовнішніх стін, заміна вікон, скління балконів на лоджій. Можлива заміна опалювальних приладів у квартирах. Рідше встановлення термостатичних клапанів, заміна та ізолювання трубопроводів опалення. Власники житла не в змозі виконати інші ефективні заходи з термомодернізації. Зокрема, ізолювання перекриттів, дахів та підвалів, встановлення індивідуальних теплових пунктів, балансування стояків опалення, модернізація системи вентиляції та інше. Але вважаючи на масовий характер проведення часткової термомодернізації за ініціативою власників житла слід розглядати такий стихійний процес як один із потенціальних шляхів вирішення проблеми підвищення енергоефективності ЖКГ в Україні. Тим більш енергоефективність таких частково виконаних робіт з термомодернізації може складати не менш 40…50 %. В роботі [1] показано, що часткова термомодернізація, яка була виконана на п'ятиповерхому 20-квартирному будинку, що розташований за адресою м. Миколаїв, вул. Генерала Олекси Алмазова, 38, дозволила зменшити рівень споживання теплової енергії на опалення з 120…140 Гкал/рік до значень 95…110 Гкал/рік при практично незмінних температурі параметрах гарячого теплоносія, що подавався у систему опалення. Частка ізольованих ділянок зовнішніх стін будинку складала до 40 %. Значно підвищився комфорт у квартирах, де було проведено ізоляція

зовнішніх стін та встановлені сучасні енергозберігаючі вікна. Температура повітря у приміщеннях підвищилась на 3…4 °С, зникла пліснява на стінах.

Мета роботи. Встановити мінімально необхідний комплекс правових та організаційно-технічних заходів щодо інтенсифікації робіт з термомодернізації багатоквартирних будинків в Україні за рахунок власників житла на основі принципів справедливого розподілу витрат за спожите тепло.

Основна частина. Якщо оглянути багатоквартирні будинки в будь-якому місті України, то за рідким винятком всі будинки мають частково виконану ізоляцію зовнішніх стін. Як правило, таке часткове ізолювання погіршує зовнішній вигляд будинків. Причина в тому, що такі роботи виконуються не одночасно , без будь якого проєкту, із різних матеріалів та технології нанесення та закріплення шарів ізоляції. Найчастіше за все тип штукатурення та колір вибираються на смак власника, без підбору з кольором раніше ізольованих ділянок стін. В багатьох містах України склалась практика, що на проведення таких робіт не видають дозволи, але і не заперечують їх проведенню. Наразі в Україні відсутні дані про обсяг виконаних саморобних робіт. Але за експертними оцінками обсяг може в сотні разів перевищувати все зроблене за офіційними програмами.

Пропозиція авторів полягає у тому, що враховуючи масовий характер та достатню енергоефективність, створити дієві механізми для інтенсифікації таких робіт на основі принципів заохочення та справедливого розподілу витрат за спожите тепло з урахуванням результатів часткової термомодернізації. Держава може взяти на себе розробку типових проєктів ізолювання огороджувальних конструкцій будинків, включаючи технології нанесення покриттів, вибір матеріалів, типи штукатурення та фарбування. Здійснювати часткову компенсацію вартості матеріалів та робіт. Пропонувати підрядні організації, тощо. Також треба внести зміни в порядок розподілу теплової енергії на опалення між споживачами та виробити механізми для справедливого розподілу витрат на теплопостачання з урахуванням проведеної часткової термомодернізації.

Діючою «Методикою розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг» [2] зроблено крок до справедливого розподілу плати за комунальні послуги. Методикою рекомендовано вводити поправочні коефіцієнти для розподілу обсягу спожитої теплової енергії між споживачами. На жаль, методика не вводить якісь правові механізми для справедливого розподілу обсягів споживання, а надає лише рекомендації, які можуть бути враховані власниками житла. Але така проблема все-таки привертає увагу дослідників. Так в роботі [3] запропонована методика урахування як особливості розташування, так і проведення часткової термомодернізації окремих квартир. Методикою передбачається розрахунок комбінованого коефіцієнта $y_к$:

$$y_к = y_р \cdot y_{ут} , \quad (1)$$

де $y_р$ – коефіцієнт розташування, який розраховується на основі даних [2], $y_{ут}$ – коефіцієнт утеплення, який ураховує зменшення тепловтрат внаслідок проведеної часткової термомодернізації за даними [3].

На основі значень комбінованого коефіцієнта розраховується наведена (умовна) площа квартири:

$$F_{нав} = F_{кв} \cdot y_к, \text{ м}^2 \quad (2)$$

Після розрахунку наведеної площі всіх квартир по формулі (2) уточнюється сумарна наведена площа будинку:

$$F_{сум.нав} = \Sigma F_{кв.і} \cdot y_{кв.і}, \text{ м}^2 \quad (3)$$

де і – кількість квартир.

Розрахунок частки наведеної площі квартири у загальному споживанні:

$$x_{кв.і} = F_{нав.і}/F_{сум.нав}, \quad (4)$$

За даними (2) та (4) розраховується нарахування за спожиту теплову енергію:

$$C_{кв.і} = x_{кв.і} \cdot Q_{сум} \cdot g, \text{ грн} \quad (5)$$

де $Q_{сум}$ – споживання теплової енергії за даними теплового лічильника будинку, Гкал, g – тариф на теплову енергію, що постачається до будинку, грн/Гкал.

В таблиці наведені дані розрахунку нарахувань за спожите тепло для другого під'їзду п'ятиповерхового дому, що розміщений за адресою вул, Генерала Олекси Алмазова, б. 38, м. Миколаїв за даною методикою.

Висновки. За результатами використанні методики розподілу спожитої на опалення теплової енергії встановлено, що урахування особливостей розміщення квартир та результатів їх утеплення може до 20 % скорегувати вартість оплати за тепло. Введення такої методики розрахунків може стати потужним стимулом для проведення часткової модернізації за рахунок власників житла.

Таблиця 1 – Результати розрахунку частки спожитої теплової енергії

Поверх	№ квартири	Площа квартири, м^2	Наявність приладу обліку	Коеф. розташування	Коеф. утеплення	Комбінований коеф.	Наведена площа, м^2	Частка споживання
1	11	80,1	-	1,1	1,0	1,1	88,1	0,107/0,115
1	12	70,1	-	1,2	1,0	1,2	84,0	0,093/0,109
2	13	80,1	-	1,0	1,0	1,0	80,1	0,107/0,104
2	14	70,1	-	1,15	1,0	1,15	80,6	0,093/0,105
3	15	80,1	-	1,0	1,0	1,0	80,1	0,107/0,104
3	16	70,1	-	1,15	0,7	0,805	56,4	0,093/0,073
4	17	80,1	-	1,0	1,0	1,0	80,1	0,107/0,104
4	18	70,1	-	1,15	0,8	0,92	64,5	0,093/0,084
5	19	80,1	-	1,1	1,0	1,1	88,1	0,107/0,115
5	20	70,1	-	1,2	0,8	0,96	67,3	0,093/0,087

Література

[1] Димо Б. В. Дослідження енергоефективності багатоквартирного будинку старої забудови з частково проведеною термомодернізацією. / Б. В. Димо, С. М. Анастасенко, В. В. Голеншин. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв : НУК, 2024. -№ 2 (495). С. 49-60

[2] Про затвердження Методики розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг : Наказ Мінрегіонбуду 22.11.2018, № 315. Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1502-18#n15

[3] Дяченко С., Тарадай О. Методика розрахунку плати за теплову енергію в багатоповерховому житловому будинку. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2026, № 5 (2). С. 1–10. doi: 10.46299/j.isjea.20260502.01

TOWARDS THE DEVELOPMENT OF A MECHANISM FOR FAIR DISTRIBUTION OF COSTS FOR HEATING IN APARTMENT BUILDINGS IN UKRAINE

Dymo B.V., Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Anastasenko S.M., Motortech LLC

Abstract. The paper proposes an approach to the fair distribution of heating costs among residents of an apartment building, taking into account the characteristics of the location of the apartments and the results of partial thermal modernization. Based on the data of a field study of a five-story residential building in the city of Mykolaiv, it is shown that the use of a combined thermal energy distribution coefficient can provide a more reasonable calculation of heating fees and stimulate homeowners to carry out energy-efficient measures.

Keywords. Apartment building, thermal modernization, energy efficiency, fair distribution of heating costs

UDC 629.4.048

OPTIMIZATION TWO-STAGE INTAKE AIR COOLING OF A GAS ENGINE USING A COMBINED ABSORPTION-VAPOR COMPRESSION CHILLER SYSTEM OF THE AUTONOMOUS THERMAL POWER PLANT

Hrych A.,
Ph.D., associate professor,
Radchenko A.,
Ph.D., associate professor,
Zubarev A.,
Ph.D., associate professor
Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolayiv, Ukraine

Abstract. Traditional cooling methods that chill all the ambient air entering an engine room are often ineffective due to thermal heat gains within the room, which leads to an increased air temperature at the turbocharger inlet. To resolve this issue, a two-stage cooling system for the gas engine intake air is proposed, combining a lithium-bromide absorption chiller (ACh) and a vapor compression chiller (VCh). Chilled water from the ACh is supplied to the first (high-temperature) stage of the intake air cooler, while the VCh provides additional cooling for the second (low-

temperature) stage. Based on monitoring data from the plant, the proposed hybrid cooling scheme reduces the intake air temperature by 20–25 °C compared to conventional central air conditioning of the engine room. This temperature stabilization results in a specific fuel consumption reduction of 1–2 g/(kW·h) (a 2–3 % decrease) at elevated ambient air temperatures/

Keywords: gas engine, integrated energy system, fuel consumption, air cooling, chiller

Introduction. Most of the known concepts for increasing the efficiency of trigeneration plants are limited to the use of cold heat in the outer cycle of the engine (for external consumers) and therefore cannot realize additional storage by utilizing the heat released from the engine in the operating cycle. If the concept of in-cycle trigeneration is realized, the application area of trigeneration plants will expand as they can be used without sufficient heat or cooling demand.

A conventional method of chilling all the ambient air, coming into the engine room, from were it is sucked by engine turbocharger (TC), is non-effective because of heat influx from surroundings to the air stream sucked, that results in increased air temperature at the inlet of turbocharger and enlarged cooling capacity required for chilling all the ambient air coming into the engine room. The problem of engine cyclic air cooling arises especially actually for increasing ambient air temperature above 25…30 °C.

To solve this problem, a new method of two-stage gas engine intake air cooling using a lithium bromide absorption cooler and an vapor compression chille was proposed to stabilize the intake air temperature even when the outside air temperature rises. In this method, cold water from the absorption lithium bromide refrigerator is used as cooling water for a first hot stage of the engine intake air cooler and boiling refrigerant from the vapor compression chille is used as cooling water for a second cold stage.

Results. The efficiency of cooling air at the inlet of gas engine was investigated for IES of combined energy supply at the factory. The integrated energy system is equipped with 2 cogeneration Jenbacher gas engines JMS 420 GS-N.LC (rated electric power P_{eISO} = 1400 kW, heat power Q_h =1500 kW) and absorption lithium-bromide chiller.

The heath taken away from exhaust gas by waste heat recovery boiler (economizer), from charged gas-air mixture in a high-temperature stage of an intercooler (IC_{HT}), from engine jacket and lubricant oil cooling water in corresponding coolant radiators, is used by absorption chiller for producing a chilled water with temperature of around 11…12°C. Chilled water is used for technological process cooling and by central conditioners for cooling engine room intake air, from where cooled air is sucked by engine turbochargers.

Because of heat influx from the engine room the temperature of engine intake air t_{in} is higher than its value at the outlet of central air conditioner (CAC) t_{AC2}.

Current values of air temperature at the exit from the high-temperature stage AC_{HT} t_{HT2} and low-temperature stage AC_{LT} t_{LT2} of two-stage air cooler, reduction of air temperature in the high-temperature stage AC_{HT} Δt_{HT} and low-temperature stage AC_{LT} Δt_{LT} and full temperature reduction in the air cooler $\Delta t_{AC} = t_{amb} - t_{LT2}$, heat load on the high-temperature stage AC_{HT} $Q_{0.HT}$ and low-temperature stage AC_{LT} $Q_{0.LT}$ and full heat load on the whole air cooler $Q_{0.AC}$, corresponding current reduction of specific fuel consumption due to cooling engine cyclic air in the high-temperature $\Delta b_{e.HT}$ and low-temperature $\Delta b_{e.LT}$ stages and in the whole air cooler Δb_e and the total daily reduction of fuel consumption ΣB_e are presented in Fig. 2 and 3.

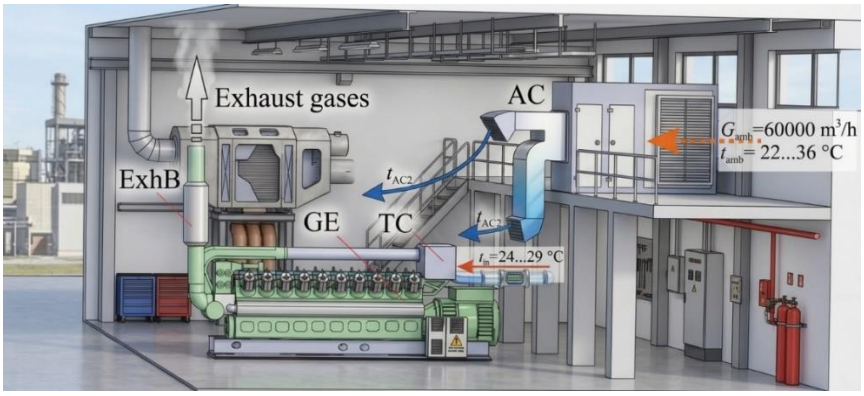


Figure 1 – A typical scheme of gas engine inlet air system with cooling the engine room intake air in the central conditioner by chilled water from the ACh and sucking the chilled air by the engine turbocharger from engine room: ExhB – exhaust heat boiler; GE – gas engine; AC – central air conditioner; TC – turbocharger

A proposed two-stage cooling system of gas engine inlet air by chilled water from the absorption lithium-bromide chiller (ACh) in the first high-temperature stage AC_{HT} of engine inlet air cooler (AC) and refrigerant of chiller (VCh) in the second low-temperature stage AC_{LT} can provide decreasing engine inlet air temperature by

about 20…25 °C compared with a typical scheme of gas engine inlet air system with cooling the engine room intake air in the central conditioner by chilled water from the ACh and sucking the chilled air by the engine turbocharger from engine room, that results in reduction of engine specific fuel consumption by about Δb_e = (1…2) g /(kW·h), i.e. about 2…3 % decrease in specific fuel consumption at increased ambient air temperatures t_{amb} = 30…35 °C.

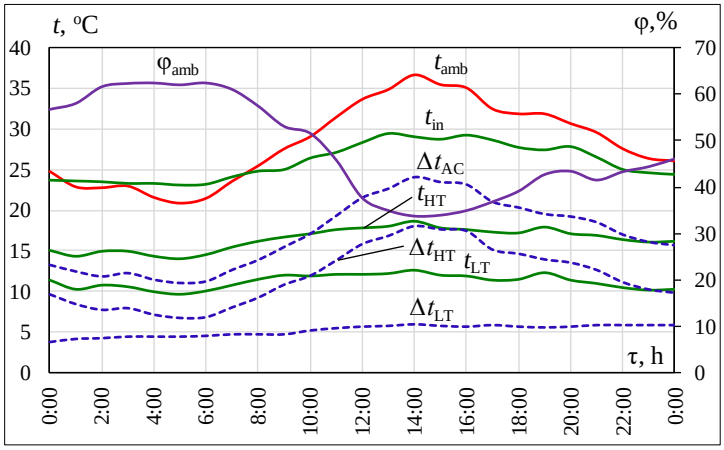


Figure 2 – Current values of temperature t_{amb} and relative humidity φ_{amb} of ambient air, temperature of air at the inlet of gas engine turbocharger t_{in} in basic version with central conditioner (Fig. 2), air temperature at the exit from the high-temperature stage AC_{HT} t_{HT} and low-temperature stage AC_{LT} t_{LT} of air cooler, reduction of air temperature in the high-temperature stage AC_{HT} Δt_{HT} and low-temperature stage AC_{LT} Δt_{LT} of air cooler and full temperature reduction in the air cooler $\Delta t_{AC} = t_{amb} - t_{LT}$ with air flow G_a = 6000 m^3/h

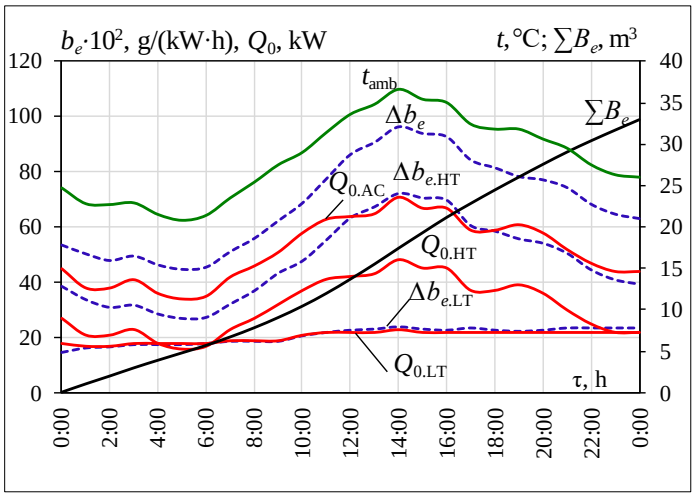


Figure 3 – Current values of ambient temperature t_{amb}, heat load on the high-temperature stage $Q_{0.HT}$ and low-temperature stage $Q_{0.LT}$ and full heat load on the air cooler $Q_{0.AC}$, current reduction of specific fuel consumption due to cooling air in the high-temperature $\Delta b_{e.HT}$ and low-temperature $\Delta b_{e.LT}$ stages and in the whole air cooler Δb_e and the total daily reduction of fuel consumption ΣB_e : air flow G_a = 6000 m^3/h

Conclusions. Conventional ventilation air cooling of the entire engine room is thermally inefficient due to substantial ambient heat gains before the air reaches the turbocharger inlet. A two-stage intake air cooling concept using a combined system of an engine waste-heat powered absorption chiller and an auxiliary vapor compression chiller was developed and analyzed. Utilizing chilled water from the absorption chiller in the high-temperature stage and additional cooling from the vapor compression chiller in the low-temperature stage reduces the engine intake air temperature by 20–25 °C compared to standard engine room air conditioning. Under high ambient temperatures (t_{amb} = 30…35°C), the proposed two-stage system provides a specific fuel saving of approximately 1–2 g/(kW·h), corresponding to a 2–3 % improvement in overall gas engine fuel efficiency.

References

1. Radchenko A., Radchenko M., Konovalov A., Zubarev A. Increasing electrical power output and fuel efficiency of gas engines in integrated energy system by absorption chiller scavenge air cooling on the base of monitoring data treatment. *E3S Web of Conferences (HTRSE–2018)*, 70, 2018, 6 p.

2. Radchenko N.: A concept of the design and operation of heat exchangers with change of phase. *Archives of Thermodynamics: Polish Academy of Sciences*, 25 (4), 2004,P. 3−19.

3. Radchenko R., Radchenko A., Serbin S., Kantor S., Portnoi B. Gas turbine unite inlet air cooling by using an excessive refrigeration capacity of absorption-ejector chiller in booster air cooler. *E3S Web of Conferences (HTRSE–2018)*, 70, 2018, 6 p.

4. I, Sugiartha N, Ge Y-T, Marriott D.: Application of tri-generation systems to the food retail industry. *Energy Convers Manage*, 48, 2007,P. 2988–2995.

5. Trushliakov E., Radchenko M., Radchenko A., Kantor S., Zongming Y.: Statistical approach to improve the efficiency of air conditioning system performance in changeable climatic conditions. The 5th "International Conference on Systems and Informatics: ICSAI 2018", Jiangsu, Nanjing, China, 2018, pp. 1303–1307.

УДК 629.4.048

ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН КОГЕНЕРАЦІЙНИМИ ГАЗОВИМИ ДВИГУНАМИ ХАРЧОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ДВОСТУПЕНЕВОМУ КОНДИЦІЮВАННІ ПОВІТРЯ

Грич А.В.,
к.т.н., доцент кафедри кондиціювання та рефрижерації ;
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розглянуто актуальну проблему підвищення енергетичної ефективності та зниження собівартості продукції на підприємствах харчової промисловості шляхом інтеграції скидної теплоти у технологічні системи кліматичного забезпечення. Запропоновано комплексний підхід до утилізації високопотенційного тепла вихлопних газів та охолодження газових двигунів когенераційних установок для забезпечення роботи тепловикористовуючих холодильних машин у складі систем кондиціювання повітря (СКП) виробничих приміщень. Проведено термодинамічний аналіз процесів трансформації скидного тепла, який підтвердив можливість суттєвого зменшення споживання електроенергії на компресійне охолодження, стабілізації температурно-вологісного режиму та зниження питомих енерговитрат підприємства.

Ключові слова:
Системи кондиціювання повітря, двоступеневе охолодження, утилізація скидної теплоти, газовий двигун, енергозбереження, паливна ефективність.

Більш глибоке охолодження повітря за рахунок використання двоступеневого повітроохолоджувача (ПО) дозволяє скоротити питому витрату палива ГД до $\Delta b_{e.ПО}$=0,7…1,2 г/(кВт·год). Враховуючи загальну потужність двигуна та скорочення питомої витрати палива, було розраховано добове скорочення витрати палива на ГД. Добова економія палива за допомогою двоступеневої системи кондиціювання складає $\Sigma\Delta B_e$=3 м^3 в порівнянні з базовим варіантом $\Sigma\Delta B_e$=1 м^3. Крім того, використання прямої подачі охолодженого повітря на ТК ГД дозволяє охолоджувати лише циклове повітря ГД, а надлишок теплоти з МВ відводити за допомогою системи вентиляції, зменшуючи, при цьому, витрату холоду. Зменшення на 90 % об'єму охолоджуваного повітря дозволяє скоротити витрати холоду до $\Delta Q_{0.ПО}$=276 кВт в найбільш жарку пору доби, що є принципово важливим для безперебійного забезпечення холодом технологічного процесу підприємства.

Двоступенева система кондиціювання повітря на вході в ГД має не тільки економічну доцільність у зменшенні витрати палива, а і екологічну. Газові двигуни під час роботи виділяють разом з видхідними газами шкідливі викиди такі як – оксид азоту NO_x та монооксид вуглецю CO. За даними фірми виробника GE Jenbacher JMS 420 GS-N.LC при повному навантаженні у відхідних газах міститься близько 50 мг/м^3 NO_x та близько 65 мг/м^3 CO [1–4]. Отже, зменшуючи витрату пального можна зменшити частку шкідливих викидів від ГД в атмосферу.

Екологічний розрахунок скорочення шкідливих викидів NO_x і CO проводився з використанням даних фірми-виробника ГД GE Jenbacher про викиди. Розрахунок базується на пропорційності скорочення шкідливих викидів кількості зекономленого палива ГД. На рис. 1 представлені результати розрахунків очікуваного екологічного ефекту від розроблених рішень.

Як видно з рис. 1 добове скорочення викиду $\Delta NO_{x.ПО}$= 400 г, а $\Delta CO_{ПО}$=500 г. Враховуючи додаткове скорочення витрати палива за рахунок скорочення витрати електроенергії на електровентилятор повне скорочення викидів $\Delta NO_x = \Delta NO_{x.ПО} + \Delta NO_{x.ЕВ}$ та $\Delta CO = \Delta CO_{.ПО} + \Delta CO_{.ЕВ}$ представлено на рис. 2.

Система двоступеневого охолодження з зональною подачею повітря на вхід ТК ГД дозволяє скоротити шкідливі до $\Delta NO_{x.ПО}$= 1000 г, а $\Delta CO_{ПО}$=1300 г за добу, що свідчить не лише про економічну та енергетичну, а і про екологічну доцільність розроблених рішень та схем.

Висновки. Впровадження тригенераційного принципу на базі газових двигунів знижує питому енергоємність готової продукції, скорочує загальне споживання первинного палива та зменшує викиди парникових газів, підвищуючи загальну екологічність та конкурентоспроможність підприємства.

Розроблено спосіб двоступеневого охолодження припливного повітря МВ ГД трансформацією скидний теплоти ГД в каскадній абсорбційної-парокомпресорній холодильній машині з холодопостачанням високотемпературного ступеня $ПО_{ВТ}$ від АБХМ і низькотемпературного ступеня $ПО_{НТ}$ від КАПКХМ, який забезпечує скорочення витрат палива на 10…15 % та пропорційно скорочує шкіливі викиди CO та NOx в атмосферу.

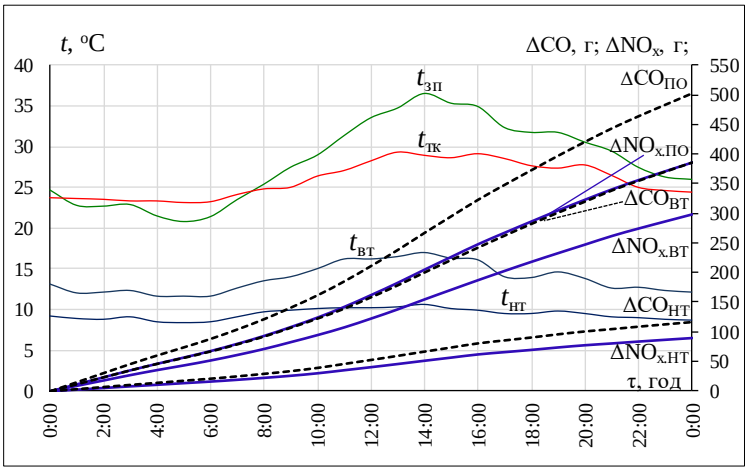


Рисунок 1 – Зміна температури зовнішнього повітря $t_{ЗП}$, повітря на вході ТК ГД $t_{тк}$, на виході з ПО високотемпературного ступеня $t_{ВТ}$, на виході з ПО низькотемпературного ступеня $t_{НТ}$, $\Delta NO_{x.ВТ}$ – скорочення викидів NO_x за рахунок охолодження повітря в високотемпературному ступені ПО; $\Delta NO_{x.НТ}$–скорочення викидів NO_x за рахунок охолодження повітря в низькотемпературному ступені ПО; $\Delta NO_{x.ПО}$ – скорочення викидів NO_x за рахунок повного охолодження в ПО; $\Delta CO_{ВТ}$ – скорочення викидів CO за рахунок охолодження повітря в низькотемпературному ступені ПО; $\Delta CO_{НТ}$ – скорочення викидів CO за рахунок охолодження повітря в низькотемпературному ступені ПО; $\Delta CO_{ПО}$ – скорочення викидів CO за рахунок повного охолодження в ПО

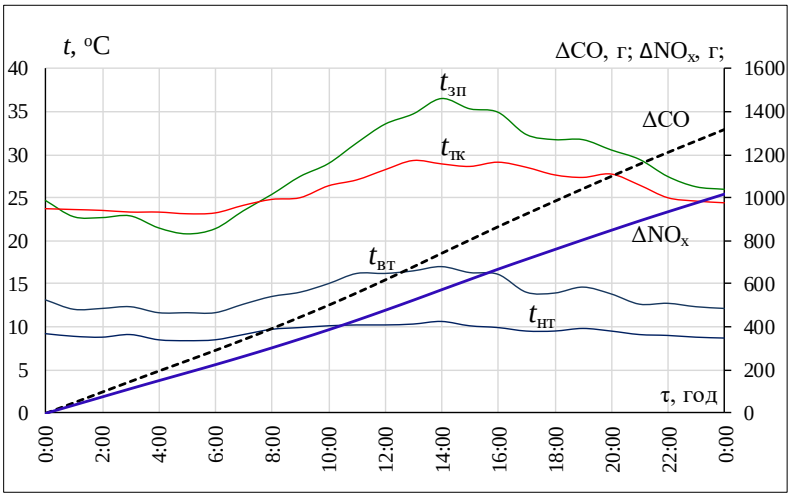


Рисунок 2 – Зміна температури зовнішнього повітря $t_{ЗП}$, повітря на вході ТК ГД $t_{тк}$, на виході з ПО високотемпературного ступеня $t_{ВТ}$, на виході з ПО низькотемпературного ступеня $t_{НТ}$, $\Delta NO_{x.}$ – скорочення викидів NO_x за рахунок повного охолодження в ПО та скорочення витрат електроенергії ЕВ; $\Delta CO_{ПО}$ – скорочення викидів CO за рахунок повного охолодження в ПО та скорочення витрат електроенергії ЕВ

Література

[1] Elsenbruch, T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications [Text] / T. Elsenbruch. Bucureşti, October 28, 2010. 73 p.

[2] Jenbacher модельный ряд 4 [Электронный ресурс] GE Power Generation. Режим доступа: https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/product/Reciprocating%20Engines/Jenbacher/Type%204/jenbacher-type-4-fs-ru-2016.pdf

[3] Обладнання GE JENBACHER, комплектація установок [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.cogeneration.com.ua/ru/equipment-ge-jenbacher/options/container/

[4] Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах тепла [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, Е. В. Бакум, А. В. Ющишина. *Наукові праці ВНТУ*. 2013. № 3. Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/article/viewFile/3040/4627.

[5] Радченко А. М., Грич А. В. Охолодження приточного повітря машинного відділення газових двигунів тригенераційної установки [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич. *Холодильна техніка та технологія*. 2014. № 6. С. 20–25.

[6] Ткаченко С.Й. Показники ефективності роботи енергетичних установок для сумісного виробництва теплової та електричної енергії / С.Й. Ткаченко, М.М. Чепурний, Н.В. Пішеніна. Вінниця : *Наукові праці ВНТУ.* 2010. № 1. Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/ejornals/NNTU/2010-1failes/uk/.htn. С. 54–57.

REDUCTION OF POLLUTANT EMISSIONS FROM COGENERATION GAS ENGINES IN FOOD PRODUCTION USING TWO-STAGE AIR CONDITIONING

Hrych Artem

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper examines the pressing issue of improving energy efficiency and reducing production costs at food industry enterprises by integrating waste heat into climate control systems. A comprehensive approach is proposed for utilizing the high-potential heat from exhaust gases and the cooling of gas engines in cogeneration plants to power heat-utilizing refrigeration units within the air conditioning systems (ACS) of production facilities. A thermodynamic analysis of waste heat transformation processes was conducted, confirming the possibility of significantly reducing electricity consumption for compression cooling, stabilizing temperature and humidity conditions, and lowering the enterprise's specific energy consumption.

Keywords: Air conditioning systems, two-stage cooling, waste heat recovery, gas engine, energy conservation, fuel efficiency.

УДК 621.577

ТЕПЛОВІ НАСОСИ ЯК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ

Калініченко І.В.,

кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
Херсонського навально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
ivan.kalinichenko@nuos.edu.ua

Анотація. Одним з джерел забруднення шкідливими речовинами є використання теплоелектростанцій у якості систем теплопостачання. Для зменшення шкідливих викидів в роботі розглядається спосіб альтернативного теплопостачання на базі теплового насосу. Також, для визначення енергоефективної та екологічно безпечної технологій систем теплопостачання житлових та адміністративних будівель було запропоновано використання сумарного критерію енергоефективнсті та екологічного забруднення, що включає забруднення парниковими газами та теплове забруднення при експлуатації системи теплозабезпечення.

Ключові слова: вуглеводневе паливо, вуглекислий газ, парниковий ефект, системи теплопостачання теплове забруднення, тепловий насос.

Вступна частина. Світова екологія на сьогоднішній день потребує прийняття негайних запобіжних заходів. Рівень вуглекислого газу в повітрі на 50 % перевищує часи доіндустріальної епохи, а середній темп приросту CO_2 швидший, ніж будь-коли. Про це повідомляє AP_news з посиланням на Національне

управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA). Згідно проведених досліджень NOAA середній рівень вуглекислого газу в травні 2025 році становив 419,13 ppm (частин CO_2 в повітрі на мільйон). Це на 1,82 ppm, ніж в травні 2020 року, і майже на 50 % вище, ніж стабільний доіндустріальний рівень у 280 ppm (рис. 1), а середні темпи зростання за 10 років встановили рекорд, і становлять до 2,4 ppm [1].

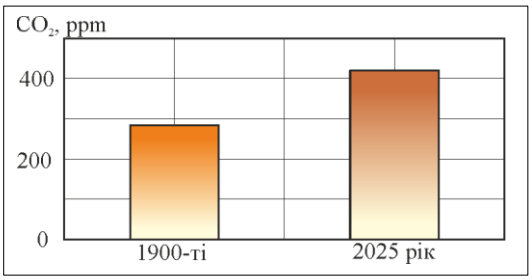


Рисунок 1 – Концентрація CO_2 у повітрі в до індустріальний (XIX сторіччя) і наш час

Вуглекислий газ утворюється від спалювання природного газу, нафти й вугілля (вуглеводневих джерел енергії) і одержання теплової енергії з подальшим перетворенням в механічну для використання її на транспорті, одержання тепло- та електроенергії тощо. Нажаль такі об'єми викидів CO_2 набагато перевищують те, що можуть споживати рослини, тому ця обставина призводить до щорічного підвищення рівня викидів CO_2, так званих парникових газів до нових рекордів. Як відомо діоксид вуглецю залишається у повітрі протягом 1000 років і більше.

Як основне джерело теплопостачання для населення в Україні використовують теплоелектроцентраль (ТЕЦ), в якій виробляється тепло і електроенергія. В тепловій електростанції (ТЕС) виробляє для споживача тільки електрику.

Недоліки використання ТЕЦ і ТЕС на вуглеводневому паливі. Щоб провести опалювальний сезон з жовтня до березня, Україні потрібно спалити 15, млн тонн вугілля, з яких млн тонн – власного видобутку, все решта – імпорт. Також для опалення на рік необхідно до 1 мільярдів кубів природного газу.

Одним з самих перспективних напрямків розвитку теплогенеруючого обладнання є застосування теплових насосів. Технологія, яку більше 100 років тому описав видатний британський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін), останні десятиліття постійно вдосконалюється. Теплові насоси забезпечують опалення приміщень та гаряче водопостачання. А за наявності в контурі теплового насосу реверсивного вентиля, здатні працювати в зворотному режимі – здійснювати охолодження приміщень. Також теплові насоси можуть використовуватися в судновій енергетиці [2, 3].

Метою даного дослідження є критеріальне визначення найбільш екологічно ефективної технології для теплопостачання житлових та адміністративних будівель.

Основна частина. З причини неможливості критеріально об'єднати значення емісії CO_2 (вимірюється в т/МВт*год) та теплового забруднення (вимірюється в температурі °С) розрахунки проводилися не в абсолютних, а відносних значеннях. Сумарний критерій оцінки екологічного забруднення дорівнює:

$$\Sigma k = k_{CO2} + k_{heat},$$

де k_{CO2} – критерій оцінки прямих викидів CO_2 при теплопостачанні;
k_{heat}, – критерій оцінки теплового забруднення при теплопостачанні.
Результати розрахунків приведені на рис. 2.

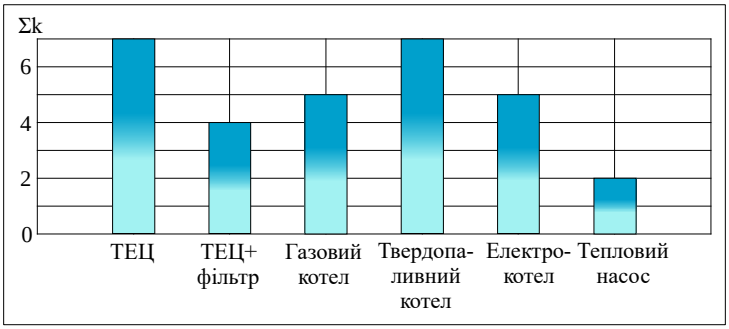


Рисунок 2– Результати розрахунку сумарного критерію оцінки екологічного забруднення при теплопостачанні будівлі

Також в розрахунках було включено можливість встановлення фільтрів для очищення теплового та шкідливого забруднень. Враховуючи те, що електрична енергія може вироблятися як на ТЕЦ так і за допомогою зеленої енергетики , то до розрахунків було включено можливість одержання «зеленої» електричної енергії з нульовими викидами CO_2.

Проведені розрахунки (див. рис. 2.) показують, що найвищі показники сумарного критерію оцінки екологічного забруднення Σk = мають ТЕЦ, і твердопаливний котел без додаткових очисних технологій (фільтри тощо). При використанні додаткових очисних технологій в ТЕЦ сумарний критерій оцінки екологічного забруднення має значення Σk = 4, що залишається екологічно небезпечною технологією. Газовий та електричний котли мають критерій оцінки екологічного забруднення Σk = 5. Лише використання теплового насосу для теплопостачання будівлі має сумарний критерій екологічного забруднення Σk = 2, що може вважатися екологічно безпечною технологією тому може використовуватися для опалення.

Висновки. Проведений аналіз та знайдені резерви для підвищення екологічних показників та зменшення шкідливих викидів для забезпечення теплопостачання житлових та адміністративних будівель за рахунок використання теплового насосу. Визначено значення найнижчого сумарного критерію екологічного забруднення при використанні теплового насосу для теплопостачання будівлі, що може вважатися екологічно безпечною технологією тому може використовуватися для опалення в майбутньому.

Література

[1] Концентрація CO_2 вполовину перевищила показники доіндустріальної епохи. Режим доступу: https://ua-energy.org/uk/posts/kontsentratsiia-co2-vpolovynu-perevyshchyla-pokaznyky-doindustrialnoi-epokhy.

[2] Kalinichenko, I., Kornienko, V., Kobalava, H. (2025). Effectiveness Evaluation of Using a Ship Alternative Heat Pump Steam Generating Unit. In: Lytvynov, O., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2024. ICTM 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1474. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-94852-7_15/

[3] Kobalava, H., Konovalov, D., Kalinichenko, I., Pyrysunko, M. (2024). Study of Thermophysical Processes in the Thermopressor for Contact Cooling Systems. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Edl, M., Machado, J., Xu, J. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_21

HEAT PUMPS AS ENERGY-EFFICIENT AND ENVIRONMENTALLY SAFE TECHNOLOGIES FOR BUILDING HEAT SUPPLY

Kalinichenko I.V.

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. One of the sources of pollution by harmful substances is the use of thermal power plants as heat supply systems. To reduce harmful emissions, the method of alternative heat supply based on a heat pump is considered in the work. Also, to determine the environmentally safe technology of heat supply systems of residential and administrative buildings, it was proposed to use the total criterion of environmental pollution, which includes pollution by greenhouse gases and thermal pollution during the operation of the heat supply system.

Keywords: hydrocarbon fuel, carbon dioxide, greenhouse effect, heat supply systems, heat pollution, heat pump.

УДК 621.311.21

ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ТА СИСТЕМ КОНДИЦІЮВАННЯ КОТЕДЖІВ

Калініченко І.В.,
кандидат технічних наук, доцент
Гуріна Д.В.,
здобувачка вищої освіти
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
ivan.kalinichenko@nuos.edu.ua

Анотація. Проведено аналіз використання гідроелектростанцій малої потужності для забезпечення автономної генерації електроенергії для приватних споживачів та малих підприємств. Використання гідроелектростанцій малої потужності допомагає у загальному декарбонізувати енергетику, що поліпшить екологічну ситуацію у світі. Також проведений аналіз розвитку альтернативної енергетики для отримання електричної енергії на 2035 і 2050 роки.

Ключові слова: вуглеводневе паливо, гідроелектростанцій малої потужності, декарбонізація енерговиробництва, парниковий ефект, теплове забруднення.

Вступна частина. Сталий економічний розвиток кожної країни залежить від успішності вирішення економічних, енергетичних та екологічних проблем. Усі ці галузі взаємозв'язані і повинні співіснувати злагоджено. У сучасному суспільстві надзвичайно актуальною є проблема світового споживання електроенергії. Енергетична проблема – одна з найважливіших проблем, які сьогодні доводиться вирішувати людству, адже його життя і потреби вимагають величезних затрат енергії, які щороку зростають. Технології використання традиційних джерел енергії вже є застарілими і надто шкідливими для екології довкілля, а ресурсозабезпеченість планети різко зменшується. Вода – одна з численних хімічних сполук, які відомі на Землі. Гідроелектростанції є чудовим і екологічно чистим джерелом відновлюваної енергії.

Гідроенергетика – це важлива частина енергетичного сектору України, яка забезпечує регулювання частоти та потужності мережі, мобільний аварійний резерв у об'єднаній енергетичній системі і є єдиною «зеленою» галуззю енергетики. Зазначимо, що станом на 2026 рік в Україні з 10 є лише 8 функціонуючих гідроелектростанцій, розташованих на Дніпрі та Дністрі: Київська ГЕС та Київська ГАЕС; Кременчуцька ГЕС; Канівська ГЕС; Дністровська ГЕС; Дніпровська ГЕС-1 та Дніпровська ГЕС-2; Дністровська ГЕС та Дністровська ГАЕС [1].

Метою дослідження є впровадження гідроелектростанцій малої потужності для забезпечення автономності генерації електроенергії для холодильних установок та системи кондиціювання приватних споживачів (готелі, котеджі, дачі тощо) і малих підприємств та одержання задовільних показників електроенергії незалежно від пори року та добових коливань температури та сонячного світла.

Основна частина. Гідроенергетика являє собою безліч розгалужених способів видобування корисної енергії за рахунок руху потоків води, яка фактично є невичерпним ресурсом планети. У гідродинаміці ідеальна рідина – це рідина, яка абсолютно нестислива, позбавлена в'язкості і теплопровідності. Проте така модель дає цілком правдивий опис руху реальних рідин. Середня швидкість руху рідини υ – це фіктивна швидкість, з якою всі частинки рідини рухаються так, що кількість рідини, яка протікає через живий переріз, що розглядається, дорівнює дійсній кількості рідини, яка протікає через той же переріз при дійсних швидкостях руху, тобто:

$$J = 0{,}85 \cdot l \cdot h \cdot (S/t),$$

де J – шукана швидкість течії, l – ширина, h – глибина, S – пройдена поплавком дистанція, 0,85 – коригуючий коефіцієнт обчислення, t – час руху поплавка, тобто величина, що при проведенні досліду буде визначена за допомогою вимірювального приладу (секундомір) окремо для кожного випадку [2].

Рівняння Бернуллі є наслідком закону збереження енергії. Рідина у стаціонарному потоці рухається неперервно ($\upsilon \neq 0$), отже має запас кінетичної енергії. Експериментально знайшовши швидкість, надалі можна обчислити який буде статичний і динамічний тиск, що чинить рідина на механізм обертового колеса.

Аналіз результатів і висновки. Робота спрямована на перетворення кінетичної енергії неперервного бурхливого потоку рідини у водоймі наприклад у річці. Станція, що розташована (частково) у товщі рідини повноводної річки з горизонтальним стержнем, на якому закріплені турбіни на різних позиціях перпендикулярно напрямку руху води. Задля стабільності конструкції варто спорудити два буя, наповнені повітрям, на обох кінцях стержня, як показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Схематичне зображення конструкції за допомогою комп'ютерної моделі

Конструкція для збереження стабільності прикріплена якорем до дна водойми. Робочім тілом є водяне колесо, яке обертає потік рідини. Використання гідроелектростанцій малої потужності для забезпечення автономності генерації електроенергії для холодильних установок та системи кондиціювання приватних споживачів допомагає у загальному декарбонізувати енергетику, що поліпшить екологічну ситуацію у світі.

Був проведений аналіз розвитку альтернативної енергетики для отримання електричної енергії на 2035 і 2050 роки, що представлено на рис. 2 який показав зменшення використання вуглеводневого палива та заміщення його альтернативними джерелами первинної енергії, серед яких є і гідроенергетика [4].

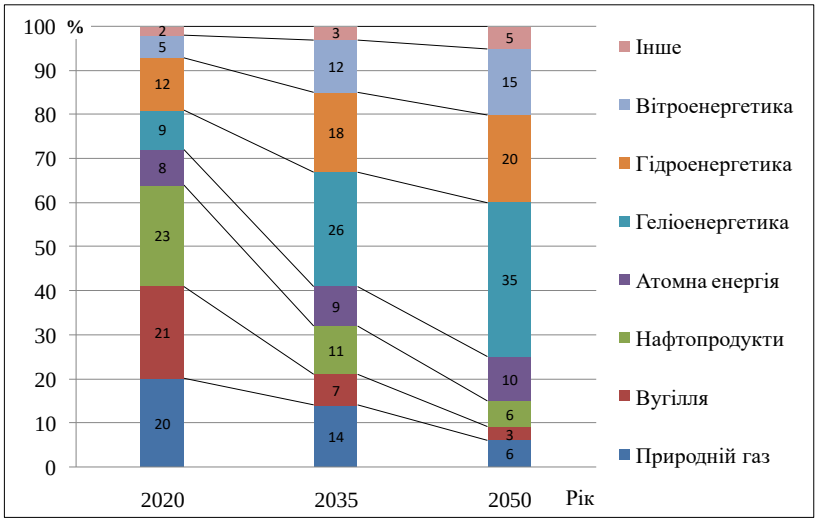


Рисунок 2 – Прогноз тенденцій розвитку енергетики на 2035 та 2050 роки

Зараз у сучасному світі досі залишаються у планах розроблення безліч нових ідей з використанням широко відомого водяного колеса. Пропоную звернути увагу на можливість створення міні електростанції, яка дозволятиме отримувати корисну енергію цілодобово і не залежно від пори року і погодних умов. Це неабияк допоможе розвантажити енергосистему і забезпечити достатнє отримання заряду акумулятора, що дуже важливо у сучасних реаліях життя в Україні.

Література

[1] Герасімов Є.Г., Герасимов Г.Г. Використання відновлювальних джерел енергії : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2023. 46 с.

[2] Розрахунки з дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки» : навчальний посібник / К.В. Луняка, Б.В. Димо, Н.Б. Андрєєва, І.В. Калініченко. Херсон : ХНТУ, 2018. 16 с.

[3] Проєкт водяного колеса для проєкту гідро електроенергетики. URL: https://www.fstgenerator.com/ uk/news/210625/

[4] "Ukrainian Green Deal" Режим доступу: https://se.net.ua/ukrainian-green-deal-kontseptsiya-zelenogo-energetychnogo-perehodu-ukrayiny-do-2050-roku/

THE USE OF LOW-CAPACITY HYDROELECTRIC POWER PLANTS FOR THE POWER SUPPLY OF REFRIGERATION UNITS AND COTTAGE AIR CONDITIONING SYSTEMS

Kalinichenko I.V., Hurina D.V.

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. An analysis of the use of low-capacity hydroelectric power plants to ensure autonomous electricity generation for refrigeration units and air conditioning systems of private consumers has been carried out. The use of low-capacity hydroelectric power plants generally contributes to the decarbonization of the energy sector, which will improve the global environmental situation. An analysis of the development of alternative energy for electricity generation for the years 2035 and 2050 has also been conducted.

Keywords: hydrocarbon fuel, low-capacity hydroelectric power plants, greenhouse effect, thermal pollution, heat pump.

УДК 628.1:620.91

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ОТРИМАННЯ ВОДИ З ПОВІТРЯ НА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ: РІШЕННЯ ДЛЯ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Годик К.О.,
PhD, викладач, godykkostas@gmail.com
Самохвалов В.С.,
PhD, асаціон. професор, vsevoloddsamohvalov@gmail.com
Шевченко Г.О.,
студент
sevcenkogosa8@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Сьогодні Миколаївська область переживає гостру водну кризу, спричинену руйнуванням водогосподарської інфраструктури внаслідок бойових дій. У цій роботі обґрунтовується доцільність використання автономних систем отримання води з атмосферного повітря (AWG), що працюють на основі відновлюваних джерел енергії, для забезпечення регіону водою. Запропоновано структурну схему установки контейнерного типу, до складу якої входять фотоелектричні панелі, акумулятори типу LiFePO4, блок керування, сорбційно-конденсаційний модуль для отримання води, системи фільтрації та мінералізації, а також резервуар для зберігання. Модуль продуктивністю 20 л/добу, що живиться від сонячної електростанції потужністю 3,5 кВт, виробляє в середньому 15–16 л питної води на добу, попри сезонні коливання вологості повітря. Вартість води, отриманої за допомогою одного модуля (близько 12,4 грн/л), перевищує вартість привізної води; однак у разі серійного виробництва та розгортання кластерних систем вона знижується до 1,0–1,8 грн/л, а термін окупності становить 4–6 років.

Ключові слова: отримання води з атмосфери, відновлювані джерела енергії, автономне водопостачання, сорбційні технології, установка контейнерного типу, Миколаївська область.

На сьогоднішній день Миколаївська область перебуває у стані гострої водної кризи через руйнування водогосподарської інфраструктури внаслідок бойових дій. Підрив Каховської ГЕС і пошкодження водоводу Дніпро–Миколаїв призвели до втрати централізованого джерела прісної води для обласного центру [1, 2], що змусило перейти на технічну воду з Південного Бугу та привізну питну воду – рішення економічно й логістично невигідне [3]. Дефіцит води позначається і на роботі суднобудівних та судноремонтних підприємств, для яких стабільне водопостачання критично важливе.

В умовах вразливості централізованих мереж актуальності набувають автономні децентралізовані джерела прісної води. Перспективним є отримання води з атмосферного повітря (Atmospheric Water Generation, AWG) у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), що забезпечує повну автономність. Метою роботи є обґрунтування доцільності таких систем для водозабезпечення Миколаївської області: аналіз технологій AWG, вибір ВДЕ з урахуванням клімату регіону, розробка структурної схеми установки та оцінка її продуктивності й економічної доцільності.

Атмосфера одночасно утримує близько 12–13 тис. км³ водяної пари – практично невичерпне джерело [4]. Конденсаційний метод охолоджує повітря нижче точки роси; його ефективність залежить від відносної вологості [5]. Сорбційний метод використовує гігроскопічні матеріали (силікагель, цеоліти, MOF), що поглинають вологу навіть за вологості 10–30 %, у тому числі в посушливих регіонах світу, з подальшою термічною десорбцією [6, 7] питомі витрати становлять 0,4-0,8 кВт·год/л проти 0,3–0,6 для компресійних систем, які втрачають ефективність нижче 40 % вологості [5, 8]. Гібридні системи поєднують сорбцію з конденсацією, знижуючи енергоспоживання [9].

Для степової зони регіону з характерним зниженням вологості влітку найбільш перспективні сорбційні та гібридні технології [6]. Світовий досвід – компресійні установки Watergen [10], сонячні гідропанелі SOURCE Hydropanels на сорбційній технології [11] – підтверджує ефективність поєднання AWG з ВДЕ.

Регіон має сприятливі умови для соляризації: тривалість сонячного сяяння становить 2200–2300 год/рік, а надходження сонячної радіації – 1250–1350 кВт·год/м² [12, 13], що відповідає показникам південних областей України з найвищим потенціалом використання фотоелектричних систем. Найбільша інтенсивність інсоляції припадає на квітень–вересень, що збігається з періодом підвищеного попиту на воду. Пропонована енергосистема включає фотоелектричні панелі (PV), акумуляторні батареї LiFePO4 та контролер заряду/інвертор, який стабілізує параметри живлення AWG-модуля.

AWG-модуль (20 л/добу, 0,6 кВт·год/л) споживає 12 кВт·год/добу. Розрахункова генерація панелі потужністю 3,5 кВт перевищує добове споживання AWG-модуля (12 кВт·год) приблизно на 5 %.

Для згладжування добових і сезонних коливань інсоляції та забезпечення роботи в похмурі дні передбачено акумуляторну ємність із запасом автономності на 1-2 доби (орієнтовно 24 кВт·год).

Схема системи (рис. 1) послідовно об'єднує блок ВДЕ, систему накопичення енергії, блок керування, AWG-модуль, фільтрацію та мінералізацію і резервуар зберігання. Система автономна від електромережі й водопроводу.



Рисунок 1 – Структурна схема автономної системи отримання води з повітря на ВДЕ

З огляду на мінливість вологості регіону (35–85 %) оптимальний модуль працює на сорбентах за низької вологості, а у вологіші періоди – у конденсаційному режимі. Контейнерне виконання (ISO-формат) забезпечує мобільність і сумісність із суднобудівною інфраструктурою – для цехів, екіпажів суден на ремонті, портових служб, із перспективою адаптації для плавучих платформ.

Сезонна продуктивність модуля: взимку 14–16 л/добу, навесні 18–20 л/добу, влітку лише 8–11 л/добу, восени 17–19 л/добу; середньорічна – 15–16 л/добу (≈5,5–5, м³/рік). Собівартість привізної води – 3–8 грн/л (середня ціна 5 грн/л), свердловин – 0,3–0,8 грн/л, опріснення – 0,5–1,5 грн/л.

Для одиничного модуля (CAPEX ≈ 500 тис. грн, OPEX ≈ 20 тис. грн/рік, ресурс 10 років) собівартість становить ≈12,4 грн/л, що вище за привізну воду.

При серійному виробництві та масштабуванні кластерами собівартість знижується до 1,0–1,8 грн/л, а термін окупності відносно привізної води (≈5 грн/л) оцінюється в 4–6 років. Це рішення слугує альтернативою привізній воді за відсутності власних джерел і може бути резервом для об'єктів критичної інфраструктури.

Пріоритетні сфери: населені пункти без централізованого водопостачання, об'єкти критичної інфраструктури, суднобудівні й судноремонтні підприємства Миколаєва, військові та гуманітарні потреби. Контейнерна архітектура дозволяє масштабувати модулі кластерами, а серійне виготовлення корпусів із залученням потужностей місцевих суднобудівних підприємств знижує питомі капітальні витрати. Рішення доповнює програми повоєнного відновлення регіону та має потенціал на найближчі роки.

Висновки. Аналіз підтверджує технічну реалізованість і практичну доцільність автономних AWG-систем на ВДЕ для водозабезпечення Миколаївської області. Запропонована схема забезпечує повну автономність установки, яка виробляє в середньому 15–16 літрів питної води на добу навіть за сезонного зниження вологості. Економічна доцільність зростає при масштабуванні до модульних кластерів. Контейнерне виконання пов'язує рішення з тематикою океанотехніки, відкриваючи застосування на портових об'єктах і суднах.

Література

[1] Звіт Рахункової палати України. Руйнування Каховської ГЕС: масштаби і наслідки катастрофи. 2024. URL: rp.gov.ua/upload-files/Activity/Collegium/2024/39-2_2024/Zvit_39-2_2024.pdf

[2] Оцінка потреб після катастрофи (PDNA). Катастрофа на Каховській ГЕС / Уряд України, ООН. 2023. URL: ukraine.un.org/sites/default/files/2023-12/Report_PDNA_ukr_2023.pdf

[3] Коханчук А. Що п'є Миколаївщина і чому вода в громадах може бути небезпечною. *МикВісті,* 2025. URL: nadra.info/2025/04/what-does-the-mykolaiv-region-drink-and-why-the-water-in-communities-can-be-dangerous-mykvisti/

[4] Raveesh G., Goyal R., Tyagi S.K. Advances in atmospheric water generation technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. URL: researchgate.net/publication/351435678

[5] Progress in atmospheric water generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022. URL: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122002398

[6] Feasibility of atmospheric water harvesting and generation technologies: Bridging innovation and market adoption. Desalination, 2026. URL: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479726000071

[7] Atmospheric water generation in arid regions – A perspective on deployment challenges for the Middle East. *Journal of Water Process Engineering*, 2022. URL: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714422006079

[8] Aravind K. Investigation of the Technological Advancements and Future Prospects of Atmospheric Water Generator Systems. Journal of Student Research. 2023. Vol. 12, № 3. DOI: 10.47611/jsrhs.v12i3.4684.

[9] Predictive Tools and Advances in Sustainable Water Resources Through Atmospheric Water Generation Under Changing Climate: A Review. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, № 4. Art. 1462. DOI: 10.3390/su17041462.

[10] Watergen – офіційний виробник атмосферних генераторів води. URL: watergen.com

[11] SOURCE Global, PBC – виробник сонячних гідропанелей SOURCE Hydropanel. URL: source.co

[12] Управління екології та природних ресурсів Миколаївської ОДА. Перспективи розвитку альтернативної енергетики. URL: ecolog.mk.gov.ua/ua/climatechange/alternativeenergy/

[13] Управління екології та природних ресурсів Миколаївської ОДА. Зміна клімату: розвиток ВДЕ на території Миколаївської області. URL: ecolog.mk.gov.ua/ua/climatechange/

AUTONOMOUS ATMOSPHERIC WATER GENERATION SYSTEMS POWERED BY RENEWABLE ENERGY SOURCES: A WATER SUPPLY SOLUTION FOR MYKOLAIV OBLAST

Hodyk K.O., Samokhvalov V.S., Shevchenko H.O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Nowadays Mykolaiv Region is experiencing an acute water crisis caused by the destruction of water management infrastructure as a result of hostilities. This paper substantiates the feasibility of autonomous atmospheric water generation (AWG) systems powered by renewable energy sources for the region's water supply. A structural diagram of a container-type unit is proposed, comprising photovoltaic panels, LiFePO4 batteries, a control unit, a sorption/condensation AWG module, filtration and mineralization, and a storage tank. A 20 L/day module powered by a 3.5 kW solar array produces on average 15–16 L of drinking water per day despite seasonal humidity fluctuations. The cost of water from a single module (about 12.4 UAH/L) exceeds that of delivered water, but with serial production and cluster deployment it falls to 1.0–1.8 UAH/L, with a payback period of 4–6 years.

Keywords: atmospheric water generation, renewable energy sources, autonomous water supply, sorption technologies, container-type unit, Mykolaiv Region.

UDC 621.181.27

CORRELATIONS FOR POLLUTANT DEPOSITION ON CONDENSING SURFACES OF EXHAUST GAS BOILERS WITH WATER–FUEL EMULSION COMBUSTION

Kornienko V.,
PhD
kornienkovika1987@gmail.com
Kherson Educational and Research Institute,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The study investigates the effects of wall temperature, gas velocity, and water content in water-fuel emulsions on the polluting intensity of condensing heating surfaces in exhaust gas boilers. Based on experimental and theoretical research, correlations and a regression equation were developed to determine the fouling coefficient. The cleaning intervals for dry and condensing surfaces were determined, providing a basis for improving the reliability and efficiency of exhaust gas boiler operation.

Keywords: condensing heat exchange surface, exhaust gas boiler, pollution, water-fuel emulsion.

The efficiency of thermal power plants largely depends on the effective recovery of waste heat from exhaust gases. An exhaust gas boiler (EGB) is one of the main components of such systems. The use of condensing low-

temperature heating surfaces makes it possible to recover additional heat from the condensation of water vapor and sulfuric acid. However, this process can increase the risk of low-temperature corrosion and surface fouling.

Studies show that the combustion of water-fuel emulsions (WFE) containing about 30 % water significantly reduces the intensity of low-temperature corrosion. This makes it possible to operate condensing heating surfaces at wall temperatures as low as 65–70 °C. WFE combustion also improves fuel burnout and reduces the formation of soot and solid particles in exhaust gases.

The aim of the research was to determine how the fouling coefficient depends on wall temperature, gas velocity, and water content in WFE.

Experimental and theoretical studies were used to obtain relationships between these parameters [1]. It was found that the fouling coefficient increases sharply at wall temperatures of 120–140 °C. Therefore, different calculation approaches should be applied to condensing, transition, and dry heating surfaces.

The experimental and theoretical studies of pollution kinetics made it possible to obtain correlations for the vapor-liquid zone describing the dependence of the pollution coefficient ε_p on wall temperature t_w, gas velocity w_g, and water content of WFE W^r.

The correlations shown in Fig. 1 were obtained at w_g = m/s and demonstrate an increase in ε_p with increasing wall temperature. When t_w increased from 120 to 140 °C, ε_p increased by 4.3 times at W^r = 2 %, 4.4 times at W^r = 17 %, and 3.6 times at W^r = 30 %. At t_w = 130 °C, increasing the water content from 2 to 30 % reduced ε_p by approximately two times.

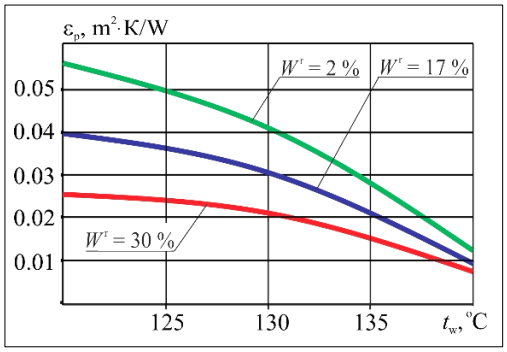


Figure 1 – Correlations for dependence of pollution coefficient ε_p on wall temperature t_w at different water content W^r WFE (w_g = 8 м/с)

Correlations for ε_p as a function of gas velocity (Fig. 2) and WFE water content (Fig. 3) were obtained for both condensing (t_w < 120 °C) and dry (t_w > 140 °C) heating surfaces. Increasing W^r from 2 to 30 % reduced ε_p by 1.5 times for dry surfaces and by 2.2 times for condensing surfaces. Increasing gas velocity from 8 to 2 m/s reduced ε_p by 6 and 6.8 times, respectively.

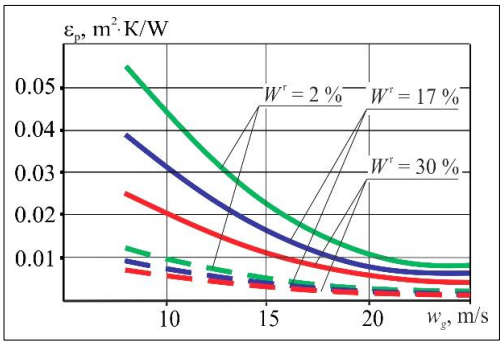


Figure 2 – Correlations for dependence of pollution coefficient ε_p on of gas speed w_g at different water content W^r WFE: —— – t_w = 120 °C; – – – – t_w = 140 °C

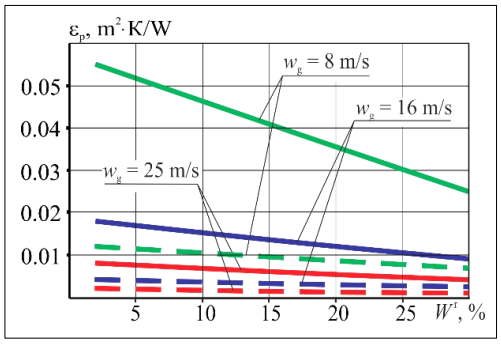


Figure 3 – Correlations for dependence of pollution coefficient ε_p on water content W^r WFE within different gas speed w_g: —— – t_w = 120 °C; – – – – t_w = 140 °C

Statistical processing provided a multifactor regression equation for the vapor-liquid zone, taking into account t_w, w_g, and W^r. The equation is applicable within t_w = 120–140 °C, W^r = 2–30 %, and w_g = 8–2 m/s.

The influence of pipe diameter and tube spacing on ε_p was also investigated (Figs. 4 and 5). A strong dependence on pipe diameter was observed: reducing the diameter from 76 to 2 mm decreased ε_p by approximately five times, while a reduction from 38 to 2 mm resulted in a twofold decrease.

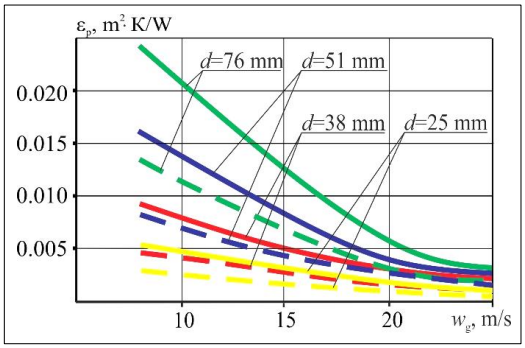


Figure 4 – Correlations for dependence of pollution coefficient ε_p on gas speed w_g within different pipe diameter (s_2/d = 2): —— – W^r = 2 %; – – – – W^r = 30 %

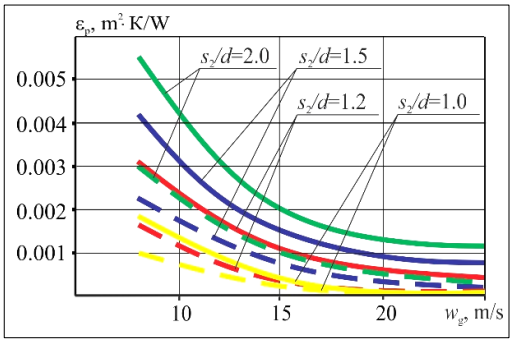


Figure 5 – Correlations for dependence of pollution coefficient ε_p on gas speed w_g within different pipe steps s_2/d (d = 25 mm): —— – W^r = 2 %; – – – – W^r = 30 %

The obtained pollution correlations were further used to determine the cleaning intervals of dry and condensing heating surfaces. At a wall temperature of 110 °C, increasing the WFE water content to 30 % reduced the concentration of solid particles by approximately three times and the corrosion rate by 3–5 times. As a result, the pollution layer thickness decreased by nearly four times, increasing the cleaning interval.

The calculations showed that increasing W^r from 2 to 30 % increased the cleaning interval of dry surfaces from 1000 to 2500 hours. For condensing surfaces, the interval increased from 8 to 24 hours while maintaining reliable EGB operation. These results demonstrate that the use of WFE can significantly reduce surface fouling and extend the operating period between cleaning procedures.

Conclusions. Correlations describing the effect of WFE water content, gas velocity, wall temperature, pipe diameter, and tube spacing on the pollution coefficient were developed based on experimental and theoretical data.

A regression equation, $\varepsilon_p = f(t_w, W^r, w_g)$, was obtained to evaluate the combined influence of these parameters and can be used in the design of EGB condensing heating surfaces. The calculated cleaning intervals can also support recommendations for their operation.

References

[1] Yang Z., Kornienko V., Radchenko M., Radchenko A., Radchenko R., Pavlenko A. Capture of pollutants from exhaust gases by low-temperature heating surfaces. Energies. 2022. 15 (1). 120.

UDC 621.181.27

INVESTIGATION OF ROTARY CUP ATOMIZER PERFORMANCE FOR AFTERBURNING IN EXHAUST GAS BOILERS

Kornienko V.,
PhD
kornienkovika1987@gmail.com
Kherson Educational and Research Institute,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The study investigates the atomization characteristics of water, fuel oil, and water-fuel emulsion using a rotary cup atomizer. The droplet size distribution, average droplet diameter, spray uniformity, and effects of air pressure and atomizer speed on the spray root angle were experimentally determined. The results allowed suitable operating parameters to be established for stable atomization of fuel oil and water-fuel emulsions.

Keywords: rotary cup atomizer, water-fuel emulsion, atomization, droplet diameter, fuel oil.

Modern internal combustion engines (ICE) produce lower exhaust gas temperatures, which can limit steam generation in exhaust gas boilers (EGB) and reduce the capacity of recovery turbo-generators (RTG). One solution is to install an afterburning system before the EGB, which increases RTG capacity, cogeneration efficiency, and the flexibility of the system.

Water-fuel emulsions (WFE) are considered suitable for afterburning because the presence of water improves fuel atomization and combustion through micro-explosions, better fuel–air mixing, and increased

combustion surface area. For low fuel consumption, rotary cup atomizers are particularly promising for small boilers.

Previous studies have investigated liquid flow, film breakup, droplet formation, and the influence of operating conditions on rotary cup atomizers. However, available experimental and literature data are insufficient to develop reliable criterion equations and determine the average droplet size. Therefore, the aim of this research is to investigate the atomization characteristics of a rotary cup atomizer.

The experimental study was conducted using a rotary cup atomizer to investigate the atomization of water, fuel oil, and WFE containing 30 % water [1]. The liquid was supplied to the rotating cup by gravity, while the atomizer speed and air pressure were varied. Droplet size was determined by collecting droplets on glass slides coated with compressor oil and analyzing their imprints under a microscope. The uniformity of liquid distribution was measured using a 12-sector collector at different distances from the atomizer. The spray root angle was determined from photographs of the spray pattern under controlled lighting conditions. These measurements were used to evaluate droplet size distribution, spray uniformity, and the influence of operating parameters on atomizer performance.

Fig. 1 presents the droplet size distribution across the atomizer cross-section at different liquid flow rates and rotational speeds. At a low water flow rate of approximately 1 kg/h, the average droplet diameter was 20–30 μm. With increasing flow rate, the average diameter increased slightly to 30–35 μm.

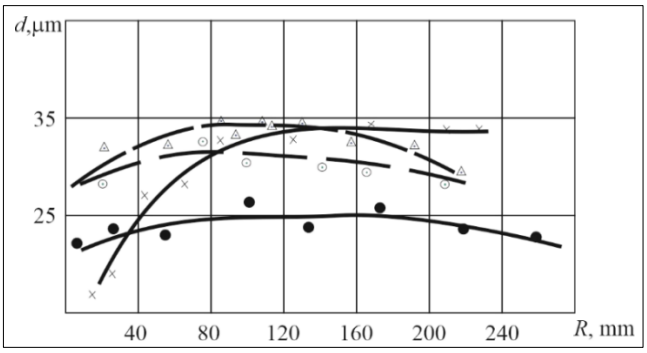


Figure 1 – Correlations for dependence of droplet distribution (in diameter) over the cross section of atomizer (atomizer diameter d_p = 25 mm; atomizer speed n = 6200 min^{-1}) ● – water consumption 1,2 kg/h; × – water consumption 3,0 kg/h; ⊙ – WFE consumption 1,0 kg/h; △ – fuel oil consumption 1,0 kg/h

The experimental and calculated results showed that increasing the liquid flow rate improves the uniformity of atomization. The non-uniformity coefficient decreases with increasing distance from the atomizer, as shown in Fig. 2. This indicates that the spray becomes more evenly distributed downstream of the atomizer.

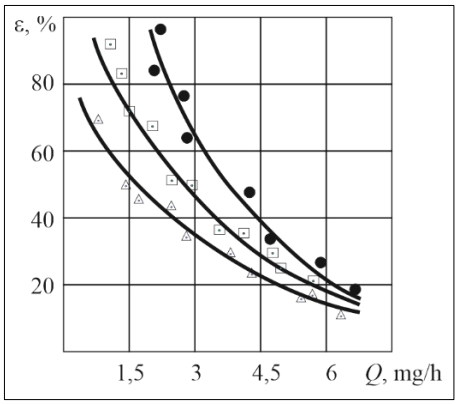


Figure 2 – Correlations for dependence of coefficient of uneven ε the flow of atomized liquid from changes in flow at various distances l from the cutoff of atomizer cup: ● – l = 150 mm; ⊡ – l = 250 mm; △ – l = 350 mm

The dependence of the spray root angle on air pressure, atomizer diameter, and rotational speed was also investigated (Fig. 3–5).

The results demonstrate that air pressure has the strongest influence on the spray root angle, allowing it to be effectively controlled by adjusting the pressure. Increasing the atomizer diameter leads to a proportional increase in the root angle, whereas changes in rotational speed have a considerably smaller effect.

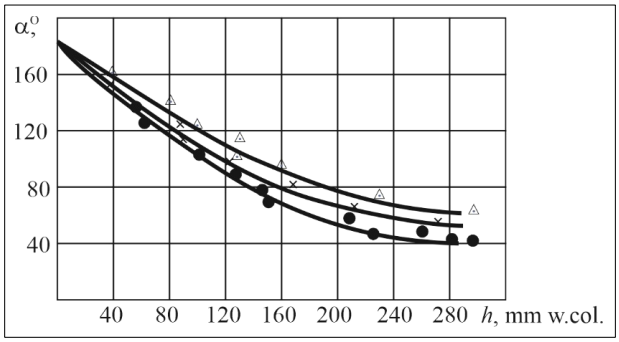


Figure 3 – Correlations for dependence of the atomizer root angle values from air pressure (atomizer speed n = 550 min^{-1}, water consumption 4 kg/h) for different atomizer diameter: ● – d_p = 25 mm; × – d_p = 26 mm; ◬ – d_p = 28 mm

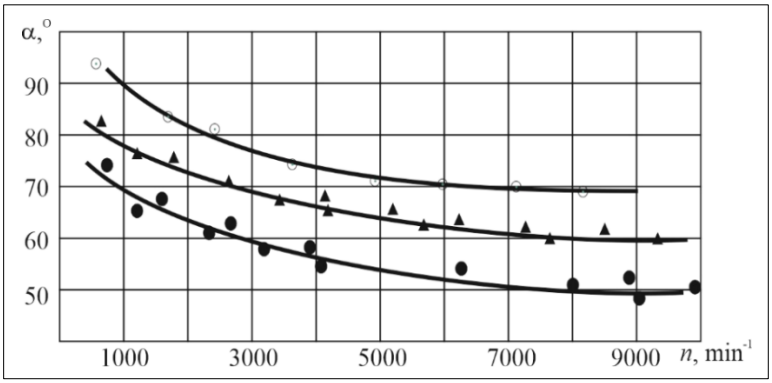


Figure 4 – Correlations for dependence of the atomizer root angle values from atomizer speed (air pressure h = 250 mm w. col., water consumption 4,0 kg/h): ● – d_p = 25 mm; ▲ – d_p = 26 mm; ⊙ – d_p = 28 mm

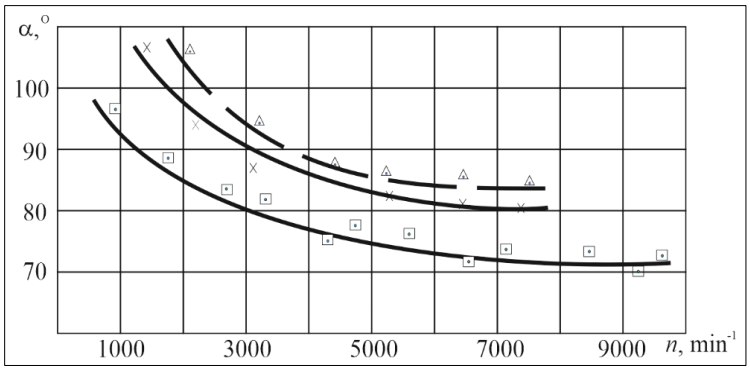


Figure 5 – Correlations for dependence of atomizer root angle values from atomizer speed (air pressure h = 250 mm w.col., d_p = 26 mm): ⊡ – water consumption 1,0 kg/h; × – WFE consumption 1,0 kg/h; ◬ – fuel oil consumption 1,0 kg/h

Based on the experiments and conclusions made, a nozzle with an atomizer diameter d_p = 25 mm was selected with an air pressure h = 25 mm water column and an atomizer speed 5000 min^{-1}, which satisfactorily atomizes the fuel at a flow rate of 1…3 kg/h and provides the required diameter emulsion droplets for targeted research.

Conclusions. The experimental and theoretical studies established the main atomization characteristics of water-fuel emulsions (WFE) using a rotary cup atomizer. An atomizer with a diameter of 2 mm was selected, providing satisfactory fuel atomization at a flow rate of 1–3 kg/h and a stable droplet size across the spray cross-section. The obtained results confirm the suitability of the rotary cup atomizer for WFE combustion and provide a basis for further studies of liquid flow patterns under different operating conditions.

References

[1] Kornienko V., Radchenko R., Mikielewicz D., Pyrysunko M., Andreev A. Improvement of characteristics of water-fuel rotary cup atomizer in a boiler. In: Tonkonogyi V., et al. Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. *Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham*, 2021. P. 664–674.

UDC 621.181.27

ENHANCEMENT OF WATER-FUEL ROTARY CUP ATOMIZER PERFORMANCE IN BOILERS

Kornienko V.,
PhD
Kherson Educational and Research Institute,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine
kornienkovika1987@gmail.com

Abstract. The study investigates the atomization characteristics of water, fuel oil, and water-fuel emulsion using a rotary cup atomizer. The droplet size distribution, average droplet diameter, spray uniformity, and effects of air pressure and atomizer speed on the spray root angle were experimentally determined. The results allowed suitable operating parameters to be established for stable atomization of fuel oil and water-fuel emulsions.

Keywords: rotary cup atomizer, water-fuel emulsion, atomization, droplet diameter, fuel oil.

The increasing cost of fuel has led boiler plants to use cheaper high-viscosity heavy fuels, requiring improved fuel preparation and atomization systems. Rotary cup atomizers are a promising alternative to conventional centrifugal atomizers, particularly for burning heavy fuels and water-fuel emulsions (WFE). WFE combustion improves fuel atomization and burning through microexplosions of droplets, which reduce fuel fragment size, increase the contact area with air, and intensify combustion. It can also reduce soot, coke formation, and deposits on heating surfaces. For accurate analysis of WFE combustion, both the initial droplet diameter and the size of fuel fragments formed during secondary breakup must be considered.

The study investigates the operating characteristics of a rotary cup atomizer for heavy fuels and WFE at flow rates of 1–3 kg/h. An experimental setup with a rotating cup, collectors, and measuring vessels was used to determine droplet size and spray distribution. Droplet diameter was analyzed using Weber and Laplace criteria, while spray uniformity was evaluated from specific liquid flow measurements and approximated by a mathematical correlation [1].

The atomizer rotational speed has a significant effect on the droplet diameter. As shown in Fig. 1, stable atomization with droplet diameters of 20–35 μm is achieved at speeds above 5000 rpm. At lower speeds, the droplet size increases to 30–100 μm. Fuel oil and WFE produce larger droplets than water due to their higher viscosity.

The specific flow fields shown in Figs. 3–4 indicate that the maximum specific flow is concentrated near the spray axis and decreases toward the periphery.

With increasing distance from the atomizer, the flow distribution becomes more uniform. Higher gas backpressure and pressure drop also contribute to a more uniform spray, while increasing the atomizer diameter increases the specific flow and spray boundaries. Based on these results, an atomizer with d_a = 2 mm, air pressure h = 25 mm water column, and rotational speed n = 5000 rpm was selected. These parameters provide satisfactory atomization at a fuel flow rate of 1–3 kg/h.

Fig. 2 presents the radial distribution of the atomized liquid for different atomizer diameters.

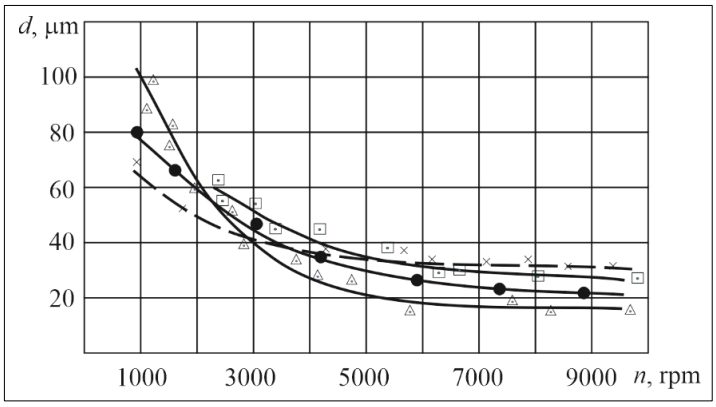


Figure 1 – Dependences of diameter droplets of atomized liquid from revolution number of atomizer cup: ⊡ – fuel oil consumption 1 kg/h; × – WFE consumption 1 kg/h; ● – water consumption 4 kg/h; △ – water consumption 1,2 kg/h

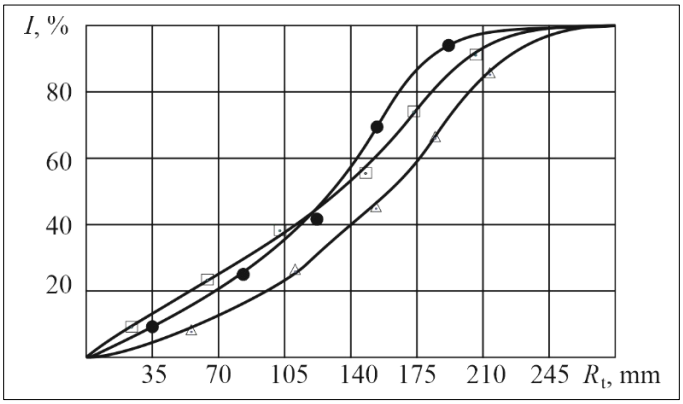


Figure 2 – Dependences of relative distribution of atomized liquid over the radius of the torch with different atomizer diameter d_a: ● – d_a = 2 mm; ⊡ – d_a = 2 mm; ⧋ – d_a = 2 mm

The radius containing 99 % of the atomized liquid, R_{99}, increases with atomizer diameter: 18 mm for d_a = 2 mm, 20 mm for d_a = 2 mm, and 268 mm for d_a = 28 mm.

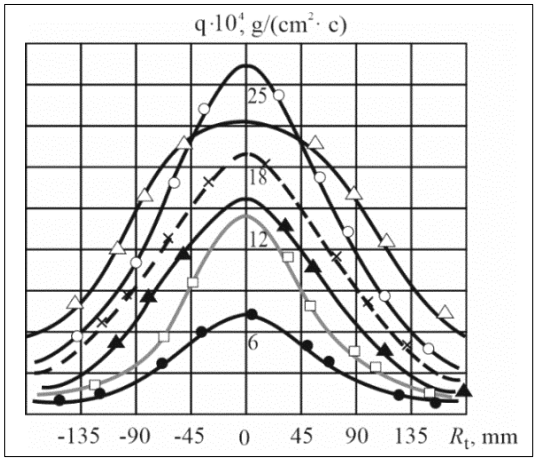


Figure 3 – Specific flow fields of atomized liquid with different atomizer diameter d_a and fluid flow: ● – d_a = 25 mm; ▲ – d_a = 26 mm; ⊙ – d_a = 28 mm; d_a = 2 мм: ⊡ – water consumption 1,0 kg/h; × – WFE consumption 1,0 kg/h; ⧋ – fuel oil consumption 1,0 kg/h

Processing of the experimental data resulted in the following criterion equation for the average WFE droplet diameter:

$$d = 5.8We^{-0.5}La^{0.2}\delta. \quad (1)$$

The equation is applicable within $0.125 < We < 1.2$ and $107 < La < 920$. As shown in Fig. 5, the calculated droplet diameters agree well with the experimental data, particularly at rotational speeds above 5000 rpm.

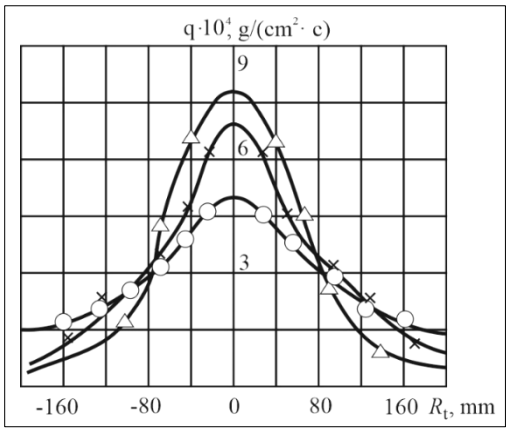


Figure 4 – Specific flow fields of atomized liquid at various distances l from the cutoff of atomizer cup: ⊙ – l = 150 mm; × – l = 250 mm; ⧋ – l = 350 mm

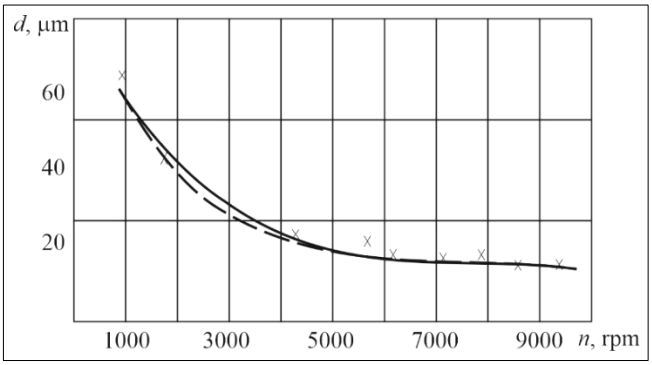


Figure 5 – Dependences of diameter droplets of atomized liquid from revolution number of atomizer cup (atomizer diameter d_a = 2 mm, WFE consumption 1,0 kg/h): – – – – experimental data; —— – calculation data

Conclusions. The effects of atomizer speed, diameter, liquid flow rate, and distance from the atomizer on droplet size and spray distribution were investigated. A criterion equation for determining the average WFE droplet diameter was developed, with an agreement of approximately 5 % with the experimental data. Based on the results, an atomizer with a diameter of 2 mm was selected, providing satisfactory atomization at a flow rate of 1–3 kg/h.

References

[1] Kornienko V., Radchenko R., Konovalov D., Andreev A., Pyrysunko M. Characteristics of the rotary cup atomizer used as afterburning installation in exhaust gas boiler flue. In: Ivanov V. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. LNME. Springer, Cham, 2020. pp. 302–311.

УДК 621.577

КАСКАДНІ ТЕПЛОВІ НАСОСИ «ПОВІТРЯ–ВОДА» ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ РАДІАТОРНОГО ОПАЛЕННЯ В УМОВАХ ХОЛОДНОГО КЛІМАТУ

Бузник А.І.,
аспірант кафедри кондиціювання та рефрижерації
artem.buznik@gmail.com
Радченко А.М.,
кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри турбін
andrad1978@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто можливості застосування теплових насосів каскадного типу (ТНКТ) «повітря–вода» для заміни котлів на викопному паливі в існуючих будівлях із радіаторним опаленням в умовах післявоєнної відбудови України. На основі польових випробувань та експериментальних досліджень останніх років узагальнено показники енергетичної ефективності ТНКТ за розрахункових для опалення температур зовнішнього повітря в Україні −18…−25 °С. Розглянуто схемні та режимні рішення, що підвищують сезонну ефективність ТНКТ: перемикання між каскадним та одноступеневим режимами, авто-каскадні цикли, оптимізацію каскадного теплообмінника, відтавання й теплоакумулювання. Сформульовано напрями подальших досліджень.

Ключові слова: каскадний тепловий насос, тепловий насос «повітря–вода», радіаторне опалення, холодний клімат, енергетична ефективність.

Вступ. Попередні дослідження авторів [1, 2] показали, що ТНКТ «повітря–вода» є перспективною заміною джерел тепла на викопному паливі в існуючих системах теплопостачання, а в умовах відбудови України – доповненням до модернізації систем централізованого теплопостачання (ЦТ). Водночас значна частина житлового та громадського фонду обладнана радіаторними системами опалення, розрахованими на високі температури теплоносія. За низьких температур зовнішнього повітря одноступеневі теплові насоси (ТН) «повітря–вода» працюють із високими ступенями стиснення, що знижує їх теплопродуктивність і COP та обмежує застосування в старих будівлях [3, с. 634]. ТНКТ розподіляють

загальне підвищення температури між двома незалежними контурами, з'єднаними каскадним теплообмінником (КТО), що дозволяє зберігати прийнятні ступені стиснення в кожному ступені.

Метою роботи є узагальнення результатів польових та експериментальних досліджень ТНКТ «повітря–вода» та визначення умов їх ефективного застосування для модернізації існуючих систем радіаторного опалення в Україні.

Виклад основного матеріалу

1. Температурні вимоги. Розрахункова температура зовнішнього повітря для проєктування опалення (найхолодніша п'ятиденка забезпеченістю 0,92) для обласних центрів України становить від −18 °С (Одеса, Ужгород) до −25 °С (Луганськ, Суми), для Києва – −22 °С [4, табл. 2]. За таких умов ТН має забезпечувати температуру подачі 65–75 °С, а також приготування гарячого водопостачання з температурою не нижче 55–60 °С. З урахуванням температурних напорів у теплообмінниках підвищення температури холодоагенту сягає 100 К і більше, що недосяжно для одноступеневого циклу з прийнятними COP і надійністю компресора. Каскадна схема дозволяє підібрати холодоагент під кожний ступінь, зокрема R744 для нижнього ступеня, і забезпечує температуру подачі до 75 °С, без заміни існуючих радіаторів [5, с. 650].

2. Показники ТНКТ у холодному кліматі наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники ТНКТ за низьких температур зовнішнього повітря

Схема, холодоагенти, застосування	t зовн. повітря	Результат	Джерело
Каскад, CO_2/R134a, холодні регіони КНР	−25 °С (номінальна)	сезонний показник HSPF 2,30–2,39; температура води понад 50 °С; працездатність до −45 °С	[6]
Каскад, CO_2/R134a, реконструкція громадської будівлі	−22,2 °С	COP 2,70 за температури в приміщенні 22,4 °С; сезонний COP 2,89; експлуатаційні витрати на 19 % нижчі, ніж від ЦТ	[7]
Авто-каскад, R1234ze(E)/R32	−24 °С	стабільна робота; викиди CO_2 −14,6 %; витрати життєвого циклу −27 %	[8]
Каскад, R410A/R134a, житлові будинки	до −11,2 °С	річний COP < 2,5; скорочення викидів CO_2 на 14–57 %	[3]

За температур −22…−25 °С, що відповідають найхолоднішим регіонам України [4], ТНКТ підтримують комфортні умови в приміщеннях із сезонними показниками ефективності 2,3–2,9 [6, 7] та запасом працездатності до −45 °С [6]. Водночас без теплоакумулювання та оптимізації режимів річний COP може залишатися нижчим за 2,5, а експлуатаційні витрати – не меншими, ніж для газових котлів [3, с. 633]. Отже, вирішальною є не пікова, а сезонна ефективність.

3. Схемні та режимні рішення. Основна частина опалювального сезону припадає на помірні температури зовнішнього повітря, за яких каскадна схема втрачає ефективність через додатковий температурний напір у КТО. Основні резерви підвищення ефективності:

– автоматичне перемикання між каскадним та одноступеневим режимами зменшує енергоспоживання до 19,4 % порівняно з роботою в незмінному режимі [9];

– авто-каскадні цикли з одним компресором спрощують систему та знижують її вартість [8];

– площа КТО має оптимальне значення, після якого приріст ефективності зменшується [10];

– відтавання з використанням теплоакумулятора значно скорочує тривалість і енергоспоживання процесу відтавання [11];

– теплоакумулювання в поєднанні з роботою за диференційованими тарифами знижує експлуатаційні витрати на 16–34 % і викиди на 20–37 % порівняно з рідкопаливними котлами [12] та забезпечує гнучкість, корисну для енергосистеми [2].

4. Обмеження. Бар'єрами залишаються вищі капітальні витрати, складність інтеграції [3, 5] та відсутність досліджень сезонної ефективності ТНКТ для умов України.

Висновки

1. ТНКТ «повітря–вода» забезпечують температуру подачі, сумісну з існуючими радіаторними системами, за температур зовнішнього повітря до −25 °С, що охоплює розрахункові умови всіх обласних центрів України, із сезонними показниками ефективності 2,3–2,9.

2. Основні резерви підвищення сезонної ефективності ТНКТ пов'язані з помірними режимами роботи: перемиканням режимів, оптимізацією КТО, стратегіями відтавання і теплоакумулювання.

3. Потрібні дослідження сезонної ефективності ТНКТ «повітря–вода» для типової будівлі з радіаторним опаленням за кліматичними даними міст України з урахуванням перемикання режимів та оптимальної проміжної температури між ступенями.

Література

[1] Бузник А. І., Радченко А. М. Сучасні методи підвищення ефективності систем теплопостачання на базі багатоступеневого теплового насосу. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : матеріали XV Міжнар. наук.-техн. конф., м. Миколаїв, 26–27 верес. 2024 р. Миколаїв : НУК, 2024. С. 395–399.

[2] Бузник А. І., Радченко А. М. Теплові насоси у системах централізованого теплопостачання: перспективи впровадження в Україні. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : матеріали XVI Міжнар. наук.-техн. конф., м. Миколаїв, 25–26 верес. 2025 р. Миколаїв : НУК, 2025. С. 457–460.

[3] Techno-economic assessment of cascade air-to-water heat pump retrofitted into residential buildings using experimentally validated simulations / K. X. Le et al. *Applied Energy*. 2019. Vol. 250. P. 633–652.

[4] ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Чинний від 2011-11-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.

[5] Analysis on field trial of high temperature heat pump integrated with thermal energy storage in domestic retrofit installation / N. N. Shah et al. *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 143. P. 650–659.

[6] Performance analysis of a R134a/CO2 cascade heat pump in severe cold regions of China / H. Zhang et al. *Energy*. 2022. Vol. 239. P. 122651.

[7] Case study of CO2 cascade air-source heat pump in public building renovation: simulation, field measurement, and performance evaluation / L. Ma et al. *Buildings*. 2026. Vol. 16, no. 1. P. 157.

[8] Wide operating temperature range vapor compression/auto-cascade heat pump air conditioning system adopting zeotropic mixtures: feasibility analysis / Q. Miao et al. *Energy and Buildings*. 2026. Vol. 352. P. 116732.

[9] Cheng J. H., He Y. J., Zhang C. L. New scenario of CO2 heat pump for space heating: automatic mode switch between modified transcritical and cascade cycle in one system. *Applied Thermal Engineering*. 2021. Vol. 191. P. 116864.

[10] Experimental and theoretical investigation on the energetic and economic performance of low-temperature cascade air-source heat pump considering the effects of cascade heat exchanger / Y. Xu et al. *Applied Thermal Engineering*. 2024. Vol. 236. P. 121672.

[11] Improving defrosting performance of cascade air source heat pump using thermal energy storage based reverse cycle defrosting method / M. Qu et al. *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 121. P. 728–736.

[12] Tariff-based load shifting for domestic cascade heat pump with enhanced system energy efficiency and reduced wind power curtailment / K. X. Le et al. *Applied Energy*. 2020. Vol. 257. P. 113976.

CASCADE AIR-TO-WATER HEAT PUMPS FOR RETROFITTING EXISTING RADIATOR HEATING SYSTEMS IN COLD CLIMATES

Buznyk Artem, Radchenko Andrii

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The potential of cascade air-to-water heat pumps to replace fossil-fuel boilers in existing buildings with radiator heating is examined in the context of Ukraine’s post-war reconstruction. Recent field and experimental data are summarised to assess the energy performance of such units at the outdoor design temperatures for heating in Ukraine, from −18 to −25 °C. Circuit and operating solutions that raise seasonal efficiency are discussed, including switching between cascade and single-stage modes, auto-cascade cycles, cascade heat exchanger sizing, defrosting and thermal storage. Directions for further research are outlined.

Keywords: cascade heat pump, air-to-water heat pump, radiator heating, cold climate, energy efficiency.

УДК 621.57

МЕТОДОЛОГІЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ СУДНОВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ

Радченко Р.М.,
кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри теплотехніки
ronirad19@gmail.com
Андреєв А.А.,
кандидат технічних наук, професор НУК
завідувач кафедри суднового машинобудування та енергетики
andrii.andreiev@nuos.edu.ua
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
Серьогін С.М.,
аспірант кафедри кондиціювання та рефрижерації
s.seriogin@gmail.com
Національний університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Паливна економічність малообертових дизельних двигунів знижується з підвищенням температури повітря на вході і надувного. Охолодження повітря трансформацією в холод відведеної теплоти забезпечує стабільну роботу суднових двигунів упродовж рейсу з високою ефективністю. Мета роботи полягає в узгодженні суперечливих вимог щодо зменшення габаритів термо-трансформаторів шляхом їх розвантаження з метою розміщення в машинному відділенні та економії палива завдяки охолодженню циклового повітря. Розроблено методологію раціонального розподілу та визначення теплових навантажень на термотрансформатори комбінованого типу: ефективний, але громіздкий абсорбційний бромистолітієвий термотрансформатор (АТТ) і менш ефективний ежекторний (ЕТТ), придатний для розміщення в машинному відділенні. Розроблено інноваційну систему охолодження трансформацією теплоти, що задовольняє суперечливим вимогам.

Ключові слова: когенерація, суднова дизельна енергоустановка, термотрансформатор, охолодження повітря, теплове навантаження.

Abstract.В суднових енергоустановках (СЕУ) найбільш поширені малообертові дизельні двигуни. Їхня паливна економічність знижується з підвищенням температури циклового повітря: на вході турбокомпресора і надувного [1]. Охолодження повітря забезпечує стабільну роботу суднових двигунів протягом рейсу з високою ефективністю [2]. Найбільш поширені й ефективні абсорбційні бромистолітієві термотрансформатори АТТ: їх коефіцієнт трансформації теплоти COP ≈ 0,7. Однак вони випускаються у вигляді громіздких агрегатів, які здебільшого потребують окремого приміщення. Ежекторні термотрансформатори ЕТТ складаються в основному з теплообмінників, які можна розмістити на бортах і поперечних переборках машинного відділення (МВ), але їхня ефективність значно нижче ніж АТТ: COP = 0,2–0,35 [3]. Дизельні енергоустановки когенераційного типу виробляють гарячу воду з температурою близько 90 °С для теплофікаційних потреб, що призводить до зниження COP ЕТТ майже до 0,2 [3]. Мета роботи – узгодження суперечливих вимог щодо зменшення габаритів термотрансформаторів та економії палива завдяки охолодженню циклового повітря двигуна шляхом раціонального перерозподілу теплових навантажень між АБТТ і ЕТТ. Це в свою чергу вимагає реалізації запропонованої гіпотези, що ґрунтується на парадоксальних, на перший погляд, альтернативних підходах: розвантаженні високо-ефективних, але громіздких АТТ і завантаженні менш ефективних ЕТТ, придатних для розміщення в МВ.

Виклад основного матеріалу. Розроблено методологію визначення теплових навантажень на систему охолодження циклового повітря дизельних двигунів: на вході турбокомпресора і надувного, трансформацією в холод теплоти випускних газів і надувного повітря та їх раціонального розподілу між АТТ і ЕТТ [4]. Реалізовано запропоновану авторами гіпотезу, що ґрунтується на парадоксальних, на перший погляд, альтернативних підходах: розвантаженні високоефективних, але громіздких АТТ і завантаженні менш ефективних ЕТТ, придатних для розміщення в МВ [5, 6]. При цьому дефіцит холодопродуктивності ЕТТ компенсується за рахунок трансформації надлишку тепла, що залишається від розвантаженого (зменшених габаритів) АБТТ, на відміну від традиційної практики, відповідно до якої дефіцит покривається збільшенням холодопродуктивності більш ефективного термотрансформатора (ТТ), у даному випадку АБТТ. Оскільки ЕТТ більш чутливий до зміни навантаження, то він був застосований для охолодження надувного повітря, попередньо охолодженого забортною водою, відповідно, АТТ – для охолодження повітря на вході надувного турбокомпресора. В свою чергу, мінімальне навантаження АТТ (відповідно й габарити) визначалось за розробленою авторами

методологією розрахунку раціонального навантаження, яке забезпечує практично максимальну економію палива за рейс, рік тощо, причому без завищення габаритів ТТ, та оптимального (мінімального), яке забезпечує максимальний темп приросщення економії палива [4]. В межах від оптимального до раціонального і можливий вибір навантаження, відповідно й габаритів, АТТ. Виходячи з інноваційних підходів і гіпотез, розроблено методологію раціонального розподілу теплових навантажень на АТТ і ЕТТ з урахуванням їх поточних упродовж рейсу величин та новітні схемні рішення тепловикористовуючих систем охолодження повітря двигунів за знижених на 10–20 % габаритів АТТ (залежно від дискретності типорозмірного ряду АТТ фірм-виробників), придатних для розміщення в межах суднових МВ [5, 6].

Висновки

1. Розроблено методологію раціонального розподілу і визначення теплових навантажень на термотрансформатори комбінованого типу (АТТ і ЕТТ) системи охолодження циклового повітря (на вході і надувного) дизельних двигунів.
2. Розроблено математичну модель обчислення поточних упродовж рейсу теплових навантажень системи охолодження повітря двигунів, виходячи з яких визначено проєктні теплові навантаження на АТТ і ЕТТ за знижених на 10-20 % габаритів АТТ (залежно від дискретності типорозмірного ряду виробників).
3. Верифікацію раціонального розподілу і проєктних теплових навантажень на АТТ і ЕТТ підтверджено результатами обчислення поточних упродовж рейсу і середньозважених за рейс величин теплових навантажень.
4. Розроблено новітні схемні рішення тепловикористовуючих систем охолодження повітря з перерозподілом теплових навантажень на АТТ і ЕТТ в залежності від поточних витрат холодопродуктивності на охолодження повітря на вході турбокомпресорів двигунів і надувного.
5. Обґрунтовано концепцію охолодження циклового повітря двигунів комбінованою трансформацією теплоти в АБТТ і ЕТТ зменшених габаритів як основи нового напряму розвитку суднових когенераційних установок.

Література

[1] MAN Diesel Turbo, CEAS Engine Calculations [Online], available at: https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas. (accessed on 30 July 2025)

[2] Yang Z., Radchenko R., Radchenko M., Radchenko A., Kornienko V. Cooling potential of ship engine intake air cooling and its realization on the route line. *Sustainability* 2022, 14, 15058. https://doi.org/10.3390/su142215058

[3] Radchenko R., Kornienko V., Pyrysunko M., Bogdanov M., Andreev A. Enhancing the Efficiency of Marine Diesel Engine by Deep Waste Heat Recovery on the Base of Its Simulation Along the Route Line. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) ICTM 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing (2020), vol. 1113. Springer, Cham, P. 337–350. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_29

[4] Radchenko A., Radchenko M., Mikielewicz D., Radchenko R., Andreev A. A novel degree-hour method for rational design loading. Proc. Inst. Mech. Eng. Part A: *Journal of Power and Energy* 2022; 237 (3): 570–579. https://doi.org/10.1177/09576509221135659

[5] Radchenko R., Radchenko A., Mikielewicz D., Radchenko M., Pavlenko A., Andreev A. Adaptable Management for Cooling Cyclic Air in Ship Power Plants by Heat Conversion – Part 1: Downsizing strategy for cogeneration plants. *Energy 2024, EGY_133845*. DOI: 10.1016/j.energy.2024.133845

[6] Koshlak H., Radchenko R., Radchenko A., Andreev A., Radchenko M., Liu Y., Serogin S., Pozdieiev V. A Key to Fuel Saving in Combustion Engines–Part 1: General Approaches and Concept of Cooling Cyclic Air in Marine Cogeneration Plants. *Fuels* 2026, Vol. 7, Issue 4, . https://doi.org/10.3390/fuels7040067

METHODOLOGY FOR THE RATIONAL DISTRIBUTION OF THERMAL LOAD AMONG THERMAL TRANSFORMERS OF COMBINED TYPE IN THE AIR COOLING SYSTEM OF A MARINE COGENERATION POWER PLANT

Radchenko Roman, Andreev Andrii, Serogin Sergii

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The fuel efficiency of low-speed diesel engines decreases as intake and charge air temperatures rise. Cooling the air by converting waste heat into refrigeration ensures stable, high efficiency operation of marine engines throughout a voyage. The aim of the research is to satisfy conflicting requirements: downsizing the thermal transformers through their downloading to place within the engine room while simultaneously fuel savings through cooling cyclic air. A methodology has been developed for the rational distribution and determination of thermal loads on combined-type thermal transformers: the efficient but cumbersome lithium-bromide absorption thermal transformer (ATT) and the less efficient but yet engine-room-compatible ejector thermal transformer (ETT). An innovative heat recovery cooling system has been developed to meet these conflicting requirements.

Keywords: cogeneration, marine diesel energy plant, thermotransformer, cooling air, thermal load.

УДК 621.57

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОЇ ДИЗЕЛЬНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ ТРАНСФОРМАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ВИПУСКНИХ І РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ З ОХОЛОДЖЕННЯМ ПОВІТРЯ

Радченко Р.М.,
кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри теплотехніки
ronirad19@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
Серьогін С.М.,
аспірант кафедри кондиціювання та рефрижерації
s.seriogin@gmail.com
Шаригін О.В.,
аспірант кафедри кондиціювання та рефрижерації
alaysor@gmail.com
Національний університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Зменшення токсичних викидів суднових дизельних енергоустановок (СДЕУ) пов'язане передусім з оксидами азоту NOx, які є домінуючою токсичною компонентою і утворюються в камері згоряння за високих температур при окисленні азоту у складі повітря як робочого тіла. Одним із основних напрямів скорочення токсичних викидів блокуванням доступу кисню з відповідним зниженням температури згоряння є рециркуляція випускних газів (РВГ). Однак енергетичні витрати на циркуляцію й очищення випускних газів їх зрошенням у скруберах, як і теплові втрати при їх попередньому охолодженні відведенням теплоти забортною водою істотно впливають на паливну економічність СДЕУ. Утилізація теплових втрат шляхом їх трансформації в холод з охолодженням надувного повітря і на вході турбокомпресора здатна не тільки компенсувати енерговитрати на рециркуляцію й очищення газів, а й поліпшити паливну економічність СДЕУ порівняно з базовим варіантом без рециркуляції. За результатами аналізу існуючих способів рециркуляції випускних газів (РВГ) виявлено резерви підвищення їх енергетчної ефективності, розроблено інноваційні схемно-технічні рішення комбінованої трансформації скидної теплоти з охолодженням циклового повітря двигунів за різних способів РВГ. Їхню ефективність підтверджено результатами розрахунків паливної економічності СДЕУ на конкретній рейсовій лінії за змінних кліматичних умов експлуатації.

Ключові слова: випускний газ, рециркуляція, теплові втрати, термотрансформатор, охолодження повітря, суднова дизельна енергоустановка.

Вступ. Відомі дослідження з підвищення ефективності рециркуляції випускних газів (РВГ) обмежуються аналізом трансформації в холод лише теплоти рециркуляційних газів після турбіни турбокомпресора (ТК) з їх подачею в наддувний ресивер. Не досліджено різні способи рециркуляції як об'єкти підвищення енергетичної ефективності утилізацією втрат теплоти з охолодженням повітря двигунів: подачею рециркуляційних випускних газів після турбіни турбокомпресора на вхід турбокомпресора, та рециркуляцією газів з випускного ресивера (в обхід турбіни ТК) в надувний ресивер [1–4].

Не вирішена проблема визначення раціональних проєктних теплових навантажень систем охолодження повітря двигунів за різних способів РВГ.

Мета дослідження – підвищення екологоенергетичної ефективності СДЕУ трансформацією теплоти випускних і рециркуляційних газів (РГ) з охолодженням повітря двигунів.

Виклад основного матеріалу. За результатами аналізу існуючих способів РВГ [1–4] виявлено резерви підвищення їх ефективності з використанням відведеної теплоти, включно з її втратами при охолодженні РГ відведенням теплоти забортною водою.

Розроблено математичні моделі систем охолодженням повітря двигунів трансформацією теплоти випускних і РГ газів термотрансформаторами (ТТ) комбінованого типу за різних способів РВГ, які враховують поточні теплові навантаження упродовж рейсу за змінних кліматичних умов експлуатації [5, 6].

Розроблено методологію визначення раціональних теплових навантажень на ТТ комбінованого типу: абсорбційний бромистолітієвий (АТТ) і ежекторний (ЕТТ) за різних способів РВГ. За раціональних проєктних теплових навантажень ТТ забезпечують практично максимальну економію палива за рейс, рік тощо, причому без завищення габаритів [7, 8].

Розроблено інноваційні схемно-технічні рішення комбінованої трансформації скидної теплоти з охолодженням повітря двигунів за різних способів РВГ, які дозволяють перерозподіляти теплові навантаження між АТТ і ЕТТ та об'єктами охолодження: повітря на вході ТК та надувного повітря.

Їхню ефективність підтверджено результатами розрахунків паливної економічності СДЕУ на конкретній рейсовій лінії за змінних кліматичних умов.

Висновки

1. Розроблено математичну модель розрахунку поточних упродовж рейсу теплових навантажень на АТТ і ЕТТ системи охолодження повітря СДЕУ трансформацією відведеної теплоти, включно з тепловими втратами при попередньому охолодженні рециркуляційних випускних газів.
2. Розроблено методологію визначення раціональних проєктних теплових навантажень на АТТ і ЕТТ з урахуванням способу рециркуляції випускних газів.
3. Верифікацію проєктних теплових навантажень на АТТ і ЕТТ проведено за результатами розрахунку поточних упродовж рейсу теплових навантажень.
4. Розроблено новітні схеми тепловикористовуючих систем охолодження повітря за різних способів рециркуляції випускних газів.
5. Екологічну й енергетичну ефективність систем визначено за сумарними упродовж рейсу економією палива і скороченням шкідливих викидів.
6. Обґрунтовано концепцію підвищення екологоенергоефективності СДЕУ з РВГ завдяки компенсації енергетичних втрат на рециркуляцію й очищення газів шляхом охолодження циклового повітря комбінованою трансформацією відведеної теплоти в АБТТ і ЕТТ.

Література

[1] Exhaust Gas Emission Control Today and Tomorrow. Application on MAN B&W Two-stroke Marine Diesel Engines. 30 p., 5.1–5.28, MAN Diesel A/S, Copenhagen, DenmarkMAN

[2] Fournier A. Controlling Air Emission from Marine Vessels: Problems and Opportunities. A. Fournier. – University of Cali-fornia Santa Barbara, 2006. – 85 p.

[3] Reduction of SO2, NOx and Particulate Matter from Ships with Diesel Engines Environmental Project [Електронний ресурс]: no. 1510, 2014. P. 114.

[4] Bent N. 8500 TEU Container Ship Green Ship of the Future Concept study, 2009, Odense Steel Shipyard Ltd, [Online], available at: https://www.dendanskemari-timefond.dk/wp-content/uploads/2016/04/Green-Ship-Report-Containership-4Dec09. pdf (Accessed 3 October 2024).

[5] Yang Z., Radchenko R., Radchenko M., Radchenko A., Kornienko V. Cooling potential of ship engine intake air cooling and its realization on the route line. Sustainability 2022, 14, 15058. https://doi.org/10.3390/su142215058

[6] Radchenko R., Kornienko V., Pyrysunko M., Bogdanov M., Andreev A. Enhancing the Efficiency of Marine Diesel Engine by Deep Waste Heat Recovery on the Base of Its Simulation Along the Route Line. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) ICTM 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing (2020), vol. 1113. Springer, Cham, P. 337–350. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_29

[7] Radchenko R., Radchenko A., Mikielewicz D., Radchenko M., Pavlenko A., Andreev A. Adaptable Management for Cooling Cyclic Air in Ship Power Plants by Heat Conversion – Part 1: Downsizing strategy for cogeneration plants. Energy 2024, EGY_133845. DOI: 10.1016/j.energy.2024.133845

[8] Koshlak H., Radchenko R., Radchenko A., Andreev A., Radchenko M., Liu Y., Serogin S., Pozdieiev V. A Key to Fuel Saving in Combustion Engines. Part 1: General Approaches and Concept of Cooling Cyclic Air in Marine Cogeneration Plants. Fuels 2026, Vol. 7, Issue 4. https://doi.org/10.3390/fuels7040067

IMPROVING ENVIRONMENTAL AND ENERGY EFFICIENCY OF MARINE DIESEL POWER PLANT THROUGH TRANSFORMATION OF EXHAUST AND RECIRCULATED GAS HEAT FOR AIR COOLING.

Radchenko Roman, Serogin Sergii, Sharygin Oleksandr

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Reducing toxic emissions from marine diesel power plants (MDPPs) primarily concerns nitrogen oxides (NOx); these are the dominant toxic component, formed in the combustion chamber at high temperatures through the oxidation of nitrogen present in the intake air (as the working fluid). Exhaust gas recirculation (EGR) is a key method for reducing toxic emissions by restricting oxygen access, thereby lowering combustion temperatures. However, the energy required to circulate and clean exhaust gases (via scrubbing) and the thermal losses during pre-cooling by seawater significantly impact the MDPP's fuel economy. Recovering these thermal losses by converting them into cooling capacity–specifically for the charge air and the air at the turbocharger inlet–can not only offset the energy spent for EGR and gas cleaning but also improve fuel economy compared to a baseline configuration without recirculation. An analysis of existing EGR methods revealed opportunities to

enhance energy efficiency, leading to the development of innovative system designs for the combined transformation of waste heat to cool engine intake air across various EGR configurations. The effectiveness of these solutions has been validated through fuel economy calculations for an MDPP operating on a specific ship route under varying climatic conditions.

Keywords: exhaust gas, recirculation, heat losses, thermal transformer, air cooling, marine diesel power plant.

УДК 620.9:620.22:536.2

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В ЕНЕРГООЩАДНИХ СИСТЕМАХ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Свердліковська О.С.,
доктор хімічних наук, професор
Козлов Я.М.,
кандидат технічних наук, доцент
Подолинний І.О., Потапчук М.О.,
аспіранти, Навчально-науковий інститут
«Український державний хіміко-технологічний університет»
Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро, Україна
e-mail: i.o.podolini@ust.edu.ua

Анотація. Узагальнено матеріалознавчі закономірності формування композиційних матеріалів з фазовим переходом, що визначають ефективність акумулювання та контрольованого віддавання теплоти. Розглянуто вплив температури й ентальпії фазового переходу, теплопровідності, частки активної фазозмінної складової та циклічної стабільності на функціональні характеристики теплоакумулюючих композицій. Обґрунтовано перспективність використання встановлених закономірностей для функціонально орієнтованого проєктування енергоощадних теплоакумулюючих і терморегулюючих систем об’єктів морської інфраструктури.

Ключові слова: композиційні матеріали, PCM, фазовий перехід, акумулювання теплоти, теплопровідність, енергоефективність, морська інфраструктура.

Підвищення енергоефективності об’єктів морської інфраструктури є важливим напрямом розвитку портових і берегових комплексів. Їх експлуатація супроводжується змінними тепловими навантаженнями та потребою підтримувати заданий температурний режим у будівлях, технологічних, складських і допоміжних приміщеннях. Перспективним рішенням є застосування матеріалів, здатних накопичувати надлишкову теплоту в період її доступності та контрольовано віддавати її за зміни температурних умов.

Композиційні матеріали з фазовим переходом здатні накопичувати значну кількість теплоти у відносно вузькому температурному інтервалі за рахунок прихованої теплоти фазового переходу. Їх використання сприяє згладжуванню температурних коливань, зменшенню пікових навантажень на системи опалення й охолодження та ефективнішому використанню низькопотенційної і вторинної теплоти. Функціональна ефективність таких матеріалів визначається взаємозв’язком «склад – структура – властивості – функціональність»: фазозмінна складова формує теплоакумулюючу здатність і робочий температурний інтервал, матриця забезпечує формостабільність, а теплопровідні наповнювачі інтенсифікують теплообмін.

Метою роботи є узагальнення матеріалознавчих критеріїв формування композиційних PCM та обґрунтування перспектив їх застосування для створення енергоощадних теплоакумулюючих і терморегулюючих систем об’єктів морської інфраструктури.

Аналіз опублікованих експериментальних даних, систематизованих у межах дисертаційного дослідження, дозволив установити характерні кількісні залежності між складом, структурою та теплофізичними властивостями композиційних PCM. Визначальним параметром є температура фазового переходу, яка має відповідати робочому температурному режиму системи. Для композиції метилпальмітат–гексадеканол за співвідношення компонентів 1:9 температура фазового переходу становила 23,48 °C, а ентальпія – 221 Дж/г [1, с. 1]. Після 500 циклів нагрівання–охолодження суттєвих змін основних характеристик не виявлено. У теплоакумулюючій конструкції ця композиція забезпечувала зниження денного максимуму температури на 3,0 °C та підвищення нічного мінімуму на 3,2 °C [1, с. 1]. Отже, високий теплоакумулюючий ефект реалізується лише за узгодження температури переходу з фактичним режимом експлуатації.

Не менш важливою властивістю є теплопровідність, оскільки її низькі значення обмежують швидкість проходження циклу «накопичення – віддавання теплоти». У системах «парафін–розширений графіт» теплопровідність вихідного парафіну становила 0,31 Вт/(м·К), тоді як у композиціях із розширеним графітом досягала 0,65–0,81 Вт/(м·К), тобто збільшувалася приблизно на 110–161 % [2, с. 12]. Водночас підвищення частки високотеплопровідного наповнювача зменшує вміст активної фазозмінної складової. Тому оптимізацію складу доцільно здійснювати за співвідношенням достатньої інтенсивності теплопередачі та високої теплоакумулюючої здатності, а не шляхом максимізації одного показника.

Перспективним є формування багатофункціональних композицій, у яких структурна складова забезпечує декілька експлуатаційних властивостей. У системі на основі карбонізованої бальсової деревини вміст фазозмінного компонента досягав 92, мас. %, ентальпія фазового переходу перевищувала 190 Дж/г, а фототермічна ефективність становила понад 88 % [3, с.1]. За модельного опромінення температура фазозмінного компонента після 70 хв досягала 71,5 °С проти 40,3 °С у контрольному варіанті, а тривалість підтримання температури понад 20 °С збільшувалася на 15,3 хв [3, с. 1]. Пориста карбонізована матриця в цій системі одночасно утримує фазозмінну речовину, інтенсифікує теплообмін і забезпечує фототермічне перетворення енергії.

Для неорганічних фазозмінних матеріалів важливим обмеженням є переохолодження, яке може спричиняти несвоєчасне вивільнення накопиченої теплоти. Для модифікованої композиції на основі $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ температура фазового переходу становила 20,6 °С, ентальпія – 172,7 Дж/г, а ступінь переохолодження – лише 1,48 °С [4, с. 1]. Її використання забезпечувало зниження температури регульованої зони приблизно на 6 °С, а поєднання з активною системою охолодження – зменшення енергоспоживання на 16,75–28,35 кВт·год/добу [4, с. 1]. Це підтверджує можливість застосування РСМ не лише для накопичення теплоти, а й для пасивного або комбінованого температурного регулювання.

Для об’єктів морської інфраструктури встановлені закономірності можуть бути основою проєктування теплоакумулюючих модулів берегових і портових споруд, технологічних приміщень, буферних елементів систем опалення й охолодження та систем накопичення низькопотенційної або вторинної теплоти. Особливий інтерес становить інтеграція РСМ-композицій у конструктивні елементи будівель і споруд, що дозволяє поєднувати теплоізоляційну, теплоакумулюючу та терморегулюючу функції.

Специфіка морського середовища висуває додаткові вимоги до матеріалів: стійкість до підвищеної вологості та солевмісного середовища, герметичність теплоакумулюючих модулів, корозійну сумісність із конструкційними матеріалами та стабільність властивостей за тривалої циклічної експлуатації. Тому пряме перенесення відомих композиційних РСМ в умови морської інфраструктури без експериментальної перевірки є недоцільним. Функціонально орієнтований підхід передбачає послідовне визначення призначення теплоакумулюючого елемента і реального температурного режиму, необхідного комплексу властивостей, а надалі – формування структури та складу композиції.

Висновки. Ефективність композиційних матеріалів з фазовим переходом визначається не максимальним значенням окремого теплофізичного показника, а узгодженням температури й ентальпії фазового переходу, теплопровідності, частки активної фази, структурної та циклічної стабільності. Взаємозв’язок «склад – структура – властивості – функціональність» дозволяє розглядати РСМ-композиції як перспективну матеріалознавчу основу енергоощадних систем морської інфраструктури. Найбільш перспективними напрямами є теплоакумулюючі модулі портових і берегових споруд, елементи пасивного терморегулювання та системи накопичення вторинної теплоти. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оцінювання волого- і солестійкості, корозійної сумісності, герметичності та довготривалої циклічної стабільності матеріалів.

Література

[1] Yang A., Xu X., Jia S., Hao W. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2024. Vol. 54. Art. 102837. DOI: 10.1016/j.tsep.2024.102837.

[2] Feng L., Wu J., Sun W., Cai W. *Energies*. 2022. Vol. 15 (12). Art. 4201. DOI: 10.3390/en15124201.

[3] Zhang N., Pan X., Zhang Z. et al. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2024. Vol. 266. Art. 112699. DOI: 10.1016/j.solmat.2024.112699.

[4] Qin F., He R., Zhong L. et al. *Energy and Buildings*. 2026. Vol. 350. Art.116687. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116687.

COMPOSITE PHASE CHANGE MATERIALS IN ENERGY-EFFICIENT MARINE INFRASTRUCTURE SYSTEMS

Sverdlikovska O. S., Kozlov Ya. M., Podolynnyi I. O., Potapchuk M. O.

Educational and Scientific Institute “Ukrainian State University of Chemical Technology” of the Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Abstract. The materials science relationships governing the formation of composite phase change materials and determining the efficiency of thermal energy storage and controlled heat release are summarized. The effects

of phase transition temperature and enthalpy, thermal conductivity, active phase fraction, and cyclic stability on the functional characteristics of thermal storage composites are considered. The established relationships are substantiated as a basis for function-oriented design of energy-efficient thermal storage and thermoregulation systems for marine infrastructure facilities.

Keywords: composite materials, phase change materials, phase transition, thermal energy storage, thermal conductivity, energy efficiency, marine infrastructure.

UDC 621.51

REDUCTION OF GAS-DYNAMIC LOSSES IN HIGH-SPEED HERMETIC COMPRESSORS OF SHIPBOARD AIR CONDITIONING SYSTEMS

Lytosh O.V.,
Ph.D., associate professor
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
olena.lytosh@nuos.edu.ua

Abstract. The results of research gas dynamical performances of valving knots and gas ducts of high-turning hermetic compressors of marine air conditions were presented. The numerical values of resistance coefficients of valving knots and ducts, the values of gas velocities in it and dependence this performances from operating condition of compressor were conducted.

Keywords: hermetic compressor, gas dynamical performances, duct, valving knots.

Introduction. Energy losses caused by hydraulic resistance in the suction and discharge valve assemblies and in the corresponding gas-flow passages of high-speed reciprocating Freon compressors used in marine air-conditioning systems amount to 19–22 % of the energy consumed by the compressor electric motor [1, 3, 4, 6]. The greatest losses are due to resistance in the discharge and suction gas passages (up to 53 %).

Accordingly, investigation of the gas-dynamic characteristics of these compressor components is of particular importance for identifying ways to reduce energy losses.

Aim. Investigation of the gas-dynamic characteristics in the suction and discharge valve assemblies and in the corresponding gas-flow passages of high-turning reciprocating freon compressors is of particular importance for identifying ways to reduce energy losses.

Main material. The experimental study was carried out on a KKhGV-14 (КХГВ-14) hermetic compressor designed for marine self-contained air conditioners [2, 5]; for this compressor, losses in the valves and channels are the highest.

The compressor is a two-cylinder unit with a cylinder diameter of 5 mm, a piston stroke of 2 mm, a refrigeration capacity of 17 kW under nominal operating conditions, and a rotational speed of 66.7 s^{-1} at a power-supply frequency of 400 Hz.

The suction valves are annular valves with two support projections for the lift limiter. The discharge valves are also annular and are equipped with annular buffer plates of special configuration and a lift limiter. The valve plate contains a number of suction and discharge channels arranged around the circumference. The plate lift of the discharge valve is mm, and that of the suction valve is 1. mm.

The gas-dynamic characteristics were investigated by simulating the working medium: instead of refrigerant, the valve assemblies and channels were blown through with compressed air. The modelling was approximate because the adiabatic exponents of air and the refrigerant are not identical. During testing, the gas-flow regime was maintained according to the Reynolds criterion Re_c, referred to the cylinder cross-sectional area; that is, the cylinder diameter d_c was taken as the determining dimension, since for a given design the geometrical ratios in the valve assembly depend only on the cylinder diameter.

Since the flow in the valves is subcritical under full-scale operating conditions, the condition $P_2/P_1 > 0.528$ was maintained in the model air-flow regimes. Here P_1 and P_2 are the air pressures upstream and downstream of the assembly under investigation.

The tests were carried out in the following sequence: first, the valve assembly and its individual elements were blown through with air; next, the suction and discharge gas-flow passages were tested separately. The air blow-through data were compared with the results of compressor tests (indicator measurements) performed with refrigerant.

The experimental results showed that, for the considered class of high-speed compressors, the value of ζ_v for annular valves lies within the range 2.4-4.2, which is approximately 1.5-2 times higher than the values recommended in the literature for annular valves of reciprocating refrigeration compressors.

Investigation of the assembled discharge-valve components made it possible to evaluate the influence of the buffer plate on its gas-dynamic characteristics. It was established that, when the buffer plate is present, the value of ζ_v increases by nearly 50 %.

The characteristics of the Tecumseh (USA) CL compressor discharge valve that we tested agree well with the experimental data obtained. The parameters of this compressor are close to those of the KKhGV-14: its refrigeration capacity is approximately 14 kW at a power-supply frequency of 60 Hz, d_c = 45. mm, discharge-valve lift is 1. mm, and suction-valve lift is mm. The value of ζ_v for the CL compressor suction valve is somewhat lower (by approximately 8 %), mainly due to the better design of the flow-through part of the channels in the valve plate.

Conclusions. A comparison of the experimental results with the data obtained from operation of the valves as part of a Freon compressor showed satisfactory agreement; the scatter of individual points did not exceed 15–20 %. On this basis it was concluded that, for quantitative and qualitative assessment of the gas-dynamic quality of valves and gas passages in high-speed hermetic compressors, these components can be tested with air. As a result, the experiment is substantially simplified and, consequently, so is the compressor development process.

Based on the compressor tests with refrigerant, the gas-dynamic characteristics of the valve assemblies and gas-flow passages were determined as functions of compressor operating mode.

Using the obtained values of ζ_p and the recommended gas velocities in passage elements, the cross-sections of the discharge tube and the suction ports in the valve plate were calculated. Tests of a compressor with a 1.2-fold increase in the flow cross-section of the suction windows in the valve plate and a larger cross-section of the discharge tube (the internal diameter was adopted as 1 mm instead of 1 mm) showed that the cooling capacity remained virtually unchanged, while the refrigeration coefficient increased, for example, when operating in nominal mode by more than 10 %.

The study results were used in the development and refinement of new hermetic compressor with shaft rotational speed of 66.7 s^{-1} at a current frequency of 400 Hz for marine air conditioners of amphibious vessels.

References

[1] Dorosh V.S., Zakharov V.Iu. (1983) Doslidzhennia obiemnykh ta enerhetychnykh vtrat ta pokaznykiv sudnovykh vysokooborotnykh hermetychnykh freonovykh kompresoriv. [Research into volumetric and energy losses and performance of shipboard high-speed hermetic freon compressors]. *Teplotekhnika ta kholodotekhnika*, 24–34 [in Ukrainian]/

[2] Dorosh V.S., Kolomiiets Yu.K., Redkozub B.D. (1975) *Vysokooborotnyi hermetychnyi kompressor dlia avtonomnykh sudnovykh kondytsioneriv*. [High-speed hermetic compressor for autonomous marine air conditioners]. *Holodil'na tekhnika,* (2), 8–10 [in Ukrainian].

[3] Dorosh V.S., Nazarenko I.A., Lytosh O.V. (2005) Germetichni kholodilni mashini dlya proviziinikh kladovikh [Hermetic refrigeration machines for food pantries]. *Holodil'na tekhnika i tekhnologiya – Refrigeration equipment and technology*, 4 (96), 62–64 [in Ukrainian].

[4] Dorosh V.S., Shchetinin A.H., Mashnitskyi V.H. *Indytsiiuvannia vysokooborotnoho hermetychnoho kompresora dlia avtonomnykh sudnovykh kondytsioneriv*. [Indication of a high-speed hermetic compressor for autonomous ship air conditioners] / V.S. Dorosh. Materiali n.-t. konf. "*Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti ta yakosti doslidzhen ta rozrobok sudnovykh system kondytsiiuvannia povitria ta pryskorennia vprovadzhennia rezultativ u vyrobnytstvo*". Mikolayiv: MKI, 1978. – S. 63 – 66 [in Ukrainian].

[5] Dorosh V.S. (2002) Stvorennia ta vdoskonalennia unifikovanoho vysokooborotnoho hermetychnoho kompresora dlia avtonomnykh kondytsioneriv amfibiinykh suden. [Creation and improvement of a unified high-speed hermetic compressor for autonomous air conditioners of amphibious vessels]. *Zb. nauk. pr. UDMTU – Zb. Sci. Ave. USMTU*, 1 (379), 75–82 [in Ukrainian].

[6] Radchenko N.I., Dorosh V.S., Radchenko A.N., Radchenko R.N., Lytosh O.V. (2011) *Germetichni parokompresorni kholodilni mashini sudnovikh sistem konditsiyuvannya ta refrizheratsiї [*Hermetic vapor compression refrigeration machines of the ship systems of conditioning and refrigeration*]*. Mykolaiv: NUS [in Ukrainian].

UDC 621.51

PRINCIPLES FOR DEVELOPING A COUPLED MATHEMATICAL MODEL OF A COMPACT MARINE REFRIGERATION MACHINE FOR A PROVISION STOREROOM

Lytosh O.V.,
Ph. D., associate professor
olena.lytosh@nuos.edu.ua
Anatolii Prylutskyi, PhD student
anpryl@gmail.com
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Principles for organizing a coupled model of a compact marine refrigeration machine with a hermetic compressor unit are proposed. The composition of the computational blocks, the interface variables between them, and the conditions for coordinating the energy and thermal descriptions are defined. The result is methodological in nature and does not constitute a completed numerical implementation of the model.

Keywords: marine refrigeration machine; provision storeroom; hermetic compressor unit; coupled model; thermal state.

Introduction. When modeling a compact marine refrigeration machine, it is important to distinguish between the characteristics of an individual component and its operating mode within the circuit. In the study by [1], using a provision-storeroom refrigeration machine as an example, the influence of temperature differences in the heat exchangers and the characteristics of the hermetic compressor unit (HCU) on cooling capacity and coefficient of performance (COP) was considered. Further development of such a description requires determining how component parameters should be coordinated when heat transfer, hydraulic losses, and the thermal state of the HCU are considered in a coupled manner.

System-level modeling of vapor-compression refrigeration machines is already used. In CYCLE_D-HX, saturation temperatures are linked to heat-transfer conditions; the basic cycle accounts for pressure losses and provides different methods for representing the compressor [2]. The ACSIM program combines the compressor, finned-tube heat exchangers, expansion devices, and connecting piping [3]. These are examples of a system-level approach, not validated HGV-1 models. The subject of this study is the structure of a model for the selected marine system, including the thermal state of the HCU.

Aim. The aim of the study is to justify the structure of the coupled model, the interface variables, and the boundaries of the baseline formulation.

Main material. The research method is a targeted analysis of published models and a structural-functional comparison of their input and output variables. The result is presented at the level of model structure, interconnections among components, and requirements for future numerical implementation.

Scope and Initial Assumptions

A single-stage refrigeration machine serving one cooled provision storeroom with an air temperature of about 0 °C is adopted as the study object. The reference values are an actual cooling capacity of 8–10 kW and the HGV-14 reciprocating HCU. These are adopted study boundaries rather than the result of a new calculation. R22 is intended to be used only as a reference working fluid for reproducing published operating conditions [1], not as a recommendation for new installations.

The baseline case is the steady-state characteristic of the machine at a specified storeroom air temperature, fixed geometry, and fixed HCU rotational speed. The thermal load is specified independently and compared with the available cooling capacity. This does not imply thermal equilibrium of the storeroom at any load: equilibrium requires the heat gains to match the useful heat removal. A cooling-capacity deficit means that the specified temperature cannot be maintained under that operating condition; excess capacity requires control, which is not modeled here. Cyclic operation, defrosting, and transient processes are excluded. The state of the air-cooler surface is prescribed, and frost accumulation is not predicted.

The marine-specific nature of the problem is proposed to be represented through layout constraints, specified cooling conditions for the condenser and HCU casing, and monitoring of the thermal state of the unit. With water cooling, the water temperature and the air temperature around the HCU should be specified separately. Ship motions, heel, and vibration are not considered to be accounted for merely because the object is marine: their influence would require separate models and data that are outside the present formulation.

Structure and I**nterface Variables**

It is proposed to distinguish blocks for the HCU, air cooler, condenser, piping, and expansion device, as well as a common thermophysical property block and a coupling block. The thermal description of the HCU should be implemented as a submodel of the compressor block. The refrigeration cycle is therefore a consistent set of states

in the circuit rather than an independent block that redefines parameters already determined by the component models.

External conditions and geometry → coupling block
Coupling block ↔ circuit component models
Compressor block ↔ HCU thermal-state submodel
Refrigerant properties → all component blocks
Converged states → machine performance and constraint checks
Scheme 1. Proposed organization of information exchange

For component interfaces, refrigerant mass flow rate, absolute pressure, and specific enthalpy are proposed as the exchange variables. For a specified fluid and an adopted phase-equilibrium model, the properties block will determine temperature, density, and phase state, as well as the transport properties required for thermal-hydraulic calculations. The properties of pure R22 are assumed for states in the baseline circuit; accounting for circulating oil requires separate justification. At the interfaces, output and input variables, units, flow directions, and reference states for thermophysical properties are coordinated.

The compressor block should relate the suction state and discharge pressure, at a specified rotational speed, to refrigerant mass flow rate, electrical power, and the refrigerant discharge state. Characteristics at another rotational speed are not assumed known without corresponding data. The thermal submodel supplements the description with the temperatures of components, oil, and refrigerant. The published model [4] includes energy balances for the principal HCU elements and heat transfer between them. Its structure can be used as a methodological basis; transferring numerical parameters to the HGV-14 and reconciling the equations require separate verification.

The air-cooler block is proposed to represent the coupling between the storeroom air and the refrigerant, with separation of the boiling and superheating sections where present. In addition to temperature, the air flow rate and humidity must be specified, and the method for accounting for or neglecting moisture removal must be stated explicitly. The block will provide heat-transfer rate, refrigerant state, and pressure drop. Data on boiling in horizontal tubes [5] may be used to validate the in-tube heat-transfer calculation after the working fluid and conditions are clarified, but they do not validate the air cooler as a whole.

For the condenser, it is proposed to distinguish desuperheating, condensation, and liquid subcooling where the corresponding zones are present in the operating condition considered. The type of cooling medium must be specified: water-cooled and air-cooled variants require separate, internally consistent sets of boundary conditions. The piping blocks should transmit changes in pressure and enthalpy. Losses between components should be separated from losses inside them; subcooling at the condenser outlet does not replace verification of the liquid state upstream of the expansion device.

Principles for Model Closure and Coupling

The first principle is to separate prescribed variables from unknowns. For fixed components and external conditions, the evaporation and condensation temperatures are proposed to be determined as part of the coupled solution. They may be prescribed in separate verification cases, but such a mode should not be equated with a full calculation of the operating point. If pressure drop is accounted for in a component, it is also necessary to specify the cross-section to which the stated saturation temperature refers.

The second principle is explicit closure of the throttling description. The isenthalpic approximation is adopted when heat transfer, shaft work, and changes in kinetic and potential energy between control sections are neglected. It does not determine mass flow rate. For a controlled device, a superheat-control rule and capacity limits are specified; for an uncontrolled device, a flow characteristic is required. A closure condition is also required on the liquid side: for example, a specified condenser-outlet subcooling with calculation of the liquid line, or a refrigerant-charge model.

The third principle is to avoid double counting of losses. It is necessary to establish which thermal effects are already included in the overall HCU characteristics. If mass flow rate and power are prescribed using fixed characteristics, the thermal block is diagnostic. For temperatures to feed back into these quantities, additional substantiated relationships are required; data exchange alone does not create them. Vapor heating in the electric motor must not be reintroduced as an independent correction to a characteristic that already includes it. The resistance of a given pipe bend must likewise be assigned to only one block.

The fourth principle is a consistent energy boundary. Heat removed from the storeroom is separated from refrigerant heating in the suction line outside the storeroom and inside the HCU. The set of auxiliary electrical consumers and the location at which their heat is released must be defined. Heat transfer between the HCU casing and the surroundings is accounted for with a sign consistent with the adopted heat-flow direction. Heat rejected to the surroundings must not simultaneously be counted as an increase in refrigerant enthalpy within the unit.

The fifth principle is to distinguish physical consistency from numerical convergence. The iterative algorithm must satisfy component coupling relations and balances; temperature limits, sufficiency of cooling capacity, and the applicable range of component characteristics are checked separately. Convergence alone does not establish that an operating condition is acceptable. A change in geometry represents a different design variant,

whereas a change in prescribed rotational speed represents a different operating condition. If rotational speed is determined by a controller, its control law must be included in the formulation; the baseline version does not include this.

Conclusions. The proposed structure defines common interface variables and separates external conditions, component characteristics, and the converged state of the machine. The methodological emphasis is placed on the role of the HCU thermal submodel: either diagnostic evaluation of temperatures or feedback of the thermal state into performance characteristics when substantiated relationships are available. Maintaining a single consistent energy boundary is a requirement for implementation, not evidence that a completed and validated program already exists.

The main conditions for constructing the future model are matching pressure, enthalpy, and mass flow rate at interfaces; explicitly defining the control method of the expansion device; avoiding double counting of thermal and hydraulic losses; and separating operating-point calculation from the check of its admissibility. Evaluation of the thermal state does not replace service-life prediction, and geometric constraints alone do not constitute completed optimization. Numerical implementation and validation remain the next stages of the study.

References

[1] Lytosh O. V. Evaluation of the efficiency of cycles of marine hermetic vapor compressor refrigeration machines. *Collection of Scientific Papers of NUS*. 2023. No. 1 (490). P. 81–85. DOI: 10.15589/znp2023.1 (490).10.

[2] Brown J. S., Brignoli R., Domanski P. A., Yoon Y. J. CYCLE_D-HX: NIST Vapor Compression Cycle Model Accounting for Refrigerant Thermodynamic and Transport Properties. Version 2.0. User's Guide. NIST Technical Note 2134. 2021. DOI: 10.6028/NIST.TN.2134.

[3] National Institute of Standards and Technology. ACSIM. Version 1.0. Software description, version updated 29 June 2026. Accessed 20 September 2026.

[4] Lytosh O. V. Mathematical model and method for calculating the temperature level of the hermetic compressor unit. *Collection of Scientific Papers of NUS*. 2022. No. 1 (488). P. 29–36. DOI: 10.15589/znp2022.1(488).4.

[5] Lytosh O. V., Prylutskyi A. A. Heat transfer during refrigerant boiling in smooth horizontal tubes of marine low-temperature air coolers. *Collection of Scientific Papers of NUS*. 2025. No. 2 (500). P. 88–94. DOI: 10.15589/znp2025.2(500).13.

UCD 621.51

THERMAL STATE OF A HERMETIC COMPRESSOR UNIT OF A MARINE REFRIGERATION MACHINE: INFLUENCING FACTORS AND METHODS FOR ITS IMPROVEMENT

Lytosh O.V.,
Ph. D., associate professor
olena.lytosh@nuos.edu.ua
Anatolii Prylutskyi, PhD student
anpryl@gmail.com
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The factors determining the thermal state of a hermetic compressor unit and methods of influencing it in a compact marine refrigeration machine are considered. Based on an analysis of publications and manufacturer materials, measures involving casing cooling, reduction of undesirable suction vapor heating, and thermal insulation of the internal discharge path are systematized. It is proposed to compare these measures according to the component being affected, temperature constraints, their effect on cooling capacity and total power consumption, as well as marine operating conditions. The result of the work is a qualitative framework for preliminary engineering selection that distinguishes improvement of the thermal state of an individual component from improvement of the compressor unit as a whole.

Keywords: hermetic compressor unit, marine refrigeration machine, thermal state, casing cooling, suction vapor heating, thermal insulation of the discharge path.

Introduction. In a hermetic compressor unit (HCU), the electric motor and compressor mechanism are housed in a common sealed casing. The temperature field of such a unit is formed by the interaction of solid components, the refrigerant, and lubricating oil. This coupled consideration of these components forms the basis of thermal models of hermetic reciprocating compressors [2; 7].

For a compact marine refrigeration machine, the formulation of the problem should take into account not only temperatures but also the feasibility of installing and servicing cooling devices. Manufacturer materials for compressors

intended for mobile and marine applications specifically emphasize compactness, vibration resistance, and operation under inclination [6]. In this work, these features are adopted as additional evaluation criteria. The central question is under what conditions a local temperature reduction can be regarded as beneficial for the machine as a whole.

Aim. To systematize the factors affecting the thermal state of an HCU and to propose criteria for a qualitative comparison of methods for improving it, taking into account the constraints of a compact marine refrigeration machine. The discussion focuses on hermetic reciprocating compressor units. The method used is a comparative analysis of scientific publications and manufacturer technical materials. Published results are used to substantiate the comparison framework rather than to predict the effect in a different design.

Main material.

Factors Determining the Thermal State

The main sources of heat generation are losses in the electric motor and friction in the mechanism. The rise in refrigerant temperature during compression should be considered separately: compression work is not identical to thermal losses, although the heated gas exchanges heat with the components of the discharge path. This distinction between mechanical work, electromechanical losses, and intercomponent heat transfer is reflected in the energy balances of the compressor model [3].

Lubricating oil is involved not only in lubrication but also in heat transfer. In particular, Secop describes, for its compressors, the transfer of heat by circulating oil to the casing, followed by heat rejection to the surroundings [4]. Therefore, the same suction-gas motor-cooling scheme cannot automatically be attributed to all HCUs: before selecting a measure, the actual flow paths of the refrigerant and oil must be established.

For further analysis, the influencing factors are proposed to be divided into three groups. Operating factors include suction and discharge pressures, inlet vapor temperature, rotational speed, and load profile; design factors include the relative arrangement of hot and cold regions, the flow paths of the working media, and thermal contacts; external factors include the temperature and motion of the cooling medium, ventilation availability, and installation conditions. This classification is intended to separate the causes of heating from the means used to reduce it.

Classification of Methods of Influence

According to their mechanism of action, it is proposed to distinguish between enhanced heat rejection to the surroundings and reduced undesirable heat transfer within the unit. The first group includes casing cooling, while the second includes measures applied to the suction and discharge paths. The table presents a qualitative matrix for preliminary selection based on [1–5; 7]; the stated limitations are matters to be checked rather than effects that are identical for all designs.

Reduction of vapor heating should target undesirable heat input rather than the unconditional elimination of superheat. A sufficient margin must be retained to prevent liquid return: Secop service materials identify liquid slugging as a cause of compressor damage [5]. At the same time, changing the internal suction flow path requires verification that this flow was not intended to cool the electric motor.

It is also important to distinguish between design measures and operational measures. Thermal insulation of components inside a welded hermetic casing belongs to the design or factory-modification stage rather than to routine shipboard maintenance [7]. Insulating the external discharge line is not an equivalent modification because it does not eliminate thermal interactions that have already occurred inside the HCU. Likewise, liquid cooling should be evaluated only for a design specifically suitable for such cooling and should not be interpreted as permission to cool any production compressor with water.

Table 1 – Methods of Influencing the HCU Thermal State and Conditions for Their Comparison

Method	**Direct object of influence**	**Required conditions and limitations**
Air cooling of the casing	Heat rejection from the casing; indirectly, the oil and internal components	Organized air supply and exhaust are required. For the fan, power consumption, noise, space requirements, and consequences of failure should be considered.
Liquid cooling of the casing	Heat removal through a specially designed cooled surface	A structurally suitable unit and an available cooling medium are required. Leak tightness, corrosion resistance, risk of moisture condensation, and circulation power should be checked.
Reduction of suction vapor heating	Vapor temperature before entering the compression chamber	Vapor free of liquid and the intended motor cooling must be maintained; pressure losses and material compatibility should be checked.
Thermal insulation of the internal discharge path	Heat transfer between hot discharge components and the internal environment	Discharge and component temperatures, available space for insulation, its attachment, and compatibility with the refrigerant and oil should be checked.

Why Reducing a Single Temperature Is Insufficient

A representative published calculation example is provided by O. V. Lytosh [1]. For the unit studied at a boiling temperature of −10 °C and a condensing temperature of 40 °C, thermal insulation of the discharge path with a thickness of 2.0–2. mm, compared with the uninsulated case, reduced the motor winding temperature by 5 °C and the oil temperature by 9 °C, while increasing the discharge temperature by 10 °C. This result applies to a specific design and operating condition and should not be treated as a universal recommendation regarding insulation thickness or a guaranteed temperature effect.

This result is consistent with a redistribution of heat flows: limiting heat transfer from the discharge path into the casing may be accompanied by a higher gas temperature at the outlet. To interpret the result correctly, the temperature measurement location must be specified. Gas temperature after the cylinder, gas temperature after the internal discharge tube, and the temperature of the external pipeline wall are not the same indicator; in [1], the gas states along the discharge path are distinguished.

Another manifestation of this trade-off is reported by T. Dutra and A. M. da Silva [3]: in the considered oil-cooling arrangement using refrigerant downstream of the condenser, a reduction in motor temperature was accompanied by a decrease in cooling capacity. The study concerns a small compressor for domestic and light commercial applications, so its quantitative results should not be transferred directly to a marine refrigeration machine. Nevertheless, it confirms the need to evaluate not only temperatures but also the useful output of the refrigeration cycle.

Criteria and Sequence for Comparison

It is proposed to begin not by ranking alternatives according to the greatest temperature reduction, but by checking their admissibility. For each option, the motor winding, oil, and discharge temperatures should be assessed against the limits specified for the particular compressor, refrigerant, and oil. An option that violates even one mandatory condition should not be favored merely because another indicator is better. The objective is an admissible and controllable thermal state, not the minimum temperature of every component.

Among admissible options, it is proposed to compare cooling capacity, total electrical power consumption, dimensions, the need for auxiliary equipment, and maintenance accessibility. Electrical power consumption should include not only the HCU but also fans, pumps, and control devices added for cooling. With this system boundary, a compressor operating at a lower temperature is not automatically considered a more energy-efficient refrigeration machine.

Two levels of comparison should be distinguished. Internal design modifications of the HCU should preferably be compared at the same pressures, rotational speed, refrigerant state at the casing inlet, and external conditions. If, however, the external suction line or the cooling arrangement of the machine as a whole is modified, the basis for comparison should be the same useful refrigeration duty and the same environmental conditions. The temperature directly affected by the measure should then be treated as an outcome rather than artificially fixed.

The comparison record for each option should also include the level of evidence: a qualitative physical argument, a published calculation, or an experiment for a specified design. Missing data should be identified separately. This does not justify equating an expected direction of temperature change with a demonstrated increase in service life, since the manufacturer also relates durability to pressures, system cleanliness, oil quality, power supply, and operating mode [4].

Accounting for Marine Operating Conditions

For a compact marine refrigeration machine, the selected measure should be checked for operability at representative air or water temperatures, inclinations, and vibration levels, as well as for accessibility for cleaning and replacement of auxiliary components. Permissible inclination values must be taken for the specific model; the characteristics of the mobile series [6] should not be interpreted as permission to use any HCU under identical marine operating conditions.

For air cooling, a separate issue is the removal of heated air from a compact compartment; for liquid cooling, the relevant issues are circuit reliability, leakage, and corrosion compatibility. For internal insulation, the retention of its attachment and function under the specified operating conditions should be assessed. Final selection is proposed only after checking the least favorable anticipated operating modes, including reduced effectiveness or failure of auxiliary cooling.

Conclusions. Methods of influencing the thermal state of an HCU should be classified according to two mechanisms: enhanced heat rejection to the surroundings and reduction of undesirable internal heat transfer. These measures act on different components and are not interchangeable.

The proposed comparison framework provides for an initial check of temperature and operational constraints, followed by comparison of admissible options in terms of useful cooling capacity, total power consumption, and suitability for marine application. The result of the work is a classification of measures and a structure for their preliminary evaluation. Selection of the most appropriate method for a specific machine and quantitative confirmation of an energy-efficiency or service-life effect require subsequent calculations or tests.

References

[1] Lytosh O. V. Mathematical Model and Method for Calculating the Temperature Level of the Hermetic Compressor Unit. Collection of Scientific Papers of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 2022. No. 1 (488). P. 29–36. DOI: 10.15589/znp2022.1 (488).4. Electronic source

[2] Posch S., Hopfgartner J., Heimel M., Berger E., Almbauer R., Stangl S. Thermal Analysis of a Hermetic Reciprocating Compressor Using Numerical Methods. *International Compressor Engineering Conference*. 2016. Paper 2429. Electronic source

[3] Dutra T., da Silva A. M. Theoretical Analysis of an Oil Cooler Pipe for the Thermal Management of Hermetic Compressors. Proceedings of the 26th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2021). Brazil, 22-26 November 2021. 9 p. Electronic source

[4] Secop. Compressors FAQ – General. Official technical guidance provided by the manufacturer. Accessed 22 September 2026. Electronic source

[5] Secop. Repair of Hermetic Refrigeration Systems: Guideline. May 2018. DES.G.620.A2.02. 32 p. Electronic source

[6] Secop. Hermetic Compressors for Refrigeration. Official material on the design and operation of hermetic compressors. Accessed 22 September 2026. Electronic source

УДК 621.43

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ НА ПОЧАТКОВЕ ДОЗУВАННЯ ПАЛИВНОГО ГАЗУ ПРИ ЗАПУСКУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Тарасенко О.І.,
кандидат технічних наук, доцент
oleksandr.tarasenko@nuos.edu.ua
Литош О.В.,
кандидат технічних наук, доцент
olena.lytosh@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адм. Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Аналізується процес пуску газотурбінного двигуна (ГТД) що працює на природному газі (паливний газ). Пропонується методика визначення кількості паливного газу яку треба подати у камеру згоряння ГТД в момент розпалювання в залежності від температури зовнішнього повітря. Отримано залежність для різних температур у камері згоряння.

Ключові слова: ГТД, пуск, розпалювання, кількість паливного газу.

Постановка задачі. При запуску ГТД, що працює на природному газі, важливим та відповідальним моментом є первісна подача паливного газу. Крім технічних засобів, що забезпечують безвідмовне його займання, необхідно також чітко підібрати дозування. Відомо, що дозування залежить від температури зовнішнього повітря. Очевидно, що зі зниженням температури на вході необхідно збільшити кількість паливного газу, що подається.

Розрахунок пуску ГТД проводиться, як правило, для нормальних умов (15°С). Для цих умов підбирають початкову дозу палива і визначають температуру в камері згоряння в момент розпалювання палива.

Мета цієї статті визначити зміну дозування залежно від температури зовнішнього повітря так, щоб температура камери згоряння в момент розпалювання була постійною. Такий підхід дозволить уникнути спрацювання захисту щодо згасання та забезпечить стабільне займання.

Виклад основного матеріалу. Параметр витрати повітря через компресор пропорційний наведеній швидкості обертання

$$g = \frac{G\sqrt{T}}{P} = k\frac{n}{\sqrt{T}}, \qquad (1)$$

де k коефіцієнт пропорційності; P, T – тиск і температура на вході відповідно; n – швидкість обертання об/хв; G – витрата повітря в кг/сек.

Аналогічно для нормальних умов запишемо

$$g_0 = \frac{G_0\sqrt{T_0}}{P_0} = k\frac{n_0}{\sqrt{T_0}}. \quad (2)$$

У формулі (2) індекси 0 за параметрами означають нормальні умови.

Розділивши (1) на (2) запишемо

$$\bar{g} == \frac{g}{g_0} = \frac{\bar{G}\sqrt{\bar{T}}}{\bar{P}} = \frac{\bar{n}}{\sqrt{\bar{T}}}. \quad (3)$$

У формулі (3) характеристика над параметром означає, що поточний параметр віднесено до параметра за нормальних умов.

При запуску ГТД паливоподача здійснюється на початковому етапі часу процесу запуску. З цього випливає, що $\bar{n} = 1$. Вважатимемо тиск на вході постійним $\bar{P} = 1$. Тоді з (3) отримаємо

$$\bar{G} = \frac{1}{\bar{T}}. \quad (4)$$

Для температури камери згоряння можна записати

$$G_{\text{г}}C_{p\text{г}}(T_{\text{кс}} - T_{\text{г}}) + GC_{p\text{в}}(T_{\text{кс}} - T) = G_{\text{г}}Q_{\text{н}},$$

де $C_{p\text{г}}$, $C_{p\text{в}}$ – теплоємності газу і повітря, відповідно; $T_{\text{кс}}$ – температура в камері згоряння; $T_{\text{г}}$ – температура паливного газу; $Q_{\text{н}}$ – теплота згоряння паливного газу.

Після перетворень запишемо

$$GC_{p\text{в}}(T_{\text{кс}} - T) = G_{\text{г}}[Q_{\text{н}} - C_{p\text{г}}(T_{\text{кс}} - T_{\text{г}})].$$

В останній формулі вираз у квадратних дужках не залежить від температури на вході. Розділивши її на аналогічну, але записану для нормальних умов, отримаємо

$$\bar{G}\frac{T_{\text{кс}} - T}{T_{\text{кс}} - T_0} = \bar{G}_{\text{г}}.$$

Враховуючи (4) запишемо такий вираз

$$\bar{G}_{\text{г}} = \frac{1}{\bar{T}}\frac{\frac{T_{\text{кс}}}{T_0} - \bar{T}}{\frac{T_{\text{кс}}}{T_0} - 1}. \quad (5)$$

Вираз (5) дозволяє визначити відношення витрати газу при розпалюванні до витрати газу за нормальних умов для різних$T_{\text{кс}}$.

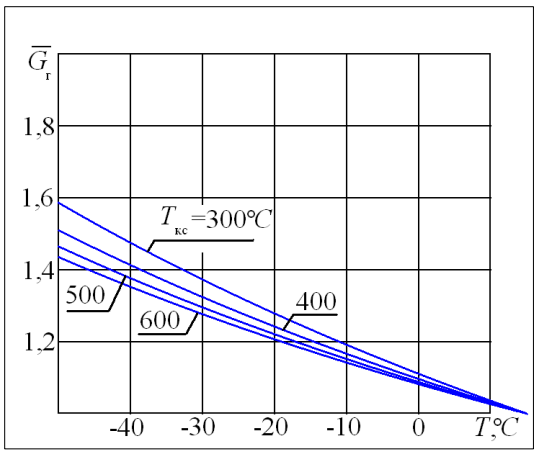


Рисунок 1 – Відносна витрата паливного газу при розпалюванні для рівних 600; 500; 400 і 300 °С

Висновки. 1. Дозування паливного газу при розпалюванні суттєво залежить від температури зовнішнього повітря. 2. Чим нижча температура в камері згоряння, тим сильніший вплив температури зовнішнього повітря.

Література

[1] Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні засади проєктування суднових газотурбінних агрегатів : навчальний посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 304 с.

[2] Тарасенко О.І. Широкодіапазонна динамічна модель ГТД [Текст] / А.І. Тарасенко А.А. Тарасенко. *Авіаційно-космічна техніка та технологія*. 2012. № 9 (96). С. 243–247.

[3] Тарасенко О.О. Застосування узагальнених залежностей для побудови характеристик компресорів за допомогою ЕОМ. *Авіаційно-космічна техніка та технологія*. 2009. № 7 (64). С. 74–77.

EFFECT OF AMBIENT AIR TEMPERATURE ON INITIAL FUEL GAS DOSING DURING GAS TURBINE ENGINE STARTUP

Oleksandr I. Tarasenko, Olena V. Lytosh

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Abstract. The start-up process of a gas turbine engine (GTE) operating on natural gas (fuel gas) is analyzed. A methodology is proposed for determining the amount of fuel gas to be supplied to the GTE combustion chamber at the moment of ignition, based on the ambient air temperature. A relationship has been derived for various temperatures within the combustion chamber.

Keywords: GTE, start-up, ignition, fuel gas quantity.

УДК 621.56:536.24

АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПОВІТРЯНОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ З АДІАБАТНИМ ЗВОЛОЖЕННЯМ

Книш С.В.,
аспірант
serge@leacond.od.ua
Желіба Ю.О.,
к.т.н., доцент
Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

Анотація. У роботі апробовано розроблену методику розрахунку тепломасообміну в оребреному повітряному теплообміннику з попереднім адіабатним зволоженням. Вона враховує часткове випаровування крапель, їх уловлювання поверхнею та випаровування зі змоченої поверхні. Методика застосована до промислового V-подібного драйкулера CABERO за експериментальними даними вимірювань чотирьох режимів роботи, що характеризуються різними параметрами повітря на вході. Розбіжність розрахункової й виміряної температури на виході не перевищила 0,9 °С, що підтверджує придатність методики для інженерних розрахунків.

Ключові слова: драйкулер, адіабатне зволоження, тепло- і масообмін, оребрений теплообмінник, енергоефективність.

У промислових холодильних установках тепло відводиться до навколишнього повітря через конденсатори та драйкулери. За високої температури зовнішнього повітря попереднє адіабатне зволоження дає змогу знизити температуру повітря перед теплообмінною поверхнею. Для попередньої коректної оцінки процесу необхідно одночасно враховувати зміну параметрів повітря, уловлювання крапель ребрами й трубами, випаровування зі змоченої поверхні. Мета роботи – апробувати методику розрахунку процесів тепломасообміну в повітряному теплообміннику з адіабатним зволоженням за результатами вимірювань на промисловому драйкулері.

За основу прийнято поелементний підхід, у якому теплообмінник поділяють за напрямком руху повітря на контрольні об’єми. Для кожного елемента визначають параметри вологого повітря, масову витрату крапель, частку уловленої води та тепловий потік. До входу в драйкулер рух краплі розраховують з урахуванням аеродинамічного опору, а її випаровування – за моделлю Abramzon–Sirignano [1]. Зміну стану основного потоку повітря на цій ділянці визначають за матеріальним балансом випаруваної води та припущенням квазіізоентальпійного випаровування.

Усередині оребреного пакета для кожного ряду труб визначають коефіцієнт уловлювання крапель – частку краплинного потоку, що осідає на трубах і ребрах [2]. Ця величина залежить від великої кількості

факторів, є найбільш невизначеним параметром у моделі та потребує у подальшому детально вивчення. Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря визначають за кореляцією для гладких пластинчастих ребер, а теплофізичні властивості води та повітря – за базою даних REFPROP. Така послідовність забезпечує контроль балансу розпиленої води вздовж апарата.

Об'єктом апробації був V-подібний драйкулер CABERO JGCDS099C2×6-6.6-88-L D (eb) EC, призначений для відведення теплоти від 35 %-го розчину пропіленгліколю. За номінальної частоти обертання вентиляторів 885 хв$^{-1}$ паспортна витрата повітря становить 314 18 м^3/год, швидкість перед фронтальною поверхнею – 2,7 м/с. Так як частота обертів вентиляторів регулювалась, то витрата повітря та швидкість не були постійною величиною, однак вплив витрати повітря на процес тепломасообміну буде оцінено у подальшому. У поданій апробації для однієї сторони драйкулера прийнято витрату води 400 л/год за тиску на форсунках 10 бар. Випробування системи адіабатичного охолодження описано в [3].

За температури повітря 25 °С та відносної вологості 0,6 час польоту краплі діаметром 3 мкм до оребреної поверхні становить близько 0,1 с. Для відносної вологості повітря 0,4 діаметр краплі на вході в драйкулер складає 33, мкм, а для вологості 0,8-34, мкм, що відповідає частці випаруваної води від 12,3 та 3,4 %, відповідно. Отже, значна частина розпиленої води досягає оребреної поверхні у вигляді крапель; на рис. 1 показано зміну температури та відносної вологості повітря на цій ділянці.

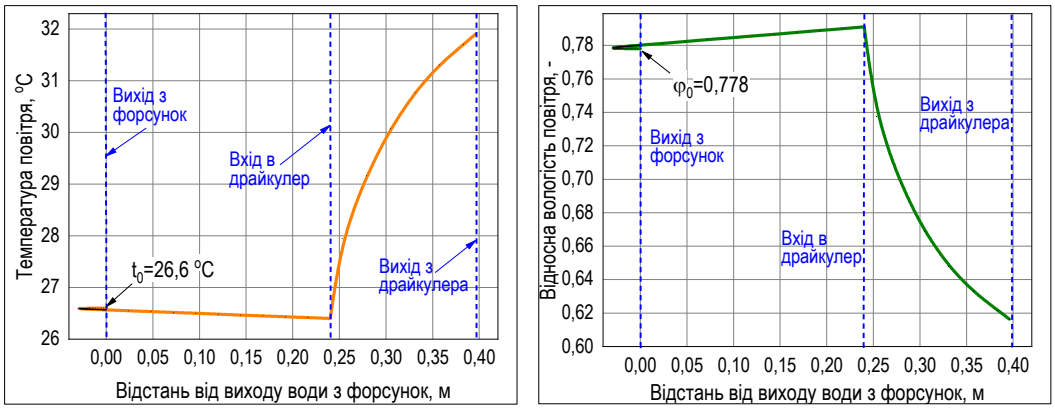


Рисунок 1 – Зміна температури та відносної вологості повітря від форсунок до виходу з драйкулера

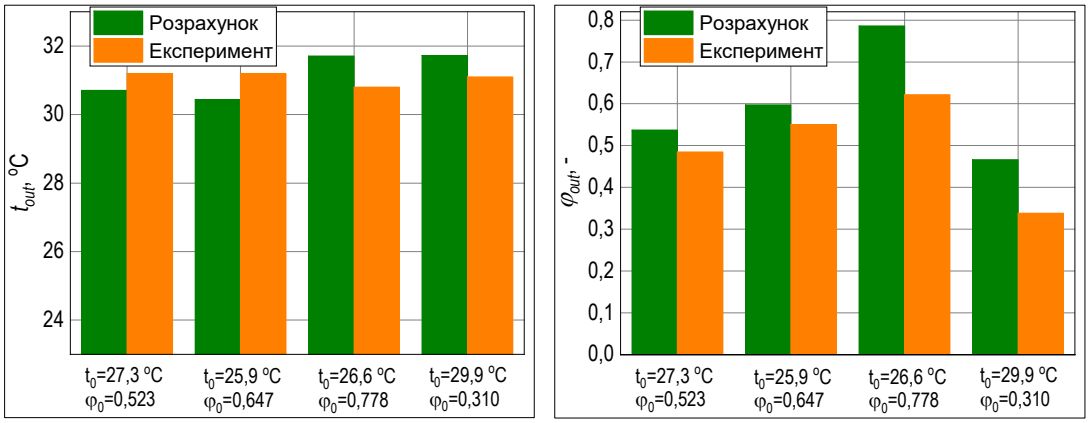


Рисунок 2 – Порівняння розрахованих і виміряних параметрів повітря на виході з драйкулера

На рис. 2 порівняно розраховані та виміряні значення температури й відносної вологості повітря на виході з драйкулера. За чотирма експериментальними режимами максимальна абсолютна розбіжність температури становила 0,9 °С. Для відносної вологості розбіжність більша через чутливість результату до фактичної площі змочування, коефіцієнта уловлювання крапель і температури поверхні; ці параметри доцільно уточнювати за прямими вимірюваннями.

За незмінного температурного напору теплова потужність однієї сторони драйкулера в режимі адіабатного зволоження становила 325–445 кВт, а в «сухому» режимі – 110–255 кВт. Отже, за прийнятих умов адіабатне зволоження підвищує розрахунковий тепловий потік у 1,7–3,0 рази. Слід відзначити, що цей результат характеризує інтенсифікацію теплообміну, а не фактичне підвищення кількості переданої теплоти (яке додатково визначається температурним напором).

Апробація підтвердила придатність методики для інженерного розрахунку драйкулерів з адіабатним зволоженням. Вона дає змогу обґрунтувати витрату води, дисперсність розпилення, режим роботи

вентиляторів і частки випаровування. Для розрахунку холодильного контуру методику слід поєднати з моделлю гліколевого контуру та температурою конденсації холодоагенту.

Література

[1]. Abramzon B., Sirignano W. A. Droplet vaporization model for spray combustion calculations. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1989. 32 (9), 1605–1618.

[2]. Youbi-Idrissi M., Macchi-Tejeda H., Fournaison L., Guilpart J. Numerical model of sprayed air cooled condenser coupled to refrigerating system. *Energy Conversion and Management.* 2007. 48 (7), 1943–1951.

[3]. Книш С. В. Експериментальна оцінка ефекту впровадження системи адіабатичного охолодження повітря драйкулерів холодильних установок у кліматичних умовах Одеської області. *Refrigeration Engineering and Technology.* 2025. 61 (4), 312–318.

VALIDATION OF A HEAT AND MASS TRANSFER METHOD FOR AN ADIABATICALLY HUMIDIFIED AIR HEAT EXCHANGER

Serhii Knysh, Yurii Zheliba

Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine

Abstract. A segment-by-segment method was validated for heat and mass transfer in a finned air heat exchanger with preliminary adiabatic humidification. It accounts for droplet motion and partial evaporation, capture by the surface, and evaporation from the wetted surface. The method was applied to an industrial CABERO V-shaped dry cooler in four operating modes. The difference between calculated and measured outlet-air temperatures did not exceed 0.9 °C, confirming the method’s suitability for engineering evaluation.

Keywords: dry cooler, adiabatic humidification, heat and mass transfer, finned heat exchanger, energy efficiency.

УДК 621.57:621.65

КАВІТАЦІЯ ЖИВИЛЬНОГО НАСОСА ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИКОРИСТОВУЮЧИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН І СИСТЕМ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНОГО ЦИКЛУ РЕНКІНА

Хлієва О.Я.,
д.т.н., проф.,
khliyev@ukr.net
Шестопалов К.О.,
д.т.н., проф.,
Огурцов Д.В.,
аспірант
Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, Україна

Анотація. Розглянуто проблему енергоефективної роботи живильного насоса в тепловикористовуючих холодильних машинах і системах на основі органічного циклу Ренкіна. Показано, що кавітація, зумовлена перекачуванням низькокиплячої робочої речовини поблизу стану насичення, може спричиняти несталість подачі, зниження ККД і ресурсу насоса, а також погіршення характеристик установки в цілому. Узагальнено підходи до запобігання цьому явищу: забезпечення переохолодження рідини, контроль кавітаційного запасу та врахування реальних характеристик насоса під час системного розрахунку.

Ключові слова: живильний насос, кавітація, органічний цикл Ренкіна, ежекторна холодильна машина, низькокипляча робоча речовина, кавітаційний запас, переохолодження.

Органічні цикли Ренкіна (ORC), ежекторні холодильні машини та комбіновані системи дають змогу використовувати низькопотенційну теплоту різних технологічних процесів. У системних розрахунках основну увагу зазвичай приділяють детандеру, ежектору й теплообмінникам, а роботу живильного насоса описують постійним ККД. Проте саме він може обмежувати робочий діапазон, надійність та фактичну ефективність установки. Насос підвищує тиск робочої речовини від тиску конденсації до тиску генератора або випарника. Оскільки на його вході рідина часто перебуває поблизу стану насичення, локальне падіння тиску у всмоктувальній лінії, клапані або проточній частині здатне викликати її часткове скипання. Для експериментальної ежекторної холодильної машини на R245fa показано, що зниження тиску перед насосом може спричиняти кавітацію, несталу подачу та зменшення ефективності [1].

Практичним засобом усушення кавітації є достатнє переохолодження рідини перед насосом, однак це призводить к зниженню енергоефективності усієї системи.

Проблема особливо важлива для малих ORC-систем. За експериментальними даними A. Landelle та співавторів [2], середній ККД поршневого живильного насоса в установках малої потужності становив близько 35 %, тоді як при термодинамічному аналізі циклів часто приймають 65–85 %. Автори також визначили межі кавітації, необхідний кавітаційний запас і можливість її діагностування за вібраціями. Отже, насос не можна розглядати як допоміжний елемент із наперед заданими характеристиками.

Кавітація небезпечна не лише ерозією проточної частини. Парова фаза зменшує подачу, викликає пульсації тиску й витрати та порушує роботу клапанів. Це змінює витрату через випарник і детандер ORC або через генератор та робоче сопло ежектора. Моделювання мембранного насоса з R245fa [3] показало зародження кавітації біля сідла всмоктувального клапана та значні коливання тиску, сили на клапані й його переміщення.

Умовою безкавітаційної роботи є перевищення наявного кавітаційного запасу над необхідним з урахуванням запасу надійності ΔNPSH:

$$NPSH_a > NPSH_r + \Delta NPSH$$

де $NPSH_a$ – наявний, $NPSH_r$ – необхідний кавітаційний запас.

Для органічних робочих речовин $NPSH_a$ визначається насамперед ступенем переохолодження на вході в насос. Перенесення характеристик, отриманих на воді, не завжди коректне: інтенсивне випаровування органічної рідини супроводжується локальним охолодженням і зміною тиску насичення. Цей термодинамічний ефект враховано в сучасній моделі W. Li, Z. Yu та S. Kadam [4].

Таким чином, для підвищення надійності та ефективності тепловикористовуючих систем необхідні: вибір насоса за характеристиками конкретної робочої речовини; забезпечення переохолодження та достатнього $NPSH_a$; усунення зон різкого падіння тиску; контроль пульсацій і вібрацій. Перспективним є системний розрахунок, у якому характеристики насоса, кавітаційний запас і параметри циклу визначають спільно, зокрема для робочих тіл з низьким потенціалом глобального потепління.

Подальші дослідження авторів передбачають розрахункове оцінювання роботи живильного насоса малої ORC-системи, призначеної для утилізації теплоти суднового двигуна, за використання перспективних робочих речовин р низьким GWP. Доцільно визначити вплив температури конденсації, ступеня переохолодження та гідравлічного опору всмоктувальної лінії на $NPSH_a$, подачу насоса і чисту потужність циклу в суднових умовах. За наявності можливості проведення стендових випробувань розрахункові результати будуть доповнені експериментальним дослідженням кавітаційних і вібраційних характеристик насоса.

Література

[1] Shestopalov K. O., Huang B. J., Petrenko V. O., Volovyk O. S. Investigation of an experimental ejector refrigeration machine operating with refrigerant R245fa at design and off-design working conditions. Part 2. Theoretical and experimental results. *International Journal of Refrigeration*. 2015. Vol. 55. P. 212–223. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2015.02.004

[2] Landelle A., Tauveron N., Revellin R., Haberschill P., Colasson S., Roussel V. Performance investigation of reciprocating pump running with organic fluid for organic Rankine cycle. *Applied Thermal Engineering.* 2017. Vol. 113. P. 962–969. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.11.096

[3] Li W., Yu Z. Cavitating flows of organic fluid with thermodynamic effect in a diaphragm pump for organic Rankine cycle systems. *Energy*. 2021. Vol. 237. 121495. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121495

[4] Li W., Yu Z., Kadam S. An improved cavitation model with thermodynamic effect and multiple cavitation regimes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2023. Vol. 205. 123854. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.123854

FEED PUMP CAVITATION AS A FACTOR AFFECTING THE EFFICIENCY OF HEAT-DRIVEN REFRIGERATION MACHINES AND ORGANIC RANKINE CYCLE SYSTEMS

Khlieva O. Ya., Shestopalov K. O., Ogurtsov D. V.

National University “Odesa Maritime Academy”, Odesa, Ukraine

Abstract. The problem of ensuring reliable and energy-efficient feed-pump operation in heat-driven refrigeration machines and Organic Rankine Cycle systems is considered. Cavitation caused by pumping a low-boiling working fluid close to saturation may result in unstable flow rate, lower pump efficiency and reduced service life, as well as deterioration of the overall system performance. Preventive approaches, including inlet subcooling, NPSH control and incorporation of actual pump characteristics into system modelling, are outlined.

Keywords: feed pump, cavitation, Organic Rankine Cycle, ejector refrigeration, low-boiling working fluid, NPSH, subcooling.

СЕКЦІЯ 5. ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА І ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

УДК 614.876:331.45:502/504

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

Трохименко Г.Г.,
доктор технічних наук, професор; antr@ukr.net
Ремешевська І.В.,
кандидат технічних наук, доцент. irynaremesh@gmail.com
Гурець Н.В.,
старший викладач; natalya.gurets@nuos.edu.ua
Грушина О.Г.,
старший викладач; olga.bidnichenko@nuos.edu.ua
Кафедра екології та природоохоронних технологій,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі узагальнено результати дослідження стану імплементації міжнародних стандартів радіаційної безпеки в Україні та оцінено розрив між нормативною відповідністю і практичною реалізацією. На основі результатів попереднього дослідження вагової моделі інтегрального індексу інтеграції (IIS) систематизовано ключові технічні, кадрові, дозиметричні та аналітичні фактори. Встановлено, що значення IIS для України становить близько 0,58–0,60, а найбільший резерв підвищення ефективності пов'язаний з автоматизацією та цифровізацією систем радіаційного моніторингу. Обґрунтовано пріоритетні напрями вдосконалення системи на основі ризик-орієнтованого підходу та принципу оптимізації радіаційного захисту.

Ключові слова: радіаційна безпека, міжнародні стандарти, імплементація, радіаційний ризик, інтегральний індекс, дозиметричний контроль, автоматизація.

Радіаційна безпека є складовою професійної та екологічної безпеки, тому її ефективність визначається не лише наявністю нормативних вимог, а й здатністю практичної системи моніторингу, контролю та управління ризиками забезпечувати їх виконання. Міжнародна система радіаційного захисту ґрунтується, зокрема, на принципах обґрунтування, оптимізації та лімітування доз. які визначені рекомендаціями Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) [4]. Ці принципи покладено в основу міжнародних базових стандартів Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) [3]. Для України актуальним є питання не лише нормативної гармонізації з міжнародними вимогами, а й визначення фактичної результативності їх реалізації. Саме розмежування формальної відповідності та практичної спроможності системи є принциповим для оцінювання сучасного стану радіаційної безпеки.

Мета роботи – оцінювання рівня імплементації міжнародних стандартів радіаційної безпеки в Україні на основі інтегрального підходу та визначення компонентів, які найбільше впливають на ефективність функціонування системи радіаційного захисту.

Основна частина. Проведений аналіз показав, що нормативна база України загалом орієнтована на міжнародні вимоги, але практична реалізація характеризується нерівномірністю. Серед ключових обмежень визначено низький рівень автоматизації – менше 50 % порівняно з орієнтовними 80–90 % у міжнародній практиці, зношеність обладнання на рівні 40–60 % та кадровий дефіцит 20–30 %. Сукупність цих факторів знижує здатність системи оперативно виявляти небезпечні відхилення та забезпечувати доказове управління ризиками [1].

Для переходу від описової характеристики до кількісної оцінки запропоновано інтегральний індекс інтеграції міжнародних стандартів (IIS). Модель включає п'ять компонентів: рівень автоматизації (X_1), технічний стан обладнання (X_2), охоплення дозиметричним контролем (X_3), кадрове забезпечення (X_4) та аналітичну спроможність (X_5). Нормовані значення показників перебувають у діапазоні 0–1, а вагові коефіцієнти визначаються експертно з урахуванням впливу факторів на функціонування системи [1].

Інтегральний індекс визначається як:

$$IIS = \Sigma^{5}_{i=1} w_i X_i,\ \Sigma^{5}_{i=1} w_i = 1,\ 0 \le X_i \le 1.$$

де w_i – ваговий коефіцієнт і-го показника, X_i – його нормоване значення.

Для оцінювання впливу окремого фактора використовується співвідношення:

$$\Delta IIS_i = w_i \cdot \Delta X_i$$

де ΔIIS_i – зміна інтегрального індексу внаслідок зміни і-го фактора, ΔX_i – зміна його нормованого значення. Чутливість оцінювалася при послідовному збільшенні кожного нормованого показника на 0,1 за незмінності інших параметрів [1].

На рисунку 1 представлено схему інтегральної оцінки імплементації міжнародних стандартів.



Рисунок 1 – Схема формування інтегрального індексу інтеграції міжнародних стандартів радіаційної безпеки

За результатами дослідження IIS для України становить 0,58–0,60, що відповідає середньому рівню інтеграції. Найбільший внесок у формування індексу забезпечують дозиметричний контроль і кадрове забезпечення, тоді як аналітична складова має найменший вплив. Водночас аналіз чутливості показав, що найбільш результативним напрямом підвищення IIS є автоматизація та цифровізація: збільшення відповідного нормованого показника на 0,1 дає приріст IIS приблизно на 0,025, тоді як для інших ключових факторів приріст становить близько 0,02 [1].

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання IIS як інструмента визначення пріоритетів. Першочерговими напрямами є: гармонізація національного регулювання з міжнародними підходами; розвиток цифрових систем дозиметричного та оперативного моніторингу; модернізація обладнання; посилення кадрового забезпечення і культури безпеки; удосконалення аналітичного забезпечення та інтеграція радіаційної, професійної й екологічної безпеки [1]. Такі заходи відповідають загальній логіці оптимізації захисту, закладеній у міжнародних стандартах IAEA [2].

Висновки. Нормативний рівень імплементації міжнародних стандартів радіаційної безпеки в Україні загалом сформований, однак практична ефективність системи обмежується технічними, кадровими та інформаційно-аналітичними чинниками. Запропонований IIS забезпечує комплексне представлення цих чинників і дає змогу визначити пріоритети вдосконалення. Значення IIS 0,58–0,60 свідчить про середній рівень інтеграції, а результати чутливості обґрунтовують пріоритет автоматизації та цифровізації. Водночас IIS доцільно розглядати як аналітичний інструмент пріоритизації, оскільки вихідні ваги визначено експертно, а частина показників у статті має оцінювальний характер.

Література

[1] Трохименко Г. Г., Ремешевська І. В., Гурець Н. В., Грушина О. Г. Міжнародні стандарти радіаційної безпеки в Україні: стан імплементації, інтегральна оцінка та напрями підвищення ефективності. 2026. 2 с.

[2] International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2014. 436 p.

[3] International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards (GSR Part 3). IAEA, 2014. https://doi.org/10.61092/iaea.u2pu-60vm

[4] International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Oxford: Elsevier, 2007. 332 p.

A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE IMPLEMENTATION OF INTERNATIONAL RADIATION SAFETY STANDARDS IN UKRAINE

Ganna G. Trokhymenko, Iryna V. Remeshevska, Nataliya V. Gurets, Olga G. Grushyna
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper summarises the findings of a study into the state of implementation of international radiation safety standards in Ukraine and assesses the gap between regulatory compliance and practical implementation. Based on the results of a preliminary study of the weighted model of the Integral Integration Index (IIS), key technical, human resources, dosimetric and analytical factors have been systematised. It has been established that the IIS value for Ukraine is approximately 0.58–0.60, and the greatest potential for improving efficiency lies in the automation and digitalisation of radiation monitoring systems. Priority areas for improving the system have been identified, based on a risk-based approach and the principle of optimising radiation protection.

Keywords: radiation safety, international standards, implementation, radiation risk, integrated index, dosimetric monitoring, automation.

УДК 666.75

РЕЦИКЛІНГ СКЛЯНИХ ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

Дрозд О.В.,
кандидатка технічних наук, доцентка, декан енерготехнічного факультету
Херсонського навчально-наукового інституту
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна
oksana.drozd@nuos.edu.ua
Андрєєва Н.Б.,
кандидатка педагогічних наук, доцентка кафедри теплотехніки
Херсонського навчально-наукового інституту
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна
nataliia.andrieieva@nuos.edu.ua

Анотація. У статті обґрунтовано актуальність впровадження технологій рециклінгу скляних відходів як необхідного інструменту циркулярної економіки для поповнення сировинної бази будівельної та склоробної галузей. З огляду на накопичення критичних обсягів відходів руйнації в південних регіонах України (зокрема на Херсонщині та Миколаївщині) внаслідок військової агресії, запропоновано сучасний науково-методологічний підхід до поводження зі склобоєм. Базуючись на попередніх дослідженнях щодо переробки різних видів скла (кришталевого, флот-скла) на порошки та пористі спечені матеріали, розроблено концепцію спеціалізованої інформаційної системи для управління масивами багатовимірних даних.

Ключові слова: рециклінг, скляні відходи, відходи руйнації, циркулярна економіка, матеріалознавча експертиза, інформаційна система, управління відходами, база даних.

Актуальність досліджень зумовлена необхідністю поповнення запасів і ресурсів сировини, необхідної для будівельних технологій, склоробства, створення нових композиційних матеріалів. Знищення і звуження кола вітчизняних виробництв вимагатиме впровадження жорстких технічних заходів циркулярної економіки, а саме технологій рециклінгу скляних відходів.

Авторський досвід (рис. 1) пов’язано з переробкою кришталевих стекол на порошок [1], який далі можна використовувати в технологіях напилення у складі метал-скляних покриттів [2] та для створення пористих спечених матеріалів [3]. Проблемні, зокрема фізико-хімічні питання, рециклінгу виробничих відходів флот-стекол висвітлено у роботі [4].

Вирізані скляні фрагменти знаходили своє застосування у новаторських дизайнерських проєктах [5].

Масові руйнування на півдні України, зокрема у Херсонській та Миколаївській областях призвели до накопичення великих обсягів уламків стекол. Визначитись з ресурсною базою та запропонувати сучасний науково-методологічний підхід поводження з відходами руйнації стало головною задачею ліквідації наслідків постійних обстрілів.

Вирішення поставлених задач вимагатиме роботи з масивами багатовимірних даних, запропоновано концепцію інформаційної системи. В основу систематизації та управління інформацією покладено:

- принципи сортування скляного бою за видом, масою та розміром;
- проведення матеріалознавчої експертизи зразків-свідків;
- формування звітної документації з візуалізацією отриманих даних.

Розробка є пілотним проєктом з базою даних, графічним інтерфейсом користувача і можливістю роботи з медіафайлами, який може зробити роботу менеджерів проєкту більш ефективною.

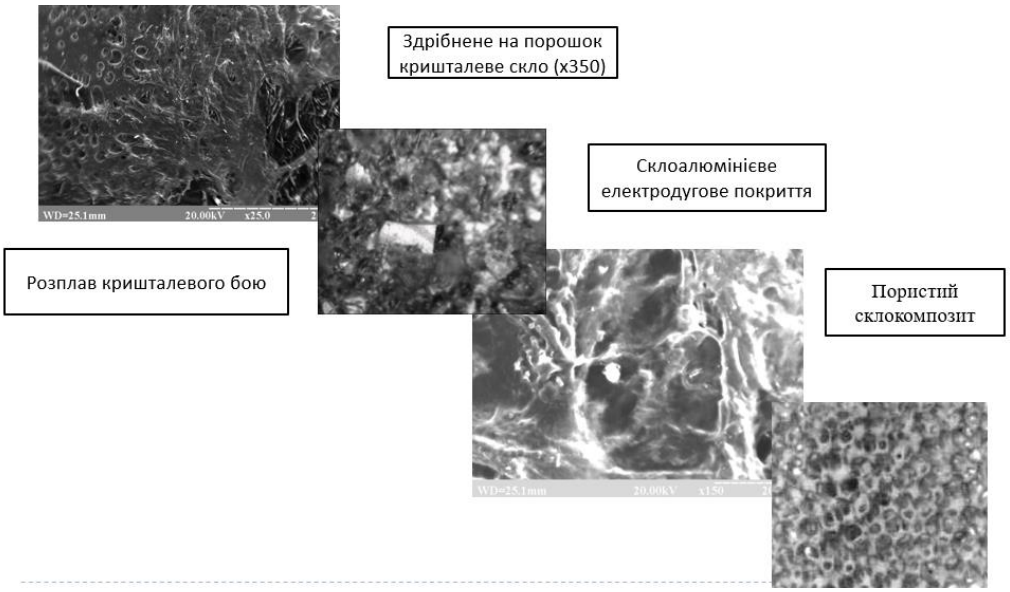


Рисунок 1 – Технологічний ланцюг використання скляного бою

Складено автором на підставі робіт 1–3

Література

[1] Казимиренко Ю. О., Дрозд О. В., Жарський Є. І. Технологічні особливості і фізико-хімічні процеси переробки кришталевих стекол на порошок. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2020. Т. 31 (70). 4. С. 180–185.

[2] Казимиренко Ю. О. Порошки систем $Na_2O–CaO–SiO_2$ і $K_2O–PbO–SiO_2$: переробка відходів і процеси розм'якшення. *East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe.* 2018. № 7 (35), vol. 2. P. 21–30.

[3] Kazymyrenko Yu., Solomoniuk N., Drozd O. Glass microspheres thermo-deformation sintering processes in the technologies of obtaining materials for underwater technical equipment. *POLISH MARITIME RESEARCH.* 2023. 3 (119). Vol. 30. Pp. 174–180. DOI: https://doi.org/174-180 10.2478/pomr-2023-0050

[4] Казимиренко Ю. О., Дрозд О. В. Системно-аналітичний підхід до підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету.* 2022. 29. С. 13-20.

[5] Дєнін С.А., Головін В.О., Морозан С. М., О.В. Гайдаєнко О.В., Ю.О. Казимиренко. Інформаційна підтримка дизайнерських проєктів з використанням технологій рециклінгу стекол. *Збірник наукових праць міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Молода наука – роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування».* ДДМА Краматорськ-Тернопіль 2023 р. 12-14 квітня. С. 77–81.

[6] Дрозд О. В. Експертиза відходів руйнації на основі ознак структурної деградації матеріалів та перспективи рециклінгу. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2023. Том 34 (73). № 4. С. 176–182.

RECYCLING OF GLASS WASTE FROM DESTRUCTION IN SOUTHERN UKRAINE

Oksana Drozd, Nataliia Andrieieva,

Kherson Educational and Research Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The article substantiates the relevance of implementing glass waste recycling technologies as a necessary tool of the circular economy for replenishing the raw material base of the construction and glass-making industries. Given the accumulation of critical volumes of demolition waste in the southern regions of Ukraine (specifically the Kherson and Mykolaiv regions) due to military aggression, a modern scientific-methodological approach to glass cullet management is proposed. Based on prior research regarding the processing of various types of glass (crystal, float glass) into powders and porous sintered materials, a concept for a specialized information system for managing multidimensional data arrays has been developed.

Keywords: recycling, glass waste, demolition waste, circular economy, materials science expertise, information system, waste management, database.

УДК 630*43

ОЦІНКА ПОЖЕЖНОЇ ОБСТАНОВКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗНОГО СЦЕНАРІЮ РОЗВИТКУ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ НА ПРИКЛАДІ НПП «КАРМЕЛЮКОВЕ ПОДІЛЛЯ»

Андрєєва А.В.,
к.т.н., доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
antonina.andrieieva@nuos.edu.ua

Анотація. Проведено комплексний розрахунок пожежної обстановки та розроблено прогнозний сценарій розвитку гіпотетичної лісової пожежі на території НПП «Кармелюкове Поділля». На основі аналізу метеорологічних факторів визначено пожежний коефіцієнт K = 4068,48 (III клас пожежної небезпеки) та розраховано динаміку поширення вогню за II класом горимості. Встановлено, що за 60 хвилин вільного розвитку площа пожежі досягає 549 га з периметром 1,17 км. Проведено розрахунок необхідних сил і засобів та виявлено критичний дефіцит пожежної техніки (82 %), особового складу (76 %) та витрати вогнегасних речовин, що обґрунтовує необхідність застосування комплексних профілактичних заходів.

Ключові слова: дефіцит ресурсів, коефіцієнт горимості, лісова пожежа, локалізація, НПП «Кармелюкове Поділля», пожежна обстановка, прогнозний сценарій, швидкість розповсюдження.

Вступ. Збереження лісових екосистем об’єктів природно-заповідного фонду України в умовах сучасних кліматичних змін та підвищеного антропогенного навантаження належить до пріоритетних завдань екологічної безпеки. Лісові масиви Національного природного парку «Кармелюкове Поділля» піддаються регулярному ризику виникнення низових та верхових пожеж у посушливі періоди року. Моделювання та оперативний розрахунок прогнозних сценаріїв розвитку лісових пожеж є необхідною підґрунтям для обґрунтування матеріально-технічного забезпечення пожежно-рятувальних підрозділів, розробки ефективних Планів залучення сил і засобів та впровадження комплексних інженерно-профілактичних заходів [1, с. 45].

Основна частина. Для проведення розрахунку пожежної обстановки використано гіпотетичну модель пожежі, первинне повідомлення про яку надійшло о 10:00 в результаті патрулювання території парку. Осередок горіння зафіксовано на ділянці з переважно модриновими та березово-модриновими лісами зі середнім діаметром модрини 3 см та берези 2 см (прогнозований ступінь пошкодження деревостою – II). На момент прибуття перших підрозділів площа пожежі складала 20 га. Графічне розміщення осередку наведено на карте-схемі НПП.

Розрахунок пожежної обстановки виконувався на основі метеорологічних показників: температура повітря в момент виявлення t = 16,3 °C (з підвищенням до 20,1 °C на 12:00), відносна вологість ϕ = 16 %, південний вітер V = м/с, кількість днів без дощу n = 8 днів (опади 0, мм/добу), точка роси τ = -11,1 °C. Рельєф місцевості рясно розчленований із крутими схилами південних експозицій. За розрахунковою формулою визначено пожежний коефіцієнт K = 4068,48, що відповідає III класу пожежної небезпеки (середній рівень).

Параметр / Показник	Значення	Характеристика / Опис
Час виявлення пожежі	10:00	Первинне повідомлення (патрулювання)
Площа на момент прибуття	20 га	Початковий осередок горіння
Тип рослинності	Лісовий тип	Модринові та березово-модринові ліси
Температура повітря (12:00)	t = 20,1 °C	Орієнтир для розрахунку (16,3 °C на 10:00)
Вологість повітря (ϕ)	16 %	Критично низька відносна вологість
Швидкість та напрямок вітру	V = м/с, Південний	Визначає напрямок розповсюдження
Бездощовий період (n)	8 днів	0, мм/добу (суха погода)
Пожежний коефіцієнт (K)	K = 4068,48	III клас пожежної небезпеки

За відповідною номограмою установлено, що розповсюдження пожежі відбувається за II класом горимості при швидкості фронту (Inline) 20 м/год та висоті полум’я 1– м, що відповідає низовій пожежі середньої інтенсивності [2, с. 88].

Область горимості	Швидкість розповсюдження (м/год)	Висота полум'я	Тип пожежі
I	> 6–7 км/год	до 5 м	Низові / верхові (висока)
II (Розрахункова)	≈ 20 м/год	1– м	Середня інтенсивність
III	< 20 м/год	< м	Повільно поширювана

За 60 хвилин вільного розвитку пожежі на основі номографічних розрахунків визначено наступні геометричні та лінійні параметри: площа пожежі Sp = 549 га, периметр Pp = 1,17 км, лінійна швидкість фронту Vф = 11 м/год (1,8 м/хв), флангу Vфл = 1 м/год, тилу Vт = 1 м/год. Календарний розклад розвитку показує зростання імпульсної швидкості розповсюдження до 21 м/хв на пікових етапах. Розрахунковий час локалізації складає τлок = 3601 хв (≈ 60 годин) при коефіцієнті локалізації Клок = 1,45 [3].

Параметр розвитку / локалізації	Розрахункове значення	Опис та примітки
Площа пожежі за 60 хв (Sp)	549 га	Площа охоплена вогнем за 1 год
Периметр пожежі (Pp)	1,17 км	Зовнішній контур горіння
Лінійна швидкість фронту (Vф)	11 м/год (1,8 м/хв)	Просування вогню вперед
Тривалість розширення (Tсв)	60 хв	Час вільного розвитку
Необхідний час локалізації (τлок)	60 год (3601 хв)	Розрахунковий час при Клок = 1,45

Для забезпечення локалізації та ліквідації горіння розраховано потребу в пожежно-рятувальній техніці та особовому складі: 8 насосних станцій ПНС-110, 22 автоцистерни АЦ-6,0-40, 3 рукавні машини АР-2 (всього 33 одиниці спецтехніки) та 165 осіб персоналу (65 для роботи зі стволами, 100 чоловік обслуги).

Ресурс / Показник	Потрібно за розрахунком	Є в наявності	Дефіцит ресурсів	Оцінка забезпеченості
Витрата води (подача)	226 л/с	48,5 л/с	−177,5 л/с	Критичний дефіцит
Пожежна техніка	33 од.	6 од.	−27 од.	Дефіцит 82 %
Особовий склад	165 чол.	40 чол.	−125 чол.	Дефіцит 76 %

Висновки. Результати моделювання доводять, що наявні сили та засоби пожежегасіння НПП «Кармелюкове Поділля» неспроможні самостійно забезпечити локалізацію лісової пожежі розрахункового масштабу (549 га) через гострий дефіцит техніки (82 %) та особового складу (76 %). Ключовими напрямами підвищення пожежної безпеки є: 1) коригування Планів залучення сил і засобів із підрозділами ДСНС Вінницької області; 2) влаштування мережі мінералізованих смуг та протипожежних водойм; 3) впровадження моніторингу за допомогою БПЛА для виявлення осередків на ранніх стадіях (до 1–2 га).

Література

[1]. Правила пожежної безпеки в лісах України : Затв. наказом Держкомлісгоспу України від 27.12.2004 № 278. Київ, 2005. 1 с.

[2]. Метод розрахунку параметрів розвитку та гасіння лісових пожеж : довідник / за ред. В. В. Ольшанського. Київ: ДСНС України, 2018. 11 с.

[3]. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Основні терміни та визначення понять. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 3 с.

ANALYSIS OF THE FIRE SITUATION AND CALCULATION OF THE FORECAST SCENARIO FOR FOREST FIRE DEVELOPMENT IN THE "KARMELYUKOVE PODILLYA" NNP

Andrieieva Antonina

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A comprehensive calculation of the fire situation was carried out and a forecast scenario for the development of a hypothetical forest fire in the "Karmelyukove Podillya" NNP was developed. Based on meteorological factors, the fire coefficient K = 4068.48 (class III fire hazard) was determined, and the dynamics of fire spread according to class II flammability were calculated. It was established that after 6 minutes of free development, the fire area reaches 549 ha with a perimeter of 1.17 km. A calculation of required forces and equipment revealed a critical deficit of fire trucks (82 %), personnel (76 %), and water flow rate, confirming the necessity of preventive engineering measures.

Keywords: fire hazard class, forest fire, Karmelyukove Podillya NNP, localization time, rate of spread, resource deficit, scenario modeling.

УДК 504.05

НЕБЕЗПЕКА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ ЗАЛИШКАМИ ОПТОВОЛОКОННИХ СПОЛУЧЕНЬ

Войтасик А.М.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
andrii.voitasyk@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто проблему нового виду техногенного забруднення довкілля, пов'язаного з накопиченням залишків оптоволоконних матеріалів унаслідок застосування безпілотних літальних апаратів із волоконно-оптичним керуванням під час бойових дій. Особливу увагу приділено потенційному впливу цих матеріалів на водні екосистеми. Проаналізовано шляхи потрапляння компонентів оптоволоконних кабелів у водойми, можливість утворення мікропластикових частинок, їх міграцію у водному середовищі та ризики для живих організмів. Визначено необхідність подальших досліджень масштабів такого забруднення та розроблення методів його моніторингу й ліквідації.

Ключові слова: оптоволокно, забруднення водойм, мікропластик

Вступна частина. Сучасні воєнні дії створюють не лише безпосередню загрозу для життя людей, а й формують нові види антропогенного навантаження на природні екосистеми. Одним із таких нових викликів стало накопичення залишків оптоволоконних кабелів, які використовуються для керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) [1].

На відміну від традиційних радіокерованих дронів, апарати з оптоволоконним зв'язком використовують фізичний кабель, що розмотується під час польоту [2]. Така технологія дозволяє уникати впливу засобів радіоелектронної боротьби, однак після виконання завдання або втрати дрона значні ділянки територій залишаються вкритими тонкими полімерними волокнами. За спостереженнями екологів, прифронтові території поступово перетворюються на зони накопичення нового типу відходів, масштаби якого наразі складно оцінити через обмежений доступ до територій бойових дій [3]. Одним із найменш досліджених аспектів цієї проблеми є можливий вплив залишків оптоволоконних сполучень саме на водні ресурси.

Метою роботи є аналіз потенційної небезпеки забруднення водних екосистем залишками оптоволоконних сполучень, що накопичуються внаслідок сучасних воєнних дій.

Основна частина. В ході використання БПЛА з застосуванням оптоволоконних сполучень значні площі територій можуть залишатися вкритими тонкими з'єднаннями, які накопичуються на поверхні ґрунту та поступово стають частиною техногенного забруднення територій. Окреме занепокоєння викликає те, що ці матеріали не зникають швидко природним шляхом, а під впливом сонячного випромінювання, температурних коливань, вологи та механічного впливу поступово руйнуються, утворюючи дрібні фрагменти полімерних матеріалів.

Потрапляння залишків оптоволоконних сполучень у водні екосистеми може відбуватися через природні процеси переміщення речовин у довкіллі. Під час атмосферних опадів частинки з поверхні забруднених територій можуть змиватися поверхневими потоками та потрапляти у струмки, річки, ставки й водосховища. Крім того, дрібні фрагменти полімерних оболонок можуть проникати у ґрунт і з часом мігрувати до підземних вод, що створює ризик довготривалого забруднення водних ресурсів.

Основну небезпеку для водних екосистем становить те, що маршрути польоту безпілотних літальних апаратів часто проходять над водними об'єктами або вздовж них. Під час виконання бойових завдань такі дрони можуть перетинати річки, водосховища, ставки та інші водойми, залишаючи за собою оптоволоконне сполучення, яке поступово опускається на поверхню води або потрапляє у прибережну зону. У випадку падіння БПЛА безпосередньо у водойму значна частина оптоволоконних матеріалів може залишатися у водному середовищі без можливості швидкого вилучення. Крім того, сполучення, що накопичуються вздовж берегових ліній, можуть піддаватися впливу вологи, ультрафіолетового випромінювання та механічного руйнування, що сприяє утворенню дрібних полімерних фрагментів і їх подальшому поширенню у водних екосистемах.

Також, небезпеку становить не лише фізична присутність залишків кабелів у водоймах, а й процес їх поступового руйнування. Полімерні компоненти оптоволоконних матеріалів здатні перетворюватися на мікропластикові частинки, які характеризуються високою стійкістю до природного розкладання. Потрапляючи у водне середовище, такі частинки можуть тривалий час залишатися у товщі води або

накопичуватися у донних відкладах. Через свої малі розміри мікропластик може залучатися до харчових ланцюгів водних організмів.

Вплив мікропластикового забруднення на водні екосистеми є комплексним. Дрібні пластикові частинки можуть потрапляти в організми водних безхребетних, риб та інших гідробіонтів, спричиняючи порушення процесів живлення та фізіологічного стану організмів. Крім того, поверхня пластикових частинок здатна накопичувати різноманітні хімічні забруднювачі, що збільшує ризик їх поширення у природних екосистемах. У результаті забруднення може передаватися між різними ланками харчового ланцюга та впливати не лише на водні організми, а й на людину через використання водних ресурсів або споживання продукції водойм.

Особливість проблеми забруднення водойм залишками оптоволоконних сполучень полягає у недостатній вивченості цього явища. Якщо традиційні види воєнного забруднення, такі як важкі метали чи нафтопродукти, мають відомі методи оцінювання та контролю, то вплив великих обсягів оптоволоконних матеріалів на природні системи ще потребує детального дослідження. Наразі недостатньо інформації щодо швидкості їх руйнування, масштабів утворення мікропластику та можливих довгострокових наслідків для водних екосистем.

В умовах післявоєнного відновлення територій питання видалення оптоволоконних відходів має стати складовою екологічної безпеки. Необхідним є проведення комплексного моніторингу забруднених територій, визначення зон ризику для водних об’єктів та розроблення ефективних методів збору й утилізації таких матеріалів. Перспективним напрямом подальших досліджень є встановлення закономірностей поширення полімерних компонентів у природних екосистемах та оцінка їхнього потенційного впливу на водні ресурси.

Висновки:

1. Розглянуто проблему забруднення навколишнього середовища залишками оптоволоконних сполучень, які утворюються внаслідок використання безпілотних літальних апаратів з оптоволоконними системами керування, та визначено їх потенційний вплив на водні екосистеми через можливе потрапляння у поверхневі та підземні води.
2. Обґрунтовано необхідність подальшого дослідження процесів руйнування та міграції полімерних компонентів оптоволоконних матеріалів у природному середовищі, а також розроблення ефективних заходів екологічного моніторингу та утилізації таких відходів для мінімізації негативного впливу на якість водних ресурсів.

Література

[1]. Nikolaenko D.A New type of war-related pollution: Fiber-optic drone tether debris and war-derived polymer microfibers. *Pollution and diseases: War, soil, and freshwater systems.* 2026. DOI: 10.66659/rp314s66.

[2]. Zhao Y.X., Song K.W., Li W.J., Shen Y., Yang J. Migration, transformation, and ecological effects of microplastics in aquatic ecosystems. *Ecological Processes.* 2026. № 15. DOI: 10.1186/s13717-026-00681-w

[3]. Arienzo M, Ferrara L, Trifuoggi M. Research progress in transfer, accumulation and effects of microplastics in the oceans. *Marin Science and Engineering.* 2021. 9 (4):433. DOI: 10.3390/jmse9040433

The risk of aquatic ecosystem contamination by optical fiber residues

Voitasyk Andrii Mykolayovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper considers the problem of a new type of man-made environmental pollution associated with the accumulation of residues of fiber-optic materials due to the use of unmanned aerial vehicles with fiber-optic control during combat operations. Particular attention is paid to the potential impact of these materials on aquatic ecosystems. The ways in which components of fiber-optic cables enter water bodies, the possibility of the formation of microplastic particles, their migration in the aquatic environment, and the risks to living organisms are analyzed. The need for further research into the scale of such pollution and the development of methods for its monitoring and elimination is identified.

Keywords: fiber optic, water pollution, microplastic

УДК 621.039.58:504.06

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Грушина О.Г.,
старший викладач
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
olga.bidnichenko@nuos.edu.ua

Анотація. У статті проведено комплексний аналіз функціонування системи забезпечення радіаційної безпеки Південноукраїнської АЕС та оцінено її відповідність сучасним вітчизняним і міжнародним нормативним вимогам. Досліджено основні джерела радіаційного впливу, структуру автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО), а також організацію індивідуального дозиметричного контролю персоналу. Проведено ризик-орієнтовану оцінку потенційних аварійних сценаріїв та розраховано індивідуальний радіаційний ризик для працівників і населення зони спостереження. Обґрунтовано заходи щодо модернізації систем моніторингу та реалізації принципу ALARA в умовах нових воєнно-техногенних викликів.

Ключові слова: радіаційна безпека, Південноукраїнська АЕС, АСКРО, дозиметричний контроль, радіаційний ризик, принцип ALARA, моніторинг довкілля.

Атомна енергетика відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної незалежності та стабільності енергосистеми України. Південноукраїнський енергетичний комплекс, до складу якого входить філія «ВП Південноукраїнська АЕС» (ВП ПАЕС), щороку виробляє 17–1 млрд кВт·год електроенергії, що становить понад 10 % від загальнонаціонального виробництва [1]. Водночас експлуатація атомних електростанцій супроводжується потенційною небезпекою впливу іонізуючого випромінювання на персонал, населення та довкілля. Особливої актуальності питання радіаційної та екологічної безпеки набувають у сучасних умовах, коли до традиційних техногенних ризиків додалися суттєві зовнішні загрози, пов’язані з воєнними діями, ракетними обстрілами енергетичної інфраструктури та ризиками знеструмлення об’єктів критичної інфраструктури [3].

Метою даного дослідження є комплексний аналіз системи забезпечення радіаційної безпеки Південноукраїнської АЕС, оцінка її відповідності нормативним вимогам та визначення ризик-орієнтованих шляхів підвищення захищеності об’єкта.

На Південноукраїнській АЕС функціонують 3 енергоблоки з реакторами типу ВВЕР-1000 загальною встановленою електричною потужністю 3000 МВт. В основі проєкту покладено двоконтурну схему: перший контур (радіоактивний) відбирає тепло від активної зони реактора, а другий контур (нерадіоактивний) генерує пару для турбогенератора К-1000-60/1500. Основними джерелами радіаційної небезпеки на підприємстві є активна зона реактора, теплоносій першого контуру, відпрацьоване ядерне паливо, радіоактивні відходи, а також контрольовані газоаерозольні викиди і рідкі скиди [1; 2]. Причиною виникнення радіаційних ризиків є накопичення в активній зоні продуктів поділу урану (ізотопи цезію, стронцію, йоду, кобальту) та нейтронна активація конструкційних матеріалів і теплоносія. Для забезпечення надійної локалізації радіонуклідів на станції реалізовано принцип глибокоешелонованого захисту, що включає паливну матрицю, оболонки твелів, корпус реактора з першим контуром та герметичну залізобетонну оболонку (контаймент).

Окрім потенційного радіаційного фактора, функціонування ВП ПАЕС супроводжується фізичним (тепловим) та хімічним впливом на навколишнє середовище. Основним приймачем скидного тепла є Ташлицьке водосховище-охолоджувач площею 8,5–8,6 км². В літній період температура води у відвідних каналах досягає 35,5 °С, що створює суттєве температурне навантаження на водойму [1]. Хімічний вплив характеризується надходженням в атмосферу речовин від пуско-резервної котельні та допоміжних цехів (валовий викид у 2024 р. склав 19,59 т без урахування CO_2). Показники радіоактивних викидів та скидів протягом останніх років не перевищували встановлених допустимих скидів (ДС) та викидів (ДВ) [4].

Система радіаційного контролю на ВП ПАЕС має багаторівневу структуру і відповідає вимогам НРБУ-97 та ДСП 6.177-2005-09-02 [2; 5]. Безперервний моніторинг здійснюється за допомогою Автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО), яка включає стаціонарні пости в санітарно-захисній зоні та зоні спостереження. Індивідуальний дозиметричний контроль (ІДК) охоплює весь персонал категорії А із застосуванням прямих електронних та накопичувальних дозиметрів.

Захист персоналу базується на міжнародному принципі ALARA (As Low As Reasonably Achievable). За останні п’ять років середня ефективна доза опромінення персоналу категорії А на ПАЕС не перевищувала 3, мЗв/рік, що значно нижче нормативного ліміту 2 мЗв/рік [2]. Для аналізу відповідності системи вимогам законодавства у табл. 1 наведено узагальнені результати оцінки.

Таблиця 1 – Результати оцінки відповідності системи радіаційної безпеки ВП ПАЕС

Напрям оцінки	Нормативна вимога	Фактичний стан та оцінка
Радіаційний контроль	Безперервний моніторинг АСКРО	Відповідає (функціонує 24/7)
Дозові ліміти персоналу	Ефективна доза < 2 мЗв/рік	Відповідає (фактично 1,5–3, мЗв/рік)
Контроль викидів і скидів	Неперевищення рівнів ДВ та ДС	Відповідає (у межах 10–15 % від ДВ/ДС)
Поводження з РАВ	Кондиціювання, безпечне зберігання	Відповідає (комплекс переробки РАВ)
Моніторинг довкілля	Систематичний відбір проб біоти/води	Відповідає (лабораторний контроль)
Аварійна готовність	Наявність протиаварійних систем	Частково потребує модернізації

Для математичної оцінки безпеки було застосовано ризик-орієнтований підхід. Рівень потенційного ризику R визначається як добуток ймовірності події P на тяжкість її наслідків S (за 5-бальною шкалою): $R = P \times S$. Згідно з розрахунками, найвищий рівень ризику мають сценарії втрати зовнішнього електроживлення ($R = 16$) та відмови систем аварійного охолодження ($R = 15$), що підтверджує необхідність наявного дублювання дизель-генераторних станцій.

Для оцінки стохастичних ефектів опромінення застосовано стандартну модель МКРЗ із коефіцієнтом ризику $k = 5 \times 10^{-2}$ Зв$^{-1}$. Індивідуальний радіаційний ризик R розраховується за формулою:

$$R = E \cdot k,$$

де E – річна ефективна доза опромінення, Зв; k – коефіцієнт радіаційного ризику, Зв$^{-1}$.

При середній ефективній дозі персоналу E = мЗв (0,003 Зв) індивідуальний радіаційний ризик становить $R = 0{,}003 \times 0{,}05 = 1{,}5 \times 10^{-4}$ на рік (близько 1,5 випадку на 10 000 працюючих), що відповідає прийнятному рівню для професійного опромінення. Впровадження оптимізаційних заходів ALARA та зниження дози до 1, мЗв зменшує ризик удвічі – до $7{,}5 \times 10^{-5}$ [2]. Розрахунок надійності спрацювання систем аварійного захисту за формулою $Kн = Nз / (Nз + Nв)$ при $Nз = 148$ та $Nв = 2$ дав значення $Kн = 0{,}987$, що характеризує дуже високий рівень надійності обладнання.

На основі проведеного аналізу визначено пріоритетні напрями вдосконалення системи радіаційної безпеки ВП ПАЕС:

– модернізація та цифровізація систем автоматизованого контролю радіаційного стану та розширення мережі датчиків АСКРО;

– впровадження роботизованих комплексів та дистанційного маніпуляційного обладнання для проведення ремонтних робіт у зонах високого полів випромінювання (реалізація принципів ALARA);

– посилення автономності систем аварійного живлення та розхолодження реакторних установок в умовах воєнних загроз;

– вдосконалення технологій кондиціювання рідких РАВ та сублімаційного очищення газоаерозольних викидів.

Висновки. Дослідження довело, що система радіаційної безпеки Південноукраїнської АЕС функціонує з високим рівнем надійності ($K_н = 0{,}987$) та повністю відповідає діючим нормативним вимогам України і рекомендаціям МАГАТЕ. Дозові навантаження на персонал та радіаційний вплив на населення перебувають у безпечних межах. Подальше підвищення безпеки полягає у цифровізації моніторингу та адаптації інфраструктури станції до екстремальних зовнішніх впливів.

Література

[1] Екологічний паспорт філії «ВП Південноукраїнська АЕС» за 2024 рік. Офіційний сайт ДП «НАЕК «Енергоатом»». URL: https://energoatom.com.ua

[2] Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1-6.5.001-98. Київ : МОЗ України, 1998. 13 с.

[3] Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 08.02.1995 № 39/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 12. Ст. 81.

[4] Екологічна обстановка в зоні розташування філії «ВП ПАЕС» за 2025 рік. *Офіційний портал Вознесенської міської ради.* URL: https://voznesenska-gromada.gov.ua

[5] Державні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: ДСП 6.177-2005-09-02. Київ : МОЗ України, 2005. 16 с.

ASSESSMENT OF THE RADIATION SAFETY SYSTEM EFFICIENCY OF THE SOUTH UKRAINIAN NPP AND JUSTIFICATION OF IMPROVEMENT DIRECTIONS UNDER MODERN CONDITIONS

Olga G. Grushyna
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the operation of the radiation safety system at the South Ukrainian NPP and evaluates its compliance with modern Ukrainian and international regulatory requirements. The main sources of radiation impact, the structure of the automated radiation monitoring system (ASKRO), and the organization of individual dosimetric control of personnel were investigated. A risk-oriented assessment of potential emergency scenarios was carried out, and individual radiation risk for workers and the population was calculated. Measures for modernizing monitoring systems and implementing the ALARA principle under military and military-technical challenges were justified.

Keywords: radiation safety, South Ukrainian NPP, ASKRO, dosimetric control, radiation risk, ALARA principle, environmental monitoring.

УДК 502.17:656.6:528.8

ЗАСТОСУВАННЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АКВАТОРІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Грушина О.Г.,
старший викладач
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
olga.bidnichenko@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто перспективи використання морського транспорту як мобільної платформи для екологічного моніторингу акваторій із застосуванням технологій дистанційного зондування Землі. Обґрунтовано доцільність поєднання суднових вимірювань із супутниковими даними для підвищення достовірності оцінювання стану водного середовища. Проаналізовано роль судна у проведенні просторово прив’язаних вимірювань, калібруванні та валідації результатів дистанційного зондування. Запропоновано загальну технологічну схему інтегрованого судново-супутникового екологічного моніторингу.

Ключові слова: морський транспорт, дистанційне зондування Землі, екологічний моніторинг, супутникові дані, суднові технології, якість води.

Сучасний екологічний моніторинг водних об’єктів потребує отримання не лише локальних вимірювань, а й просторово розподіленої інформації про стан акваторій. Традиційний відбір проб дозволяє отримувати безпосередні характеристики водного середовища, проте охоплює обмежену кількість пунктів і потребує значних ресурсів. Саме тому дистанційне зондування Землі розглядається як ефективний інструмент оперативного спостереження за просторовою динамікою водних об’єктів [1–3].

Для України питання моніторингу водних ресурсів має особливе значення. Сучасні українські дослідження демонструють можливість використання супутникових даних і спектральних індексів для оцінювання стану та забруднення водних об’єктів [1, 2]. Зокрема, використання даних Sentinel-2 дозволяє отримувати просторову інформацію про характеристики водної поверхні та здійснювати моніторинг важкодоступних ділянок [2]. Разом із тим супутникове дистанційне зондування не забезпечує безпосереднього вимірювання всіх екологічних показників, а отримання достовірних оцінок потребує наземних або морських вимірювань, які використовуються для калібрування та валідації дистанційних методів [4]. У цьому контексті морський транспорт може виконувати функцію мобільної дослідницької платформи.

Метою роботи є обґрунтування можливостей використання судна як мобільної платформи для проведення екологічних досліджень акваторій та забезпечення комплексування суднових вимірювань із даними дистанційного зондування.

Основна частина. Дистанційне зондування водних об’єктів ґрунтується на аналізі спектральних характеристик електромагнітного випромінювання, зареєстрованого сенсорами супутників, літальних апаратів

або інших платформ. Для дослідження водних об'єктів можуть використовуватися спектральні індекси, які дають змогу визначати межі водної поверхні, оцінювати її оптичні характеристики та виявляти просторові зміни [1, 2]. Одним із найбільш доступних джерел даних є супутникова система Sentinel-2. Її мультиспектральні дані використовуються для дослідження водних об'єктів, а комбінація спектральних каналів дозволяє розраховувати індекси та формувати тематичні карти. Українські дослідження показують можливість застосування Sentinel-2 для супутникового моніторингу та оцінювання ступеня забруднення водойм [2, 3].

Водночас супутниковий знімок є результатом дистанційної реєстрації спектрального сигналу, а не безпосереднього лабораторного вимірювання концентрації забруднювальної речовини. Залежність між спектральними характеристиками та параметрами якості води визначається відповідними моделями й алгоритмами, тому важливою складовою технології є отримання контрольних даних безпосередньо в досліджуваній акваторії. У цьому випадку судно може розглядатися як мобільна вимірювальна платформа, на якій можуть розміщуватися GPS-навігація, оптичні та спектрометричні сенсори, метеорологічні прилади, обладнання для вимірювання фізико-хімічних характеристик води та засоби відбору проб. Принципова перевага судна полягає в його мобільності. На відміну від стаціонарного пункту спостережень, судно може переміщуватися між різними ділянками акваторії та формувати просторовий профіль її стану, при цьому кожне вимірювання може бути прив'язане до конкретних географічних координат.

Запропоновану технологічну послідовність можна представити у вигляді:

вибір району дослідження → вибір супутникової сцени → планування маршруту судна → синхронні суднові вимірювання → GPS-прив'язка → оброблення супутникових даних → порівняння даних → валідація → екологічне картографування.

Особливу цінність мають синхронні вимірювання. Якщо судно виконує спостереження в період, максимально наближений до моменту супутникової зйомки, отримані дані можуть бути безпосередньо використані для порівняння з дистанційними показниками. Такий підхід є важливим для оцінювання достовірності моделей дистанційного зондування. Суднові вимірювання можуть включати реєстрацію оптичних характеристик води, температури, мутності, електропровідності та інших параметрів залежно від поставленої задачі. За необхідності проводиться відбір проб води для подальшого лабораторного аналізу. Координати та час кожного вимірювання фіксуються навігаційною системою. Таким чином, формується масив даних, у якому кожному вимірюванню відповідають просторові координати та часові характеристики. Після цього дані можуть бути зіставлені з відповідними ділянками супутникового зображення.

Українські дослідження підтверджують перспективність поєднання дистанційних даних із методами оцінювання стану водних об'єктів. Зокрема, аналіз супутникового моніторингу розглядається як засіб оперативного виявлення просторових змін водних об'єктів, тоді як гідроекологічне моделювання дозволяє використовувати космічні знімки як інформаційну основу для оцінювання та прогнозування стану водних екосистем [3, 4].

Використання судна в системі дистанційного моніторингу має подвійне значення – воно забезпечує отримання детальних просторово прив'язаних даних безпосередньо в акваторії та створює можливість перевіряти та уточнювати результати супутникового спостереження. Суднові технології не слід розглядати як альтернативу супутниковому моніторингу, їх доцільно використовувати як взаємодоповнюючі компоненти єдиної системи. Супутник забезпечує значне просторове охоплення, тоді як судно забезпечує локальну деталізацію та контрольні вимірювання.

Важливою перевагою запропонованого підходу є можливість дослідження протяжних акваторій за відносно короткий період. Судно може послідовно проходити через декілька характерних зон: прибережну частину, відкриту акваторію, район впливу річкового стоку, портову зону або іншу ділянку з потенційним антропогенним навантаженням. Це дозволяє формувати не окремі точки спостереження, а просторовий масив екологічних даних. Разом з тим технологія має певні обмеження. Проведення суднових досліджень залежить від погодних і гідрометеорологічних умов, потребує відповідного обладнання та кваліфікованого персоналу. Крім того, для коректної валідації необхідно враховувати просторову відповідність між масштабом суднових вимірювань і розміром пікселя супутникового зображення, а також часову різницю між двома типами спостережень.

Висновки. Морський транспорт може ефективно використовуватися як мобільна платформа для екологічних досліджень акваторій із застосуванням технологій дистанційного зондування. Його основною функцією в комплексній системі є забезпечення мобільного збору просторово прив'язаних до місця даних, виконання бортових вимірювань та валідація супутникових результатів.

Перспективним напрямом є створення інтегрованих судново-супутникових систем екологічного моніторингу, у яких дані дистанційного зондування, навігації, бортових сенсорів та лабораторних досліджень об'єднуються в єдину геоінформаційну систему. Такий підхід може бути використаний для регулярного спостереження за просторово-часовою динамікою стану морських і прибережних акваторій та підвищення оперативності виявлення екологічно небезпечних змін.

Література

[1] Кавац, О. О., Кавац, Ю. В., & Дібрій, Д. А. (2023). Аналіз методик оцінки ступеню забрудненості водних об'єктів. *Системні технології, 6* (149), 63–72. https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-149-2023-08

[2] Кавац, Ю. В., Сергєєва, К. Л., Фененко, Т. В., & Дібрій, Д. А. (2025). Оцінка стану забруднення водних об'єктів на основі спектральних індексів. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні*, 2025 (1), 624–632. https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2025.01.097

[3] Кавац, О. О., Кавац, Ю. В., & Рой, Д. М. (2024). Аналіз методів супутникового моніторингу змін водних об'єктів. У *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні – ITMM'2024* (с. 383–386). Український державний університет науки і технологій. https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.073

[4] Якимчук, В. Г. (2022). Імітаційне математичне моделювання гідроекологічного моніторингу водних ресурсів з використанням космічних знімків Землі. *Український журнал дистанційного зондування Землі, 9* (2), 37–42. https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.2.211

THE USE OF MARITIME TRANSPORT FOR CONDUCTING ENVIRONMENTAL RESEARCH IN AQUATORIES USING REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

Olga G. Grushyna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines the prospects for using maritime transport as a mobile platform for environmental monitoring of water bodies using remote sensing technologies. It justifies the feasibility of combining ship-based measurements with satellite data to improve the reliability of assessments of the state of the aquatic environment. The role of a vessel in conducting spatially referenced measurements, as well as in the calibration and validation of remote sensing results, is analysed. A general technological framework for integrated ship-satellite environmental monitoring is proposed.

Keywords: maritime transport, remote sensing, environmental monitoring, satellite data, ship-based technologies, water quality.

УДК 504.064.3:004.9

ЕКОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВПЛИВУ ПІДПРИЄМСТВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Гура О.О.,
аспірант
oleksandr.hura@nuos.edu.ua
Літвак О.А.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
olya.litvak@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто сучасні цифрові інструменти контролю впливу підприємств на навколишнє середовище. Узагальнено основні групи екологічних показників і послідовність цифрового контролю – від отримання даних до формування природоохоронних рішень. Обґрунтовано роль цифровізації у підвищенні ефективності природоохоронної діяльності підприємств.

Ключові слова: екологічний контроль, цифрові інструменти, екологічні показники, аналіз екологічних даних, природоохоронні рішення.

Вступ. Посилення антропогенного навантаження та вимог до екологічної безпеки зумовлює вдосконалення контролю впливу підприємств на довкілля. Періодичні вимірювання і звітність не завжди забезпечують оперативне виявлення відхилень, тому актуальним є застосування цифрових інструментів автоматизованого збирання, передавання й аналізу екологічних даних.

Метою дослідження є систематизація цифрових інструментів контролю впливу підприємств на навколишнє середовище та обґрунтування їх ролі у підвищенні результативності природоохоронної діяльності.

Основна частина. У концептуальній моделі розвитку екологічно орієнтованого підприємництва цифрові технології забезпечують зворотний зв'язок на основі екологічних показників [1]. Їх застосування

дає змогу контролювати екологічні аспекти діяльності та інформаційно підтримувати природоохоронні рішення.

Цифровий контроль впливу підприємства на довкілля є системою технічних, інформаційних та аналітичних засобів для спостереження за екологічними параметрами, виявлення відхилень і підтримки рішень. Він охоплює викиди, скиди, відходи, ресурсоспоживання, фізичні фактори та ефективність природоохоронного обладнання.

Сенсорні системи та Інтернет речей забезпечують автоматизоване вимірювання параметрів повітря, стічних вод, шуму, ресурсоспоживання і стану обладнання з передаванням даних до єдиного інформаційного середовища. Це дає змогу відстежувати динаміку показників і оперативно виявляти перевищення; прикладом є системи безперервного контролю атмосферного повітря [2].

Геоінформаційні системи, дистанційне зондування та безпілотна зйомка використовуються для просторового аналізу джерел забруднення і змін стану територій [3]. Автоматизований облік ресурсів, хмарні платформи, великі дані та цифрові двійники забезпечують виявлення втрат і ризиків, прогнозування та порівняння варіантів модернізації природоохоронних процесів.

Цифровий моніторинг охоплює спостереження, вимірювання й накопичення інформації, тоді як контроль передбачає також її порівняння з критеріями, виявлення невідповідностей і коригувальні дії. Практичного природоохоронного значення дані набувають лише за їх інтеграції у процес прийняття рішень. Упровадження цифрових інструментів передбачає визначення значущих екологічних аспектів, формування системи технічних засобів і джерел даних, установлення правил їх перевірки та інтеграцію результатів у вибір природоохоронних заходів. Послідовність цифрового контролю наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Послідовність цифрового контролю впливу підприємств на навколишнє середовище

Екологічні показники, що використовуються підприємствами, мають відповідати характеру їх діяльності, значущим екологічним аспектам та поставленим цілям. Міжнародний стандарт ISO 14031:2021 передбачає використання оцінювання екологічної результативності організаціями різного типу, розміру та складності й наголошує на необхідності систематичного збирання, аналізу й оцінювання відповідної інформації [4]. Водночас універсального набору показників для всіх підприємств не існує, тому цифрова система контролю має бути адаптована до галузевих особливостей, виробничих процесів і характеру впливу на довкілля (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні екологічні показники цифрового контролю діяльності підприємств

Група показників	Основні показники
Викиди в атмосферне повітря	обсяги та концентрації забруднювальних речовин, викиди парникових газів
Використання і скидання води	водоспоживання, обсяги стічних вод, показники їх якості
Утворення відходів	обсяги відходів, частка повторного використання, перероблення й утилізації
Споживання ресурсів	використання енергії, палива, сировини та матеріалів
Фізичні фактори впливу	рівень шуму, вібрації, запиленості та теплового впливу
Результативність природоохоронних заходів	зниження викидів і скидів, економія ресурсів, ефективність очисного обладнання

Досвід використання цифрових технологій на підприємствах морського транспорту показує можливість їх застосування для підвищення енергоефективності, оптимізації процесів та підтримки екологізації діяльності [5]. Водночас аналогічні підходи можуть бути адаптовані до промислових, транспортних, аграрних, портових та інших підприємств. Міжгалузевий характер цифрових інструментів не виключає необхідності врахування специфічних параметрів контролю для кожного виду економічної діяльності.

До основних переваг цифрового екологічного контролю належать оперативність отримання інформації, можливість постійного спостереження, автоматизація розрахунків, візуалізація результатів та підвищення простежуваності екологічних даних. Його використання створює передумови для своєчасного виявлення аварійних або нештатних ситуацій, скорочення непродуктивного споживання ресурсів, контролю ефективності очисного обладнання й оцінювання результатів природоохоронних заходів.

Разом із тим упровадження цифрових систем супроводжується низкою обмежень. До них належать висока початкова вартість обладнання і програмного забезпечення, необхідність калібрування датчиків, недостатня сумісність інформаційних систем, ризики втрати або несанкціонованого використання даних, потреба у кваліфікованих фахівцях. Окремого значення набуває забезпечення достовірності інформації, оскільки помилки вимірювання або оброблення даних можуть призвести до необґрунтованих управлінських рішень.

Висновки. Застосування сенсорних, геоінформаційних, дистанційних та аналітичних технологій забезпечує перехід до інтегрованого контролю екологічних параметрів підприємств. Його результативність визначається здатністю перетворювати дані на рішення щодо скорочення викидів, скидів і відходів, раціонального використання ресурсів та підвищення ефективності природоохоронних технологій.

Література

[1]. Літвак О. А., Гура О. О. Концептуальна модель розвитку екологічно орієнтованого підприємництва в умовах цифрової трансформації. *Екологічні науки*. 2026. № 1 (64). С. 140–147.

[2]. Бордюг Н. С., Ращенко А. В., Лесь А. В. Розробка проєкту системи моніторингу атмосферного повітря. *Екологічні науки*. 2021. № 2 (35). С. 15–19.

[3]. Фінін Г. С., Шевченко Р. Ю. Сучасні цифрові технології супутникового моніторингу та електронний геокартоінформаційний інструментарій доступу до екологічної інформації. *Екологічні науки*. 2022. № 1 (40). С. 38–45.

[4]. ISO 14031:2021. Environmental management – Environmental performance evaluation – Guidelines. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. 44 p.

[5]. Ярова Н. В., Воркунова О. В. Вплив цифрових технологій на екологічну стійкість підприємств морського транспорту. *Економіка та суспільство*. 2024. № 66.

ENVIRONMENTAL CONTROL OF THE IMPACT OF ENTERPRISES ON THE ENVIRONMENT USING DIGITAL TOOLS

Hura Oleksandr, Litvak Olga

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Modern digital tools for controlling the environmental impact of enterprises are considered. The main groups of environmental indicators and the sequence of digital control, from data collection to the development of environmental protection solutions, are summarized. The role of digitalization in improving the effectiveness of environmental protection activities at enterprises is substantiated.

Keywords: environmental control, digital tools, environmental indicators, environmental data analysis, environmental protection solutions.

УДК 502.171:628.17

КАСКАДНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ЯК НАПРЯМ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Літвак О.А.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
olya.litvak@gmail.com
Літвак С.М.,
кандидат технічних наук, професор НУК
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
sergiy.litvak@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Обґрунтовано доцільність послідовного спрямування водних потоків від процесів із вищими вимогами до якості води до операцій, у яких допускається її повторне використання. Визначено умови формування каскадної системи, зокрема проведення водного аудиту, розділення потоків, локальне очищення та контроль показників. Такий підхід сприяє скороченню споживання свіжої води, зменшенню навантаження на очисні споруди.

Ключові слова: каскадне використання води, ресурсоефективність, повторне водокористування, водний аудит, стічні води

Вступ. Зростання дефіциту водних ресурсів, погіршення стану водних об’єктів і підвищення вартості водопостачання зумовлюють необхідність удосконалення водокористування промислових підприємств. Вода використовується у технологічних і допоміжних процесах, зокрема для охолодження, промивання, миття обладнання, приготування розчинів та утримання територій.

Традиційна прямоточна система ґрунтується на одноразовому використанні води з подальшим очищенням і скиданням. Водночас якість частини відпрацьованих потоків залишається достатньою для інших виробничих потреб, тому їх відведення збільшує споживання свіжої води та навантаження на очисні споруди [1].

Перехід до циркулярної моделі передбачає утримання води у виробничій системі якомога довше. Одним із відповідних рішень є каскадне водокористування, за якого потоки послідовно спрямовуються до операцій із нижчими вимогами до якості [2].

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні принципів каскадного використання води як інструменту скорочення споживання свіжої води та підвищення ресурсоефективності промислових підприємств.

Основна частина. Каскадне водокористування передбачає послідовне застосування одного водного потоку в кількох виробничих або допоміжних процесах. На відміну від оборотної системи, де вода повертається до тієї самої операції, у каскаді вона переходить між процесами з поступовим зниженням вимог до її характеристик.

Основним є принцип відповідності якості води її призначенню: високоякісна свіжа або спеціально підготовлена вода використовується там, де це технологічно необхідно; після локального очищення потік спрямовується до менш вимогливих операцій; слабкозабруднена вода застосовується для допоміжних потреб [3]. Такий розподіл запобігає надмірному очищенню та скорочує витрати енергії і реагентів.

Послідовність руху водних потоків та їх умовний розподіл між етапами наведено на рис. 1. За початкового обсягу свіжої води 100 % її багаторазове застосування забезпечує сумарний обсяг водокористування 275 % і модельне скорочення потреби у свіжій воді на 63,6 % порівняно з прямоточною системою. Наведені значення демонструють потенціал каскадного підходу до підвищення ресурсоефективності підприємства. Практично вода після охолодження може використовуватися для попереднього промивання, а потоки після завершального миття – на початкових стадіях наступного циклу. Дощові води з умовно чистих покрівель після накопичення і фільтрації придатні для миття території, поливу зелених насаджень та інших технічних потреб.

Упровадження каскаду починають із водного аудиту та складання балансу водоспоживання і водовідведення. Інвентаризація джерел, споживачів, обсягів і якісних характеристик потоків дає змогу виявити водоємні процеси, втрати та можливості повторного використання [4].

Далі характеристики води після кожної операції зіставляють із вимогами потенційного споживача. За повної відповідності потік передають безпосередньо, а за часткової – застосовують локальне

відстоювання, фільтрацію, сорбцію, нейтралізацію, охолодження або знезараження. Необхідною умовою є розділення умовно чистих і забруднених потоків у місцях утворення. Їх змішування збільшує обсяг стоків і ускладнює очищення. Води з високим вмістом нафтопродуктів, металів, розчинників та інших небезпечних речовин мають збиратися окремо й проходити спеціальну обробку.

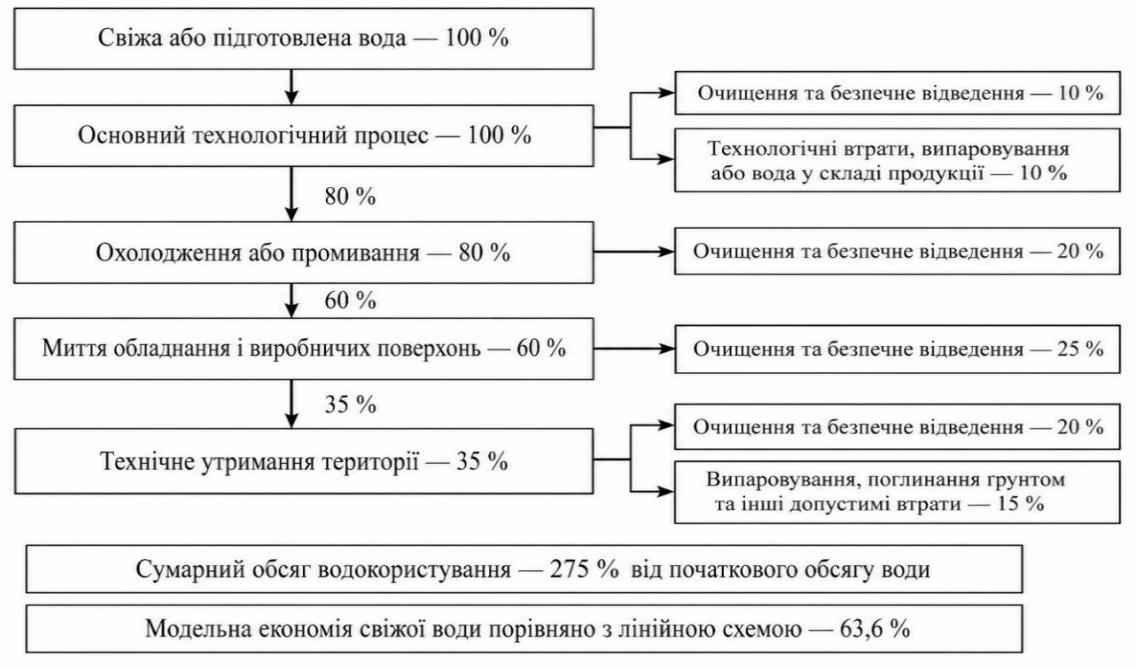


Рисунок 1 – Приклад схеми каскадного водокористування на промисловому підприємстві

Кількість ступенів каскаду визначають з урахуванням накопичення солей, завислих і органічних речовин, що можуть спричиняти корозію, відкладення, біологічне обростання та погіршення якості продукції. Для кожного напряму встановлюють контрольовані показники, зокрема температуру, pH, електропровідність, каламутність і вміст специфічних забруднювачів [5].

Безпечна експлуатація потребує окремих промаркованих трубопроводів і резервуарів для технічної води, захисту від з'єднання з питними мережами та спрямування невідповідних потоків на додаткове очищення. Контроль може поєднувати автоматичні вимірювання з періодичними лабораторними дослідженнями.

Результативність системи оцінюють за часткою води, використаної у двох і більше процесах, скороченням забору свіжої води та водовідведення. Додатково враховують енерго- і реагентоємність очищення, масу скинутих забруднювачів та економію витрат. Перевагу слід надавати рішенням, що забезпечують необхідну, а не максимально можливу якість води. Каскадну систему доцільно впроваджувати поетапно, починаючи зі стабільних слабкозабруднених потоків, використання яких не потребує складної реконструкції. Після підтвердження технологічної надійності та екологічної безпеки її можна розширювати.

Висновки. Каскадне водокористування дає змогу послідовно використовувати воду в процесах із різними вимогами до її якості, скорочуючи забір свіжої води, обсяги стоків і навантаження на очисні споруди.

Ефективність такого підходу забезпечують водний аудит, розділення потоків, установлення цільових показників якості та локальне очищення відповідно до подальшого призначення води. Кількість ступенів каскаду має враховувати технологічні й екологічні ризики. Поетапне впровадження та комплексне оцінювання водних, енергетичних, екологічних і економічних показників створюють передумови для модернізації водозабезпечення підприємств і переходу до циркулярної моделі ресурсокористування.

Література

[1] World Bank Group. Scaling Water Reuse: A Tipping Point for Municipal and Industrial Use. Washington, DC : World Bank, 2025.

[2] Karkou E., Teo C. J., Savvakis N., Poinapen J., Arampatzis G. Industrial circular water use practices through the application of a conceptual water efficiency framework in the process industry. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 370. Article 122596.

[3]. Strade E., Kalnina D., Kulczycka J. Water efficiency and safe re-use of different grades of water: Topical issues for the pharmaceutical industry. *Water Resources and Industry.* 2020. Vol. 24. Article 100132.

[4]. ISO 46001:2019. Water efficiency management systems Requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2019.

[5]. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union.* 2020. L 177. P. 32–55.

CASCADING WATER USE AS AN APPROACH TO IMPROVING RESOURCE EFFICIENCY IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Litvak Olga, Litvak Serhiy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The feasibility of sequentially directing water flows from processes with higher water quality requirements to operations where its reuse is permitted is substantiated. The conditions for developing a cascading water use system are identified, including water auditing, flow separation, local treatment, and parameter monitoring. This approach contributes to reducing freshwater consumption and lowering the load on wastewater treatment facilities.

Keywords: cascading water use, resource efficiency, water reuse, water audit, wastewater.

УДК 504: 629.5.017.7

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ПОВОДЖЕННЯ З ХАРЧОВИМИ ВІДХОДАМИ НА КРУЇЗНИХ ЛАЙНЕРАХ

Літвак О.А.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
olya.litvak@gmail.com
Смірнова Л.О.,
магістрант
lolitaweiss82@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У тезах розглянуто проблему утворення харчових відходів на круїзних лайнерах та виконано розрахункове оцінювання їх обсягів. Обґрунтовано технологічну схему екологічно безпечного оброблення харчових відходів, що передбачає роздільне збирання, вилучення сторонніх домішок, подрібнення, транспортування, зневоднення, тимчасове зберігання та подальше передавання до портових приймальних споруд або термічне оброблення. Така послідовність сприяє зменшенню об'єму органічних відходів, санітарних ризиків і навантаження на суднову систему поводження з відходами.

Ключові слова: круїзний лайнер, харчові відходи, екологічна безпека, роздільне збирання, зневоднення, інсинерація, портові приймальні споруди.

Вступ. Експлуатація сучасних круїзних лайнерів супроводжується утворенням значних обсягів побутових відходів, серед яких особливе місце займають харчові відходи. Це пов'язано з одночасним перебуванням на борту великої кількості пасажирів і членів екіпажу, функціонуванням ресторанів, камбузів, кафе, буфетів, барів та інших об'єктів харчування. За умов тривалого рейсу органічні відходи можуть швидко накопичуватися, створюючи додаткове навантаження на суднові природоохоронні системи [1].

Харчові відходи характеризуються високою вологістю, значним вмістом органічних речовин і здатністю до швидкого біологічного розкладання. За неналежної організації поводження вони можуть спричиняти утворення неприємних запахів, погіршення санітарного стану приміщень, розвиток мікроорганізмів, залучення переносників забруднення, а також підвищення ризику органічного забруднення морського середовища. Тому на круїзних лайнерах важливим є впровадження технологічно узгодженої системи поводження з харчовими відходами в контексті забезпечення екологічної безпеки та належних санітарно-гігієнічних умов.

Метою дослідження є оцінювання обсягів утворення харчових відходів на круїзному лайнері та визначення технологічних підходів до їх екологічно безпечного оброблення.

Основна частина. Для обґрунтування екологічно безпечної технологічної схеми поводження з харчовими відходами необхідно визначити їх орієнтовний обсяг, оскільки він формує навантаження на суднові системи їх збирання, транспортування, зневоднення та тимчасового зберігання. Розрахункове оцінювання виконано на прикладі круїзного лайнера класу Vista, максимальна місткість якого становить 4977 пасажирів і 1450 членів екіпажу. Загальна кількість осіб на борту за максимального завантаження становить 6427 осіб. Тривалість рейсу прийнято 7 діб.

Для орієнтовного визначення маси харчових відходів використано питомі показники їх утворення: для пасажирів – 1,7 кг/(особу·добу), для членів екіпажу – 0,36 кг/(особу·добу) [2]. Добова маса харчових відходів визначається за формулою:

$$M_{доб} = N_п \cdot q_п + N_е \cdot q_е,$$

де $M_{доб}$ – добова маса харчових відходів, кг/добу; $N_п$ – кількість пасажирів, осіб; $q_п$ – питоме утворення харчових відходів одним пасажиром, кг/(особу·добу); $N_е$ – кількість членів екіпажу, осіб; $q_е$ – питоме утворення харчових відходів одним членом екіпажу, кг/(особу·добу).

Для наочного представлення результатів розрахунку обсягів утворення харчових відходів за категоріями осіб на борту судна складено табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахунок утворення харчових відходів на круїзному лайнері

Категорія осіб на борту	Кількість осіб	Питоме утворення харчових відходів, кг/(особу·добу)	Маса харчових відходів	
			кг/добу	т/рейс
Пасажири	4977	1,70	8460,9	59,226
Члени екіпажу	1450	0,36	522,0	3,654
Разом	6427	–	8982,9	62,88

В результаті розрахункового оцінювання встановлено, що за умов максимального завантаження круїзного лайнера протягом семидобового рейсу може утворюватися близько 62,88 т харчових відходів, або 8,98 т/добу. Такий обсяг потоку органічних відходів потребує чіткої організації технологічного процесу поводження, оскільки навіть короткочасні порушення в системі збирання або зберігання можуть спричинити санітарні ризики та ускладнити експлуатацію суднових приміщень.

Екологічно безпечне поводження з харчовими відходами на круїзному лайнері доцільно здійснювати за технологічною схемою, наведеною на рис. 1. Першим і найбільш важливим етапом є роздільне збирання харчових відходів у місцях їх утворення. До таких зон належать камбузи, ресторани, кафе, бари, буфети та складські приміщення для харчових продуктів. На цьому етапі необхідно запобігати змішуванню органічних залишків із пластиком, склом, металом, пакуванням, серветками та іншими сторонніми матеріалами. Наявність таких домішок може пошкоджувати подрібнювальне обладнання, ускладнювати транспортування і знижувати ефективність подальшого оброблення.



Рисунок 1 – Технологічна схема екологічно безпечного поводження з харчовими відходами на круїзному лайнері

Наступним етапом є подрібнення харчових відходів, що забезпечує зменшення розміру частинок і підготовку органічної маси до транспортування. На великих круїзних лайнерах доцільним є використання вакуумного транспортування, яке дозволяє швидко переміщувати відходи з місць утворення до централізованої зони оброблення [3]. Такий підхід зменшує потребу в ручному транспортуванні, покращує санітарний стан приміщень і знижує ризик поширення запахів.

Важливим технологічним етапом є зневоднення харчових відходів. Оскільки органічні залишки мають високу вологість, видалення рідкої фази дозволяє суттєво зменшити їх об'єм і масу, спростити тимчасове зберігання та знизити навантаження на суднову систему поводження з відходами [4]. Рідка фаза після зневоднення має спрямовуватися до системи очищення стічних вод, а тверда фракція – накопичуватися для подальшого знешкодження або передавання до портових приймальних споруд.

Залежно від технічного оснащення судна, зневоднена органічна маса може передаватися до портових приймальних споруд або спрямовуватися до суднового інсинератора, якщо це передбачено технічними характеристиками обладнання та судновими правилами поводження з відходами. Інсинерація дозволених органічних потоків забезпечує зменшення об'єму залишкових відходів, однак потребує суворого контролю складу завантаження, температурного режиму та поводження із зольним залишком.

Висновки. Очікуваний екологічний ефект від впровадження наведеної технологічної схеми полягає у зменшенні об'єму харчових відходів, скороченні потреби в площах для їх тимчасового зберігання, зниженні ризику утворення запахів, покращенні санітарного стану суднових приміщень і зменшенні навантаження на систему інсинерації та портові приймальні споруди. Крім того, роздільне збирання і вилучення сторонніх домішок сприяють стабільнішій роботі подрібнювального, транспортного та зневоднювального обладнання.

Література

[1]. Sanches V. M. L., Aguiar M. R. C. M., Freitas M. A. V., Pacheco E. B. A. V. Management of cruise ship-generated solid waste: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 2020. Vol. 151. Article 110785.

[2]. Schumüller K., Weichgrebe D., Köster S. Biogas potential of organic waste onboard cruise ships: a yet untapped energy source. Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. Vol. 12, no. 12. P. 5647–5662.

[3]. Toneatti L., Deluca C., Fraleoni-Morgera A., Pozzetto D. Rationalization and optimization of waste management and treatment in modern cruise ships. Waste Management. 2020. Vol. 118. P. 209–218.

[4]. Pallis A. A., Papachristou A. A., Platias C. Environmental policies and practices in cruise ports: waste reception facilities in the Med. *SPOUDAI Journal of Economics and Business.* 2017. Vol. 67, № 1. P. 54–70.

TECHNOLOGICAL APPROACHES TO ENVIRONMENTALLY SAFE FOOD WASTE MANAGEMENT ON CRUISE LINERS

Litvak Olga, Smirnova Lolita

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The theses consider the problem of food waste generation on cruise liners and provide a calculated assessment of its volumes. A technological scheme for environmentally safe food waste treatment is substantiated, including separate collection, removal of foreign impurities, shredding, transportation, dewatering, temporary storage and further delivery to port reception facilities or thermal treatment. This sequence helps reduce the volume of organic waste, sanitary risks and the load on the shipboard waste management system.

Keywords: cruise liner, food waste, environmental safety, separate collection, dewatering, incineration, port reception facilities.

УДК 504.06:629.5.081

ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ЯК СКЛАДОВА СТРАТЕГІЇ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ СУДНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

Літвак О.А.,

кандидат економічних наук, доцент

доцент кафедри екології та природоохоронних технологій

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

olya.litvak@gmail.com

Анотація. Розглянуто процес декарбонізації як складову стратегії екологічно безпечного відновлення суднобудівних підприємств України. Визначено основні джерела енергоспоживання, викидів парникових газів та екологічних і техногенних ризиків суднобудівного виробництва. Обґрунтовано пріоритетні напрями низьковуглецевої модернізації, що сприятимуть зменшенню вуглецевого сліду та підвищенню екологічної і техногенної безпеки.

Ключові слова: декарбонізація, суднобудівні підприємства, вуглецевий слід виробництва, енергоефективність, ресурсозбереження.

Вступ. Суднобудівна галузь України тривалий час перебуває у складному стані, що зумовлено скороченням виробництва, технологічним старінням основних фондів, втратою частини виробничих зв'язків і наслідками повномасштабної війни. Тому майбутнє відновлення підприємств має передбачати не відтворення попередньої енерго- та ресурсоємної моделі, а технологічну модернізацію відповідно до принципів низьковуглецевого розвитку, екологічної та техногенної безпеки. Такий підхід узгоджується з потребами післявоєнної відбудови та положеннями Національного плану з енергетики та клімату до 2030 року [1].

Метою дослідження є обґрунтування основних напрямів декарбонізації суднобудівних підприємств у процесі їх відновлення та визначення взаємозв'язку низьковуглецевої модернізації зі зниженням екологічних і техногенних ризиків.

Основна частина. Декарбонізацію суднобудівного виробництва доцільно розглядати як комплекс заходів зі скорочення прямих і непрямих викидів парникових газів, зниження енерго- та матеріаломісткості, мінімізації відходів і запобігання аварійним ситуаціям. Вуглецевий слід підприємства формується внаслідок спалювання палива, споживання закупленої електричної і теплової енергії, а також виробництва та транспортування металів, комплектуючих і технологічних матеріалів [2]. Отже, низьковуглецева модернізація повинна поєднувати енергетичну й ресурсну ефективність.

Значення енергетичного чинника підтверджується структурою кінцевого енергоспоживання промисловості Європейського Союзу. У 2023 р. найбільші частки припадали на електроенергію – 32,6 % та природний газ – 31,3 %, тоді як частка нафтопродуктів становила 11,4 %, а відновлюваних джерел енергії та біопалива – 11,2 % (рис. 1) [3]. Наведені дані характеризують промисловість Європейського Союзу загалом і водночас вони демонструють значну залежність промислового виробництва від електроенергії та природного газу, що є актуальним і для суднобудування.

Енергоємні процеси одночасно формують екологічні та техногенні ризики. Різання, шліфування і зварювання супроводжуються утворенням пилу, газів та аерозолів; абразивне очищення – відпрацьованого абразиву й частинок покриттів; фарбування – викидами летких органічних сполук і небезпечними відходами. Виконання вогневих робіт, використання стиснених газів, розчинників, палива та мастил підвищує ризики пожеж, вибухів і витоків, особливо за недостатньої вентиляції або неналежного зберігання матеріалів [4]. Тому заходи декарбонізації мають оцінюватися також за їх впливом на безпеку виробництва.

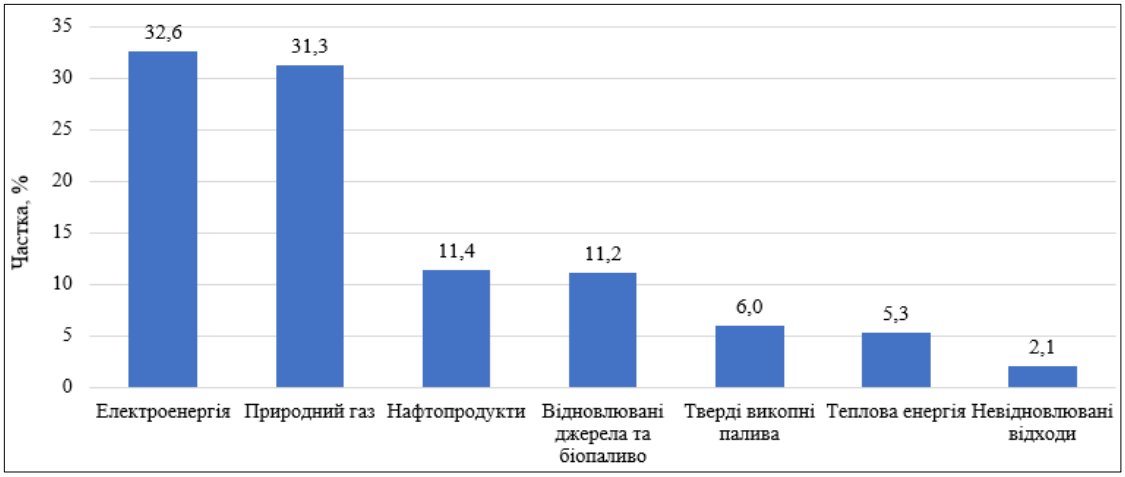


Рисунок 1– Структура кінцевого енергоспоживання промисловості ЄС за видами енергопродуктів у 2023 р.

Основні напрями декарбонізації у стратегії екологічно безпечного відновлення суднобудівних підприємств узагальнено на рис. 2.

Першим етапом відновлення має бути комплексне обстеження територій, будівель, обладнання та інженерних мереж із визначенням технічного стану об'єктів, джерел енергоспоживання, викидів і відходів, а також можливого забруднення ґрунтів і підземних вод. За його результатами формуються пріоритети модернізації [5]. До них належать заміна застарілого обладнання, частотне регулювання електроприводів, усунення витоків стисненого повітря, рекуперація тепла та використання відновлюваних джерел енергії. Водночас нове енергетичне обладнання повинно впроваджуватися з урахуванням електричних, пожежних і хімічних ризиків.

Ресурсозбереження передбачає цифрове проєктування і оптимізацію розкрою металу, зниження браку, повторне використання придатних залишків та перероблення металевих відходів. Модернізація вентиляції й аспірації має поєднувати локальне видалення забруднень, автоматичне регулювання

повітрообміну та очищення повітря [6]. Екологізація фарбувальних процесів потребує застосування матеріалів зі зниженим вмістом летких органічних сполук, герметизації камер, уловлювання аерозолів і безпечного зберігання розчинників. Ці рішення одночасно скорочують вуглецевий слід, обсяги відходів та ризики пожеж і вибухів.

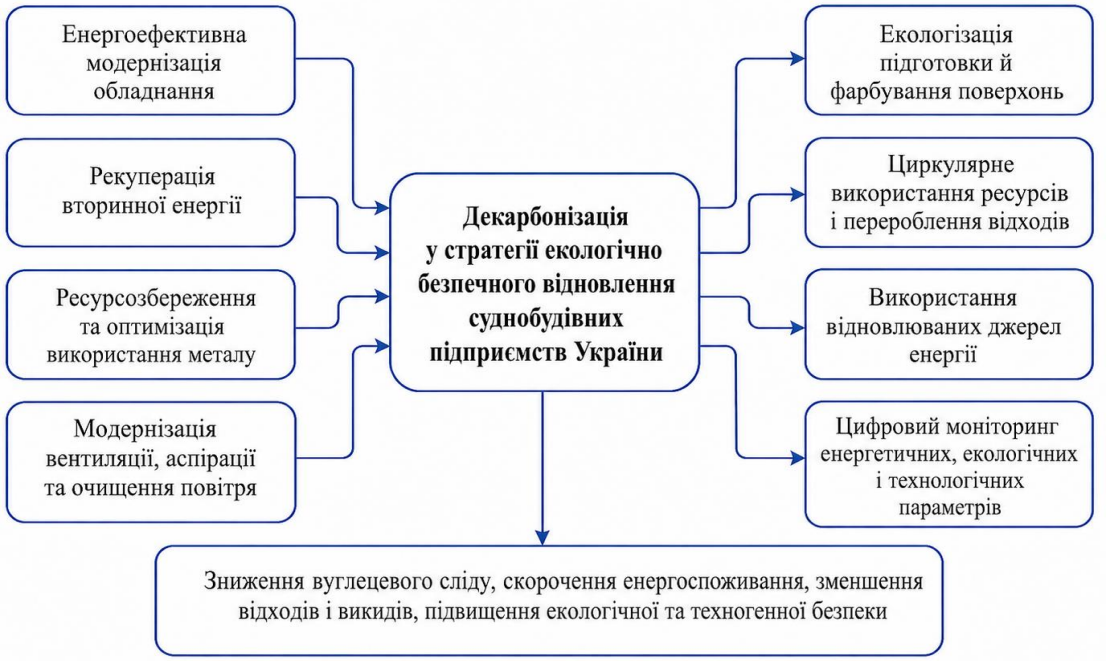


Рисунок 2 – Основні напрями декарбонізації у стратегії екологічно безпечного відновлення суднобудівних підприємств України

Цифровий моніторинг повинен об’єднувати облік енергії, води й матеріалів із контролем викидів, температури, тиску, стану вентиляції та обладнання. Результативність декарбонізації доцільно оцінювати за питомим енергоспоживанням і викидами парникових газів, коефіцієнтом використання металу, часткою вторинної сировини та перероблених відходів, а також кількістю витоків, загорянь і аварійних відмов. Такий підхід дає змогу уникнути перенесення ризиків між окремими стадіями виробництва та забезпечити комплексний екологічний і безпековий ефект.

Висновки. Декарбонізація має стати складовою стратегії відновлення суднобудівних підприємств України. Її реалізація повинна поєднувати енергоефективну модернізацію, ресурсозбереження, циркулярне використання матеріалів, екологізацію технологічних процесів, відновлювану енергетику та цифровий контроль. Це дозволить зменшити вуглецевий слід майбутнього виробництва, запобігти відтворенню застарілих технологій і підвищити рівень екологічної та техногенної безпеки.

Література

[1] Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 червня 2024 р. № 587-р.

[2] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development. *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Revised edition. Washington, DC: WRI; Geneva: WBCSD, 2004. 116 p.

[3] Eurostat. Final energy consumption in industry – detailed statistics. Statistics Explained. 2025. URL: https://surl.li/mkmfev.

[4] International Labour Office. *Safety and Health in Shipbuilding and Ship Repair*. Revised edition. Geneva: ILO, 2019. 267 p.

[5] European Commission. Best Available Techniques Reference Document for Surface Treatment Using Organic Solvents Including Preservation of Wood and Wood Products with Chemicals. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 1056 p.

[6] Hechelmann R.-H., Paris A., Buchenau N., Ebersold F. Decarbonisation strategies for manufacturing: A technical and economic comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023. Vol. 188. Article 113797.

DECARBONISATION AS A COMPONENT OF THE STRATEGY FOR THE ENVIRONMENTALLY SAFE RECOVERY OF UKRAINE'S SHIPBUILDING ENTERPRISES

Litvak Olga
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Decarbonisation is considered as a component of the strategy for the environmentally safe recovery of Ukraine's shipbuilding enterprises. The main sources of energy consumption, greenhouse gas emissions, and environmental and technological risks associated with shipbuilding production are identified. Priority areas of low-carbon modernisation are substantiated, which will contribute to reducing the carbon footprint and improving environmental and technological safety.

Keywords: decarbonisation, shipbuilding enterprises, production carbon footprint, environmentally safe recovery, energy efficiency, resource conservation.

УДК 504.4:528.8

ТИПИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОЇ РЕАКЦІЇ ЛИМАННИХ ВОДОЙМ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЯК ОСНОВА ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО МОНІТОРИНГУ

Магась Н.І.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
natalya.magas@nuos.edu.ua

Анотація. Для екологічної оцінки впливу посухи важливо розрізняти фактичне скорочення зволоженої поверхні та перехід відкритої води до мілководного чи вологого стану, оскільки ці зміни мають різний екологічний зміст і потребують різних підходів до моніторингу. На матеріалі 23 просторово неперекривних лиманних водойм північно-західного Причорномор'я за даними Sentinel-2, Landsat 8/9 та ERA5-Land проаналізовано сталість водного покриву, літнє теплове навантаження, 217 посушливих подій, резистентність і післяподієве відновлення. Парне зіставлення відкритої води та ширшого водно-вологого покриву дало змогу виділити чотири категорії реакції: резистентну реакцію; спільне скорочення обох форм покриву; трансформацію відкритої води за збереження ширшої зволоженої поверхні; рідкісну асиметричну реакцію. Більша частка стабільного водного покриву була пов'язана з нижчим літнім тепловим навантаженням і вищою резистентністю. Показники відновлення після порушення не повторювали закономірностей, виявлених для чутливості та схильності до порушень. Наукова новизна полягає у роздільній оцінці форми порушення, резистентності та відновлення, що дає підстави для диференційованого екологічного моніторингу лиманних систем.

Ключові слова: лиманні водойми, посушливі події, водний покрив, типи гідроекологічної реакції, резистентність, відновлення, Sentinel-2, екологічний моніторинг.

Вступ. Для прибережних лиманних водойм посуха проявляється не лише зменшенням площі водного дзеркала. Однакове за величиною скорочення відкритої води може відображати різні екологічні процеси: реальну втрату ширшої зволоженої поверхні або перехід частини акваторії до мілководного чи вологого стану. Ці траєкторії по-різному впливають на стан водних і прибережно-водних оселищ та потребують різного польового контролю. Не менш важливо розрізняти здатність водойми зберігати водний покрив під час посухи і її здатність відновлюватися після порушення. Регіональні дослідження свідчать про високу чутливість квазізамкнених лиманів до співвідношення опадів, стоку й випаровування [1]. Для порівняння обрано 23 просторово неперекривні водойми, що охоплюють великі естуарні, видовжені лиманні, мілководні лагунні та гіпергалінні системи. Вони перебувають у близьких регіональних кліматичних умовах, проте відрізняються розмірами, морфометрією, водообміном і прісноводним живленням. Така вибірка дає змогу виявити як спільні закономірності посушливого впливу, так і різні типи гідроекологічної реакції.

Мета роботи – виділити основні типи гідроекологічної реакції лиманних водойм на посушливі події, оцінити зв'язок просторово-часової сталості водного покриву з літнім тепловим навантаженням і резистентністю, з'ясувати співвідношення між резистентністю та післяподієвим відновленням і визначити значення цих відмінностей для екологічного моніторингу.

Основна частина. За даними Sentinel-2 (2018–2025) для 23 водойм визначали відкриту воду та ширший водно-вологий покрив; Landsat 8/9 використовували для оцінювання літньої температури поверхні. Посушливі події виділяли за тримісячним стандартизованим індексом опадів–евапотранспірації

(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI-3), розрахованим за ERA5-Land [2, 3]. Посушливою вважали подію тривалістю щонайменше два місяці за SPEI-3 ≤ −1,0. Суттєвим порушенням вважали зниження покриву нижче 90 % доподієвого рівня; окремо оцінювали резистентність і відновлення щонайменше до 90 %. Зв'язки оцінювали за Спірменом із контролем частки хибних відкриттів (false discovery rate, FDR).

На регіональному рівні водойми різко відрізнялися за сталістю водного покриву. Частка стабільної води перевищувала 98 % у Сасику, Дніпровському лимані, Шаганах, Алібеї та Бузькому лимані. У Карабуші стабільної води не виявлено; у Дофінівському лимані її частка становила лише 6,7 %. У вибірці з 23 водойм більша частка стабільного покриву була тісно пов'язана з нижчою середньою літньою температурою поверхні ($\rho = -0{,}849$; $q < 0{,}001$) і меншою часткою водної поверхні з температурою ≥30 °C ($\rho = -0{,}905$; $q < 0{,}001$). Отже, стійкіший водний покрив у регіональній вибірці загалом поєднувався з меншим літнім тепловим навантаженням, хоча окремі водойми відхилялися від цієї закономірності.

Парне зіставлення двох форм покриву для 216 посушливих подій дало змогу виділити чотири екологічно відмінні категорії реакції. Резистентна реакція була найпоширенішою: у 143 випадках (66,2 %) обидві форми покриву залишалися вище порогового рівня. Спільне суттєве скорочення обох форм покриву зафіксовано у 55 випадках (25,5 %); саме ця категорія найбільшою мірою відповідала втраті ширшої зволоженої поверхні. Трансформаційна реакція спостерігалася у 14 випадках (6,5 %): відкрита вода скорочувалася, але ширший водно-вологий покрив зберігався. Такі випадки становили 20,3 % усіх порушень відкритої води і вказували на перехід до мілководного або вологого стану без еквівалентного висихання. Рідкісна асиметрична реакція охопила лише 4 випадки (1,9 %), коли скорочувався водно-вологий покрив без відповідного порогового зменшення відкритої води; через малу частоту вона не формувала окремої регіональної закономірності. Контраст між категоріями особливо виразний у Карабуші, де відкрита вода скорочувалася значно сильніше за ширший водно-вологий покрив, і в Хаджидері, де обидві форми покриву зменшувалися до подібно низьких рівнів. Розмежування спільного скорочення і трансформаційної реакції має принципове екологічне значення: однакова втрата відкритої води не завжди означає однакову втрату зволожених оселищ.

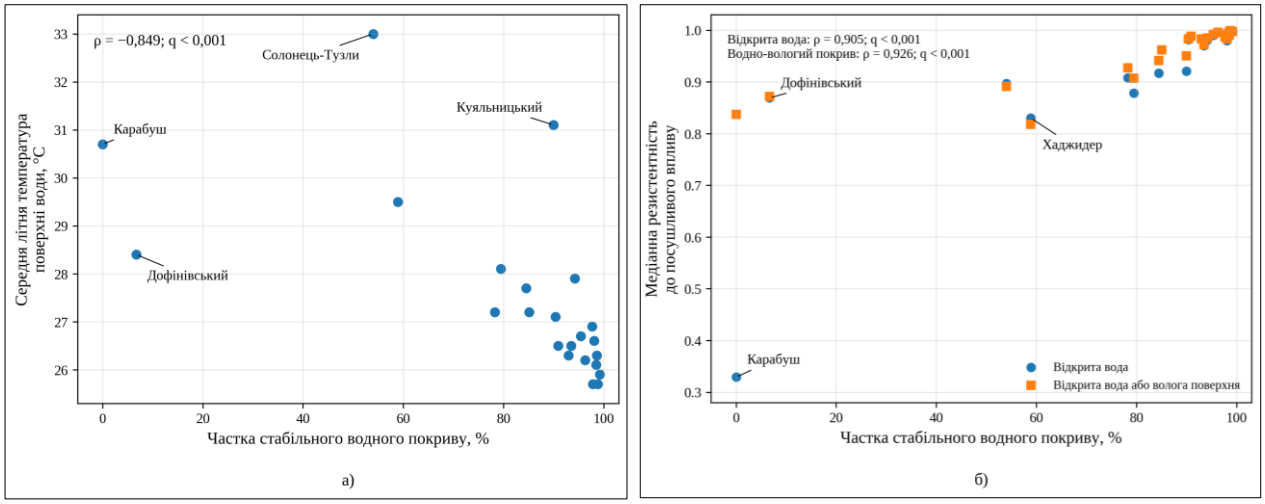


Рисунок 1 – Зв'язок частки стабільного водного покриву з (а) середньою літньою температурою поверхні води та (б) медіанною резистентністю відкритої води й водно-вологого покриву у 23 лиманних водоймах у 2018–2025 рр. Значення ρ наведено за неокругленими даними; q – значення, скориговані за FDR у межах відповідних аналітичних блоків.

Резистентність до порушення і подальше відновлення виявилися різними складовими реакції. Із 128 реакцій із суттєвим скороченням 107 досягли підтвердженого стійкого відновлення, 15 були правоцензурованими через неповне 12-місячне спостереження, шість не відновилися протягом повного 12-місячного вікна. За методом Каплана–Майєра ймовірність відновлення протягом 1 місяців становила 94,4 % для відкритої води і 93,3 % для водно-вологого покриву. Жоден із восьми перевірених зв'язків між чутливістю або схильністю до порушень і показниками відновлення не залишився значущим після FDR-корекції. Отже, ступінь чутливості до посушливого впливу не давав підстав однозначно прогнозувати подальше відновлення.

Наукова новизна і практичне значення. Наукова новизна полягає у подієвому паралельному аналізі відкритої води та ширшого водно-вологого покриву. Такий підхід дав змогу розрізнити два принципово різні за екологічним змістом наслідки скорочення водного дзеркала: фактичне зменшення ширшої

зволоженої поверхні та перехід відкритої води до мілководних або вологих станів за збереження водно-вологого покриву. Резистентність і післяподієве відновлення також розглянуто як окремі властивості системи. Для екологічного моніторингу це означає різні пріоритети польового контролю. За спільного скорочення обох форм покриву першочергової перевірки потребують втрата зволожених оселищ, рівень води та солоність. За трансформаційної реакції основну увагу слід приділяти стану мілководних і вологих зон, тривалості оголення та тепловому навантаженню. Повернення площі води після порушення не можна автоматично прирівнювати до відновлення гідрохімічного чи біологічного стану; тому супутникові оцінки мають доповнюватися польовою верифікацією [4].

Висновки. Реакція лиманних водойм північно-західного Причорномор'я на посушливі події не описується єдиною шкалою «стійкий–вразливий». Виділені чотири категорії засвідчують, що скорочення відкритої води може відображати як реальне зменшення ширшого зволоженого покриву, так і зміну поверхневого стану без еквівалентного висихання. Частка стабільної води виявилася інформативним регіональним індикатором нижчого теплового навантаження та більшої резистентності, однак вона не характеризує однозначно тип порушення чи подальше відновлення. Тому екологічний моніторинг доцільно будувати не лише на оцінюванні площі водного дзеркала, а й на роздільному врахуванні типу подієвої реакції, резистентності та післяподієвого відновлення.

Література

[1] Tuchkovenko Y., Khokhlov V., Loboda N. Climate change impact on water balance of quasi-closed lagoons in the North-Western Black Sea coast. Ukrainian Hydrometeorological Journal. 2022. Vol. 29. P. 32–47. https://doi.org/10.31481/uhmj.29.2022.03.

[2] Muñoz-Sabater J., Dutra E., Agustí-Panareda A. et al. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth System Science Data. 2021. Vol. 13. P. 4349–4383. https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021.

[3] Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate. 2010. Vol. 23. P. 1696–1718. https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1.

[4] Tyler A. N., Hunter P. D., Spyrakos E. et al. Developments in Earth observation for the assessment and monitoring of inland, transitional, coastal and shelf-sea waters. Science of the Total Environment. 2016. Vol. 572. P. 1307–1321. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.020.

HYDROECOLOGICAL RESPONSE TYPES OF NORTHWESTERN BLACK SEA LIMAN WATER BODIES AS A BASIS FOR DIFFERENTIATED MONITORING

Nataliia I. Magas

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Ecological assessment of drought impacts requires distinguishing actual loss of wetted surface from transitions of open water to shallow-water or wet-surface states, because these changes have different ecological implications. We analysed 23 spatially non-overlapping Northwestern Black Sea liman water bodies using Sentinel-2, Landsat 8/9 and ERA5-Land data, including 217 liman-specific drought events. Paired comparison of open water and broader water-or-wet cover identified four response categories: resistant response; simultaneous decline of both cover types; open-water transformation with persistence of broader wetted cover; and a rare asymmetric response. Among 216 comparable events, 66.2 % were resistant, 25.5 % showed substantial decline of both cover types, 6.5 % showed open-water-only decline, and 1.9 % showed the reverse pattern. Greater stable-water share was associated with lower summer thermal load and higher drought resistance. Post-event recovery followed a partly independent pattern. The novelty of the approach lies in separating disturbance form, resistance and recovery, thereby providing a basis for differentiated ecological monitoring of liman systems.

Keywords: liman water bodies, drought events, water cover, hydroecological response types, resistance, recovery, Sentinel-2, ecological monitoring.

УДК 504.4:528.8

СЕЗОННІ ТА МІЖРІЧНІ ПРОЯВИ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТИЛІГУЛЬСЬКОМУ ТА БЕРЕЗАНСЬКОМУ ЛИМАНАХ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ

Магась Н.І.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. За супутниковими даними простежено сезонні та міжрічні зміни оптичного стану Тилігульського та Березанського лиманів у 2018–2025 рр. У Березанському лимані оптичні прояви біопродукційних змін з'являлися раніше, тривали довше й супроводжувалися змінами показників каламутності, завислих речовин і забарвленої розчиненої органічної речовини (CDOM). У всі вісім років літній нормалізований різницевий хлорофільний індекс (NDCI) був вищим у Березанському лимані (медіана парної різниці 0,0610; p = 0,0078; q = 0,0104). У Тилігульському лимані сигнал червоного краю спектра був слабшим і переважно літнім. Виявлені відмінності не супроводжувалися відповідними змінами температури водної поверхні та гідрокліматичних показників. Супутникові індекси використано як індикатори змін, а не як прямі оцінки концентрацій.

Ключові слова: Тилігульський лиман, Березанський лиман, екологічні процеси, біопродукційні процеси, нормалізований різницевий хлорофільний індекс (NDCI), каламутність, завислі речовини, забарвлена розчинена органічна речовина, супутниковий моніторинг.

Вступ. Тилігульський і Березанський лимани – сусідні прибережні водойми північно-західного Причорномор'я, уразливі до скорочення прісноводного надходження, обміління та засолення в умовах кліматичних змін [1]. Їхній стан формується морським водообміном, прісноводним живленням, перемішуванням, ресуспензією та біопродукційними процесами. Для порівняння обрано саме ці лимани, оскільки вони розташовані в одному регіоні й зазнають близького кліматичного впливу, але відрізняються локальними гідрологічними умовами; Тилігульський, зокрема, має регульований канал зв'язку з морем [2]. Таке поєднання спільного зовнішнього фону й різних умов водообміну дає змогу оцінити, чи мають сезонні та міжрічні зміни спільний характер, чи їхня вираженість визначається особливостями функціонування кожної водойми. Супутниковий моніторинг дає змогу простежити ці відмінності за просторово-часовою мінливістю оптичного стану води.

Мета роботи. Встановити сезонні та міжрічні особливості змін, пов'язаних із біопродукційними процесами та оптично активними компонентами води в Тилігульському і Березанському лиманах, та оцінити їхні прояви за даними супутникового моніторингу.

Основна частина. Для аналізу використано дані Sentinel-2 Level-2A за травень–жовтень 2018–2025 рр. Біопродукційні прояви характеризували за індексами червоного краю спектра: нормалізованим різницевим хлорофільним індексом (NDCI) [3], максимальним хлорофільним індексом (MCI) [4] і максимальною висотою піку (MPH) [5]. Показники каламутності, завислих речовин і забарвленої розчиненої органічної речовини (CDOM) [6, 7] застосовували лише для порівняння відносних змін. Температуру поверхні води визначали за Landsat 8/9, гідрокліматичний фон – за даними реаналізу ERA5-Land. Літня вибірка становила 60–135 придатних сцен Sentinel-2 на рік. Статистичну значущість оцінювали непараметричними методами; множинні порівняння коригували методом Бенджаміні–Хохберга з контролем частки хибних відкриттів (FDR).

Найвиразніше відмінності між лиманами проявилися в сезонній динаміці оптичних ознак біопродукційних процесів. У Березанському лимані підвищені значення індексів червоного краю спектра з'являлися вже на початку літа й зберігалися до осені, тоді як у Тилігульському лимані цей період був коротшим і переважно літнім. У всі вісім років NDCI був вищим у Березанському лимані (медіана парної різниці 0,0610; p = 0,0078; q = 0,0104), а підвищені значення охоплювали більшу й більш зв'язну частину акваторії (рис. 1).

У Березанському лимані NDCI змінювався узгоджено з показниками завислих речовин, каламутності та CDOM. Найтісніший зв'язок встановлено з показником завислих речовин (ρ = 0,881; q = 0,0290); у Тилігульському лимані після FDR-корекції значущим залишився лише цей зв'язок (ρ = 0,929; q = 0,0089). У Березанському максимуми цих показників переважно припадали на початок літа, тоді як NDCI залишався підвищеним у липні–вересні. Така послідовність сумісна з випередженням змін оптично активного матеріалу, але не доводить причинного механізму. Через спільні спектральні канали ці зв'язки трактували лише як статистичну узгодженість.

Міжрічні зміни оптичного стану були виразнішими в Березанському лимані. У 2023–2025 рр. середній NDCI був на 0,0519 вищим, ніж у 2018–2020 рр., але монотонного тренду за всім рядом не встановлено. Натомість MCI, MPH та показники каламутності й CDOM мали значущі додатні тенденції ($q \le 0{,}0389$). У Тилігульському лимані відповідних тенденцій не виявлено. Отже, йдеться не про рівномірне зростання одного індексу, а про узгоджені зміни кількох характеристик води.

Водночас цей контраст проявлявся не в усіх спектральних показниках: нормалізований різницевий індекс каламутності (NDTI), розрахований за червоним і зеленим каналами, не показував стійкої різниці між лиманами, тоді як три показники, нормовані на синій канал B2 Sentinel-2, були вищими в Березанському лимані в усі вісім років. Отже, виявлені спектральні зміни не можна звести лише до підвищення каламутності або загальної яскравості води.

Температурні та гідрокліматичні зміни не повторювали оптичної динаміки. Середня літня температура поверхні становила 26,9 °C у Березанському лимані і 26,5 °C у Тилігульському лимані ($p = 0{,}3125$). У Березанському в 2023–2025 рр. вона була приблизно на 0,4 °C нижчою, ніж у 2018–2020 рр., попри вищі показники червоного краю спектра. Серед 13 показників реаналізу ERA5-Land значущих міжлиманних відмінностей після FDR-корекції не встановлено. Отже, контраст не можна пояснити лише прогріванням або спільним кліматичним фоном.

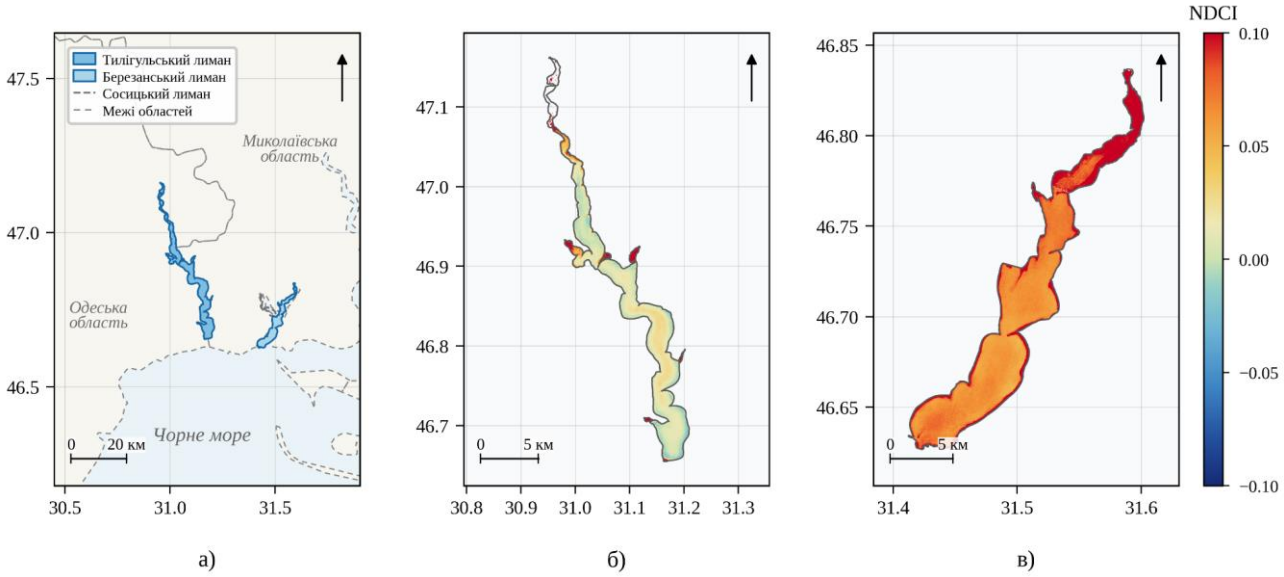


Рисунок 1 – Просторовий розподіл медіанного NDCI, червень–серпень 2018–2025 рр.: а) район дослідження; б) Тилігульський лиман; в) Березанський лиман

Серед можливих чинників відмінностей між лиманами слід розглядати морський водообмін, час утримання води, надходження й ресуспензію завислого матеріалу, зміни солоності та прісноводного живлення. Для Тилігульського лиману важливим може бути режим каналу лиман–море, фактична пропускна здатність якого нижча за проєктну [2]. Ці пояснення залишаються робочими гіпотезами, оскільки супутникові дані безпосередньо не характеризують водообмін, солоність або біомасу фітопланктону.

Висновки. Супутниковий моніторинг виявив виразні відмінності в сезонних і міжрічних проявах екологічних процесів у двох лиманах. У Березанському лимані оптичні прояви біопродукційних змін були тривалішими й просторово поширенішими та супроводжувалися узгодженими змінами показників завислих речовин, каламутності й забарвленої розчиненої органічної речовини. У Тилігульському лимані переважали коротші літні епізоди підвищеного сигналу червоного краю спектра без аналогічної міжрічної динаміки. Відсутність відповідного температурного й гідрокліматичного контрасту не підтримує простого кліматичного пояснення. Біогеохімічна інтерпретація виявлених відмінностей потребує синхронних польових вимірювань.

Література

1. Tuchkovenko Y. S., Khokhlov V. M., Loboda N. S. Climate change impact on water balance of quasi-closed lagoons in the North-Western Black Sea coast. *Ukrainian Hydrometeorological Journal.* 2022. Vol. 29. P. 32–47. doi: 10.31481/uhmj.29.2022.03.

2. Tuchkovenko Y. S., Martyniuk M. O., Bogatova Y. I. et al. Changes in the hydroecological status indicators of the Tylihul Estuary after the reconstruction of the sea-connecting channel. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 2026. Vol. 36. P. 89–108. doi: 10.32782/uhj.36.2026.07.

3. Mishra S., Mishra D. R. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment.* 2012. Vol. 117. P. 394–406. doi: 10.1016/j.rse.2011.10.016.

4. Gower J., King S., Borstad G., Brown L. Detection of intense plankton blooms using the 709 nm band of the MERIS imaging spectrometer. *International Journal of Remote Sensing.* 2005. Vol. 26 (9). P. 2005–2012. doi: 10.1080/01431160500075857.

5. Matthews M. W., Bernard S., Robertson L. An algorithm for detecting trophic status (chlorophyll-a), cyanobacterial-dominance, surface scums and floating vegetation in inland and coastal waters. *Remote Sensing of Environment.* 2012. Vol. 124. P. 637–652. doi: 10.1016/j.rse.2012.05.032.

6. Zhan Y., Delegido J., Erena M. et al. Mar Menor lagoon (SE Spain) chlorophyll-a and turbidity estimation with Sentinel-2. *Limnetica*. 2022. Vol. 41 (2). P. 305–323. doi: 10.23818/limn.41.18.

7. Sòria-Perpinyà X., Vicente E., Urrego P. et al. Validation of water quality monitoring algorithms for Sentinel-2 and Sentinel-3 in Mediterranean inland waters with in situ reflectance data. *Water*. 2021. Vol. 13 (5). Art. 686. doi: 10.3390/w13050686.

SATELLITE-OBSERVED ECOLOGICAL DYNAMICS OF THE TYLIGUL AND BEREZAN LIMANS, 2018–2025

Nataliia I. Magas

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Satellite monitoring revealed contrasting seasonal and interannual ecological dynamics in the Tyligul and Berezan limans during 2018–2025. The Berezan Liman showed a longer red-edge response and a higher summer Normalized Difference Chlorophyll Index (NDCI) in all eight paired years (median difference 0.0610; p = 0.0078; q = 0.0104), together with changes in indicators related to turbidity, suspended matter and coloured dissolved organic matter (CDOM). The optical contrast was not accompanied by corresponding differences in water-surface temperature or hydroclimatic variables. Satellite indices were interpreted as indicators of change; field validation remains necessary.

Keywords: Tyligul Liman, Berezan Liman, ecological processes, NDCI, suspended matter, CDOM, satellite monitoring.

UDC 502/504:349.6

ENVIRONMENTAL COMPLIANCE AUDITING UNDER ESRS IN NON-STATIONARY ECOSYSTEMS

Nedoroda V.M.,
PhD, lecturer in the department of ecology and environmental protection technologies,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
vladyslav.nedoroda@nuos.edu.ua
Hostieva D.V.,
PhD student in the department of ecology and environmental protection technologies, Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
dinagosteva3@gmail.com

Abstract. European reporting standards (ESRS) assume stable natural conditions. During severe external disruptions, this assumption fails and audit scores might lose their meaning. This study outlines methods to adjust baseline data, ensuring environmental reports stay accurate and realistic.

Keywords: CSRD compliance, European sustainability reporting standards (ESRS), source attribution, non-stationary ecosystems, exogenous disruptions, ESG auditing.

Introduction. Of the five technical environmental modules of the European Sustainability Reporting Standards (ESRS) three specifically govern localized biophysical protection – E2 (Pollution), E3 (Water and Marine Resources) and E4 (Biodiversity and Ecosystems) [1]. All three standards based on one shared assumption – that numbers only mean something if the baseline stays put, such as operational discharge ceilings, emission factor limits, or an intake water quality free of external contamination. Current frameworks simply take this baseline stability for granted. This static baseline is one of the foundational technical assumptions, the unstated bridge

between the audited metrics and operational realities of industrial facilities. But an active armed conflict, which is distinct from ordinary industrial operating conditions, greatly complicates the regulation of biophysical performance indicators and the adequate compliance audit. Even if a single operational cycle of the stable reference (state from the reporting matrix which governs corporate disclosure) will be removed, this will severely reduce accuracy of every compliance score capable of being evaluated by standard protocols. To date, not enough technical attention has been paid to the separation of conflict-driven environmental baseline corruption from operator non-compliance. Therefore, given the above, **this work aims to** formulate a conflict-adjusted baseline protocol for technical reporting standards, which are broken by active-warzone ecosystems.

Main part. ESRS E2 pollution standard is designed to assess the chemical substance discharges of monitored manufacturing facilities using verified process inventories. A large number of components of munitions residue in each affected parcel and their spatial variability in contrast to most ordinary industrial discharges are distinct features of warzone soil contamination [2].

Operators are considered non-compliant when the concentration of toxic heavy metals in downgradient soil reaches a value at which formal regulatory penalties begin. No source-attribution tests of this kind were integrated into standard compliance audits. For this there are some investigative techniques are available in environmental forensics, like depth and spatial dispersion profiling, isotopic fingerprinting, field alloy screening (pXRF), energetic residue detection (ATR-FTIR and GC-MS). These analytical signatures are such as to satisfy auditors, after systematically conducted field sampling, that observed contaminants neither arose from unpermitted facility outfalls, nor from its ongoing process losses, but belonged to ordnance detonation itself. Thus, the implementation of a baseline-attribution coefficient based on forensic partitioning of measured loads is an indispensable mechanism in conflict-zone compliance.

The elevation of priority pollutants in audited industrial effluents according to ESRS E3 (Water) occurs in two ways: directly through the discharge of unmanaged industrial wastes by facility operations, and indirectly due to upstream sewage collapse and compromised regional intake waters [3]. If intake water quality is not significantly different from pristine regional conditions, gross-discharge accounting simply reduces to standard E3 reporting, if intake water contamination is significantly different from regulatory reference baselines, then the net-added-contaminant formula is the correct approach. Documented intake sampling then allows environmental verifiers to subtract upstream background loading and penalize genuine facility additions.

Figure 1 summarizes this structure – three physical disruption pathways converge on a single failure mode, which then resurfaces separately in each module reporting metric.

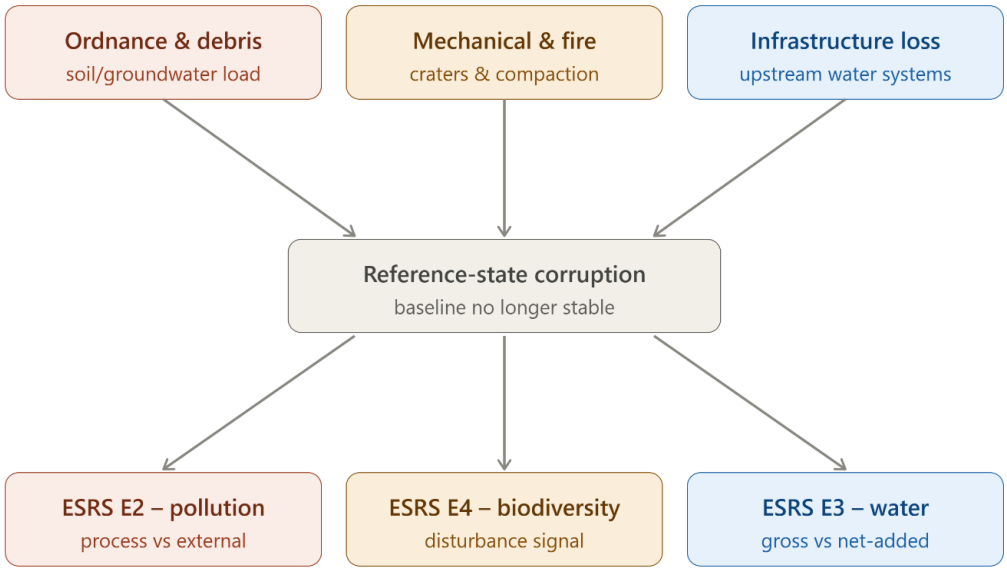


Figure 1 – Three conflict-driven disruption pathways converge on a shared reference-state failure, which propagates into ESRS E2, E4, and E3 respectively.

As illustrated in the pathway of Figure 1, the essence of the ESRS E4 (Biodiversity) standard is to determine the impact of corporate operations on designated natural habitats under routine land-use scenarios, with registration for vegetative indices and remote-sensing proxies. It is known that artillery bombardments can shatter vegetation cover, which, in turn, leads to sharp declines in multi-year satellite time series, resulting in recorded ecological degradation or, potentially, apparent regulatory infractions. Mechanical cratering or physical soil compaction of audited land parcels, such as occurs in kinetic strike zones, would render naive remote-sensing evaluations very difficult or entirely frustrate them. To untangle

corporate land-use degradation from kinetic warfare, auditors must overlay differenced burn-severity indices and crater-detection masks onto routine remote-sensing time series [4]. A part of the solution will be the introduction of an explicit reconciliation layer in technical forestry and habitat metrics, which would make it easier for companies to calibrate post-strike remediation trajectories than proved to be the case under unadjusted historical baselines.

Conclusions. Standards like ESRS were never formulated with active kinetic conflict environments in mind; they assume peacetime civil governance, operational continuity, and stable regulatory enforcement. The truth is, European sustainability reporting has been already too long made only a work of peacetime operating assumptions and static geographic baselines. Introduction of conflict-adjusted technical annexes and adoption of established protocols relating to chemical forensics, remote-sensing disturbance layers, and net mass-balance formulations are urgent measures to preserve corporate sustainability audit integrity.

References

[1]. European Commission. Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2772 supplementing Directive 2013/34/EU as regards sustainability reporting standards (ESRS). *Official Journal of the European Union*. 2023. 284 p.

[2]. Certini, G., Scalenghe, R., Woods, W.I. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*. Vol. 127. 2014. p. 1–15.

[3]. United Nations Environment Programme (UNEP). Integrated Strategic Environmental Assessments in Post-Crisis Countries. UNEP, 2018.

[4]. Key, C.H., Benson, N.C. Landscape Assessment (LA): Sampling and analysis methods for differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) (RMRS-GTR-164). *USDA Forest Service*. 2006. 55 p.

УДК 547:54.057:544.35:54-145:502.174

ПОЛІМЕРНІ ІОННІ РІДИНИ ІОНЕНОВОГО ТИПУ ЯК ПЕРСПЕКТИВНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ СУДНОВИХ ТА ОКЕАНОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Свердліковська О.С.,
доктор хімічних наук, професор
Потапчук М.О.,
аспірант
Навчально-науковий інститут «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро, Україна
o.sverdlikovska@gmail.com

Анотація. Розглянуто полімерні іонні рідини іоненового типу на основі похідних тетрагідро-1,4-оксазину як перспективні функціональні матеріали для суднових та океанотехнічних систем. Встановлено можливість регулювання їх іонної провідності, температури склування та термічних характеристик шляхом варіювання молекулярної будови і параметрів синтезу. Показано перспективність використання водно-спиртових середовищ та безрозчинникового одержання окремих іонних сполук як складових екологізації технології. Обґрунтовано доцільність подальших досліджень таких матеріалів для електрохімічних, мембранних і сенсорних систем морської техніки.

Ключові слова: полімерні іонні рідини, іонени, суднобудування, океанотехніка, функціональні матеріали, іонна провідність, екологічна безпека, зелена хімія.

Сучасний розвиток суднобудування та океанотехніки пов’язаний із необхідністю створення функціональних матеріалів, здатних забезпечувати надійну роботу технічних систем у широкому температурному діапазоні та складних умовах експлуатації. Особливого значення набувають матеріали для електрохімічних джерел і накопичувачів енергії, мембранних і сенсорних систем. Одночасно посилюються вимоги до екологічної та техногенної безпеки технологій їх одержання і використання.

Перспективним класом таких матеріалів є полімерні іонні рідини (ПІР), що поєднують властивості полімерних систем та іонних середовищ. Для ПІР іоненового типу характерне включення заряджених центрів безпосередньо до основного макромолекулярного ланцюга, що дозволяє регулювати транспортні та температурні характеристики зміною хімічної будови матеріалу [1, с. 4–8].

Метою роботи є встановлення структурно-технологічних закономірностей формування властивостей полімерних іонних рідин іоненового типу на основі похідних тетрагідро-1,4-оксазину та оцінювання перспектив їх застосування як функціональних матеріалів для екологічно безпечних суднових і океанотехнічних систем.

У роботі досліджено моно-, димерні та полімерні іонні сполуки іоненового типу на основі четвертинних морфолінієвих солей. Полімерні іонні рідини одержували взаємодією третинних діамінів на основі тетрагідро-1,4-оксазину з дигалогенопохідними дифункціональних епоксидних сполук за механізмом бімолекулярного нуклеофільного заміщення [2, с. 101–105].

Встановлено, що визначальний вплив на формування полімерної структури мають температура, тривалість процесу, концентрація мономерів та природа реакційного середовища. Оптимальні умови синтезу ПІР іоненового типу відповідають температурі близько 50^0С і тривалості реакції 20 год**.** Для систем з аліфатичними фрагментами оптимальна концентрація вихідних мономерів становить близько 0, моль/л, а для алкілароматичних – близько 0, моль/л [2, с. 104–108].

Важливою складовою екологізації технології є використання етанол-водних сумішей змінного складу. Для полімерних іонних рідин з аліфатичними фрагментами доцільним є співвідношення етанол–вода близько 50:50, тоді як для алкілароматичних систем – близько 70:30 [2, с. 106–107]. Для окремих моно- та димерних іонних рідин також встановлено можливість синтезу без додаткового розчинника [2, с. 103–104]. Це створює передумови для зменшення витрат органічних розчинників та кількості допоміжних технологічних операцій.

Функціональний потенціал синтезованих систем підтверджується результатами дослідження їх іонної провідності та температури склування. Для полімерних іонних рідин іоненового типу на основі тетрагідро-1,4-оксазину значення іонної провідності становлять приблизно 10^{-1}–10^{-5} См·см$^{-1}$, а температури склування знаходяться в межах –143…–60 °С [3, с. 47–53].

Встановлено взаємозв’язок між молекулярною будовою, температурою склування, в’язкістю та іонною провідністю. Зі зниженням температури склування і в’язкості полімерної системи її іонна провідність зростає. Визначальними структурними факторами є природа замісників біля четвертинного атома Нітрогену, відстань між іонними центрами та розмір макромолекули. Введення алільних, оксіетиленових та окремих алкілароматичних фрагментів сприяє підвищенню провідності, тоді як збільшення розміру полімерної макромолекули може призводити до її зниження [3, с. 49–53].

Отримані закономірності дозволяють реалізувати підхід «синтез–структура–властивості»**,** тобто перейти від емпіричного добору складу матеріалу до цілеспрямованого молекулярного проєктування його характеристик. Для суднобудування й океанотехніки такий підхід становить інтерес при створенні матеріалів для систем, у яких необхідне поєднання іонного транспорту, температурної стабільності та мінімізації міграції функціональних компонентів.

Дослідження димерних аналогів ПІР показало, що вони є термічно стабільними приблизно до 107–206 °С, а їх температури плавлення знаходяться в діапазоні –123…–25 °С. Для окремих сполук іонна провідність досягає порядку 10^{-1} См·см$^{-1}$ [4, с. 129–132]. Це підтверджує можливість регулювання температурного діапазону працездатності іонних систем шляхом зміни їх молекулярної структури.

Сучасні полімерні іонні рідини досліджуються як компоненти електрохімічних пристроїв, полімерних електролітів, мембранних та сенсорних систем [1, с. 6–10]. У контексті суднобудування та океанотехніки одержані результати створюють передумови для подальшого вивчення синтезованих матеріалів як компонентів накопичувачів енергії, іонопровідних функціональних шарів, мембран та сенсорних елементів автономної морської техніки.

При цьому екологічна безпека іонних матеріалів не може оцінюватися лише за їх низькою леткістю. Для перспективного використання в морському середовищі необхідно враховувати токсичність, довготривалу стабільність, міграцію іонних компонентів, продукти деградації, можливість регенерації та показники повного життєвого циклу матеріалу [1, с. 4–8].

Висновки. Встановлено структурно-технологічні закономірності формування властивостей полімерних іонних рідин іоненового типу на основі тетрагідро-1,4-оксазину. Показано можливість одержання систем з іонною провідністю порядку 10^{-1}–10^{-5} См·см$^{-1}$ і низькими температурами склування шляхом варіювання молекулярної архітектури та параметрів синтезу. Використання водно-спиртових середовищ, проведення процесу за температури близько 50 °С та можливість безрозчинникового одержання окремих іонних сполук створюють передумови для екологізації технології. Отримані результати обґрунтовують доцільність подальших досліджень ПІР іоненового типу як функціональних матеріалів для електрохімічних, мембранних і сенсорних систем суднової та океанотехнічної техніки з обов’язковим урахуванням вимог екологічної і техногенної безпеки.

Література

[1]. Sverdlikovska O. S., Potapchuk M. O. Polymeric ionic liquids as an object of modern chemistry and chemical technology: a mini-review of architecture, structure–property relationships, and application areas. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2026. No. 2. P. 4–14.

[2]. Sverdlikovska O. S., Potapchuk M. O. Synthesis of polymer ionic liquids and ionene-type ionic liquids. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2024. – No. 6. – P. 101–109.

[3]. Sverdlikovska O. S., Potapchuk M. O. Ionic conductivity and glass transition temperature of ionene-type polymeric ionic liquids. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2025. No. 3. P. 43–55.

[4]. Sverdlikovska O. S., Potapchuk M. O. Technological parameters of dimeric ionene-type ionic liquids based on tetrahydro-1,4-oxazine. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2025. No. 5. P. 125–134.

IONENE-TYPE POLYMERIC IONIC LIQUIDS AS PROMISING FUNCTIONAL MATERIALS FOR ENVIRONMENTALLY SAFE SHIPBOARD AND OCEAN-ENGINEERING SYSTEMS

Olha S. Sverdlikovska, Maksym O. Potapchuk

Educational and Scientific Institute “Ukrainian State University of Chemical Technology”, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Abstract. Ionene-type polymeric ionic liquids based on tetrahydro-1,4-oxazine derivatives are considered as promising functional materials for shipboard and ocean-engineering systems. Their ionic conductivity, glass transition temperature and thermal characteristics can be controlled by varying molecular structure and synthesis conditions. Ethanol–water media and solvent-free synthesis of selected ionic compounds provide opportunities for reducing the environmental impact of the technology. The obtained results substantiate further investigation of these materials for electrochemical, membrane and sensing systems in marine engineering.

Keywords: polymeric ionic liquids, ionenes, shipbuilding, ocean engineering, ionic conductivity, environmental safety.

Екологічна та техногенна безпека і цивільний захист

УДК 504.06:656

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ МОРСЬКОГО ТОРГОВЕЛЬНОГО ПОРТУ «ПІВДЕННИЙ» ТА НАПРЯМИ ЇЇ РОЗВИТКУ

Ремешевська І.В.,
канд. техн. наук, доцент
iryna.remeshevska@nuos.edu.ua
Гурець Н.В.,
ст. викладач
natalya.gurets@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проведено оцінювання системи екологічного менеджменту ДП «Морський торговельний порт «Південний» та визначено основні напрями її подальшого розвитку. Обґрунтовано доцільність цифровізації екологічного моніторингу, застосування системи екологічних KPI та прогнозного управління ризиками. Запропоновано інтегровану інформаційно-аналітичну платформу Port EMS Analytics та комплекс заходів, спрямованих на підвищення екологічної результативності підприємства.

Ключові слова: система екологічного менеджменту, морський порт, екологічний моніторинг, екологічні ризики, цифровізація, екологічні KPI.

Діяльність морських портів характеризується різноманітністю екологічних аспектів, що зумовлює необхідність системного управління впливом на навколишнє природне середовище. Сучасні тенденції розвитку екологічного менеджменту портового сектору пов’язані з підвищенням енергоефективності, скороченням викидів та розвитком систем екологічного моніторингу [3, 4]. За таких умов актуальним є подальший розвиток СЕМ на основі автоматизації контролю, цифровізації управлінських процесів та застосування прогнозної екологічної аналітики.

Метою дослідження є оцінювання стану системи екологічного менеджменту ДП «Морський торговельний порт «Південний», визначення проблемних аспектів її функціонування та обґрунтування напрямів подальшого розвитку.

У процесі дослідження проаналізовано основні екологічні аспекти діяльності підприємства та систематизовано показники його екологічної результативності. До пріоритетних напрямів контролю віднесено стан атмосферного повітря і водного середовища, пилове та шумове навантаження, утворення відходів, споживання енергетичних ресурсів, вуглецевий слід і ризики аварійного забруднення [5]. Встановлено, що значний обсяг і різнорідність екологічної інформації зумовлюють необхідність її інтеграції в єдину систему моніторингу.

Оцінювання існуючої СЕМ показало, що вона є складовою загальної системи управління підприємством та функціонує відповідно до положень ISO 14001:2015 [1]. Для комплексного дослідження СЕМ застосовано процесний підхід і Turtle Analysis, що дозволило проаналізувати взаємозв'язок між ідентифікацією екологічних аспектів, оцінюванням ризиків, плануванням і реалізацією природоохоронних заходів, моніторингом, внутрішнім аудитом, аналізом результативності та коригувальними діями. Аналіз основних елементів СЕМ засвідчив високий рівень сформованості екологічної політики, управління екологічними аспектами, внутрішнього аудиту та документації, тоді як для управління ризиками, моніторингу, компетентності й звітності та процесів постійного вдосконалення встановлено достатній рівень із потенціалом подальшого розвитку.

Результати оцінювання засвідчили достатньо високий рівень сформованості СЕМ, водночас виявили необхідність подальшого розвитку автоматизації моніторингу, цифрової екологічної аналітики та управління ризиками. Проведений GAP-аналіз дозволив конкретизувати розриви між поточним і цільовим станом системи. Пріоритетними визначено формування інтегрованої цифрової СЕМ, автоматизацію контролю пилового навантаження та водного середовища, розвиток системного енергетичного менеджменту та подальшу інтеграцію ESG-підходів. Таким чином, результати GAP-аналізу підтвердили, що подальший розвиток СЕМ доцільно спрямувати не на принципову перебудову існуючої системи, а на підвищення її інформаційної та аналітичної спроможності. Основою такого розвитку визначено інтеграцію автоматизованого моніторингу, екологічної аналітики та ризик-орієнтованого управління. Визначені напрями відповідають сучасним тенденціям розвитку екологічного менеджменту портового сектору [3, 4].

На основі отриманих результатів обґрунтовано перехід від переважно контрольної до ризик-орієнтованої та прогнозної моделі екологічного менеджменту. Її ключовим елементом запропоновано інтегровану інформаційно-аналітичну платформу Port EMS Analytics, що передбачає автоматизований збір, накопичення та аналіз екологічної інформації. До структури платформи включено модулі Air Control, Water Control, Waste Control, Energy Control, Noise Control, ESG Dashboard та Risk Analytics, що забезпечують формування єдиного інформаційного середовища для підтримки управлінських рішень. Запропонований підхід передбачає послідовне проходження екологічної інформації від її автоматизованого збору та централізованого зберігання до аналітичного опрацювання й використання результатів у процесі прийняття рішень. Це створює основу для переходу від реагування на вже зафіксовані відхилення до їх своєчасного виявлення та прогнозування екологічних ризиків.

Для кількісного оцінювання результативності СЕМ запропоновано систему екологічних KPI, що охоплює інтенсивність викидів CO_2 та енергоспоживання на одиницю вантажообігу, питоме водоспоживання, частку автоматизованого моніторингу, кількість екологічних інцидентів, інтенсивність утворення відходів і частку їх перероблення. Одночасно сформовано матрицю екологічних ризиків за критеріями ймовірності їх виникнення та тяжкості потенційних наслідків. За результатами експертного оцінювання до високого рівня віднесено ризики пилового навантаження та забруднення акваторії, що дозволило визначити пріоритетність подальших природоохоронних заходів.

Відповідно до встановлених пріоритетів запропоновано модернізацію систем аспірації та пилопригнічення, автоматизацію контролю водного середовища, розвиток енергетичного менеджменту з поетапним упровадженням вимог ISO 50001 [2], застосування ESG-KPI та впровадження Port EMS Analytics. Поєднання зазначених рішень забезпечує взаємозв'язок між результатами екологічного моніторингу, оцінюванням KPI і ризиків та прийняттям управлінських рішень.

Прогнозне експертне оцінювання запропонованих заходів показало можливість підвищення оперативності екологічного моніторингу на 25–35 %, швидкості реагування – на 20–30 %, точності контролю – на 15–20 %, а рівня автоматизації СЕМ – до понад 90 %. Очікуваний комплексний ефект пов'язаний зі зменшенням негативного впливу на довкілля, оптимізацією ресурсоспоживання та підвищенням оперативності управлінських рішень. Наведені кількісні показники мають прогнозний характер.

Таким чином, проведене дослідження дозволило комплексно оцінити стан СЕМ ДП «МТП «Південний» та обґрунтувати її розвиток у напрямі цифрової, ризик-орієнтованої та прогнозної моделі управління. Поєднання Port EMS Analytics, екологічних KPI, прогнозного оцінювання ризиків, автоматизації моніторингу та розвитку енергетичного менеджменту формує комплексний підхід до підвищення екологічної результативності підприємства.

Література

[1] International Organization for Standardization. ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2015. – URL: https://www.iso.org/standard/60857.html (дата звернення: 24.05.2026).

[2] International Organization for Standardization. ISO 50001 Energy Management Systems. – URL: https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html (дата звернення: 24.05.2026).

[3] European Sea Ports Organisation (ESPO). Environmental Report 2025. – URL: https://www.ecoports.com/publications/environmental-report-2025 (дата звернення: 24.05.2026).

[4] Puig M., Azarkamand S., Wooldridge C., Selén V., Darbra R. M. Insights on the Environmental Management System of the European Port Sector // Science of the Total Environment. – 2022. – Vol. 806. – URL: https://www.vliz.be/imisdocs/publications/378395.pdf (дата звернення: 24.05.2026).

[5] ДП «Морський торговельний порт «Південний». Екологічна безпека. – URL: https://www.port-yuzhny.com.ua/ekologichna-bezpeka (дата звернення: 24.05.2026).

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM OF THE STATE ENTERPRISE SEA TRADE PORT PIVDENNYI AND DIRECTIONS FOR ITS DEVELOPMENT

Iryna V. Remeshevska, Nataliya V. Gurets

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The environmental management system of the Sea Commercial Port Pivdennyi was assessed and the main directions for its further development were identified. The study substantiates the digitalisation of environmental monitoring, the application of environmental KPIs and predictive environmental risk management. An integrated Port EMS Analytics platform and a set of measures aimed at improving the environmental performance of the enterprise are proposed.

Keywords: environmental management system, seaport, environmental monitoring, environmental risks, digitalisation, environmental KPIs.

УДК 504.06:656

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУВАННЯ АГРАРНИХ ВАНТАЖІВ У КОНТЕКСТІ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ GAFTA ТА FOSFA

Ремешевська І.В.,
канд. техн. наук
iryna.remeshevska@nuos.edu.ua
Гурець Н.В.,
доцент; ст. викладач
natalya.gurets@nuos.edu.ua
Табакар А.А.,
студент
tabakar06@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У тезах розглянуто роль міжнародних стандартів GAFTA та FOSFA у забезпеченні екологічної безпеки транспортування аграрних вантажів. Проаналізовано основні екологічні ризики, пов’язані з перевезенням зернових, олійних культур та рослинних олій, а також значення контролю стану транспортних засобів, запобігання втратам вантажу, забрудненню повітря, ґрунтів і водних ресурсів. Обґрунтовано доцільність інтеграції міжнародних вимог до якості та безпечності аграрних вантажів із принципами зеленої логістики та екологічного моніторингу.

Ключові слова: екологічна безпека, аграрні вантажі, зернові перевезення, GAFTA, FOSFA, зелена логістика, забруднення довкілля, транспорт.

Актуальність дослідження. Сучасна аграрна логістика є важливою складовою продовольчої та економічної безпеки України. Водночас транспортування значних обсягів зернових, олійних культур і продуктів їх переробки супроводжується виникненням низки екологічних ризиків. До них належать викиди забруднюючих речовин транспортними засобами, утворення зернового пилу, втрати вантажу під час навантаження і перевантаження, забруднення ґрунтів та водних об’єктів, а також ризики розливу або витоку наливних аграрних вантажів. Дослідження екологічних аспектів транспортних перевезень показують, що функціонування транспортної системи може впливати на атмосферне повітря, ґрунтовий покрив, водні ресурси та біорізноманіття. Особливої актуальності питання екологічної безпеки набуває в умовах воєнного стану, коли традиційні логістичні маршрути України трансформуються, збільшується навантаження на окремі транспортні коридори, а пошкодження інфраструктури створює додаткові ризики для довкілля.

Метою роботи є аналіз екологічної безпеки транспортування аграрних вантажів з урахуванням вимог міжнародних стандартів GAFTA та FOSFA, а також визначення шляхів мінімізації негативного впливу на довкілля на всіх етапах логістичного ланцюга.

Забезпечення екологічної безпеки аграрного сектору передбачає не лише контроль виробничих процесів, а й запобігання негативному впливу на природні ресурси на всіх етапах переміщення аграрної продукції. У сучасних умовах, особливо за воєнного стану, зростає необхідність застосування комплексного підходу до організації перевезень зернових, олійних культур та продуктів їх переробки з дотриманням міжнародних стандартів якості та екологічної відповідальності[1].

Важливим інструментом реалізації такого підходу є застосування міжнародних стандартів GAFTA (Grain and Feed Trade Association) та FOSFA (Federation of Oils, Seeds and Fats Associations). GAFTA регулює міжнародну торгівлю зерновими та кормовими культурами, тоді як FOSFA спеціалізується на олійних культурах, рослинних оліях і жирах. Стандарти обох організацій містять вимоги до якості продукції, умов її транспортування, інспекції та відповідності транспортних засобів встановленим вимогам.

З екологічної точки зору важливим є те, що контроль аграрного вантажу не обмежується визначенням його товарної якості. Для зернових вантажів контролюються, зокрема, вологість, домішки, зараженість шкідниками та наявність небезпечних речовин. Для олійних культур і рослинних олій особливе значення мають показники хімічної безпечності та відсутність небезпечних залишків. Таким чином, лабораторний контроль дозволяє не тільки підтвердити придатність продукції до реалізації, але й своєчасно виявити потенційні джерела хімічного забруднення.

Важливим аспектом екологічної безпеки є стан транспортної інфраструктури. Вимоги GAFTA передбачають належний стан трюмів, вагонів, контейнерів та інших транспортних ємностей, їх чистоту, сухість і захист вантажу від зволоження. Для FOSFA особливо важливими є санітарний стан резервуарів, їх герметичність та контроль попередніх вантажів. Останній аспект має безпосереднє екологічне значення, оскільки залишки небезпечних хімічних речовин після попереднього перевезення можуть призвести до забруднення нового вантажу, а у випадку аварійної ситуації – потрапити у ґрунт або водне середовище.

Не менш важливою проблемою є забруднення атмосферного повітря під час перевезення та перевантаження зерна. Пилові викиди можуть формуватися під час завантаження, розвантаження, пересипання та транспортування зернової продукції. Окрім безпосереднього впливу на якість повітря, втрати дрібнодисперсної фракції можуть сприяти поширенню залишків забруднювальних речовин у навколишнє середовище. Тому застосування герметичних транспортних систем, технічний контроль обладнання та мінімізація втрат вантажу повинні розглядатися як складові екологічної безпеки аграрної логістики.

Окремим напрямом є зменшення вуглецевого сліду транспортування. Сучасний розвиток аграрної логістики має орієнтуватися не тільки на скорочення економічних витрат і часу доставки, а й на зниження енергоспоживання та викидів парникових газів. Дослідження українських науковців показують перспективність поєднання вуглецево-нейтральних перевезень із цифровізацією логістичних процесів, що дозволяє оптимізувати маршрути, використання транспортних ресурсів та енергетичні витрати [2].

У цьому контексті стандарти GAFTA та FOSFA можуть розглядатися як складова ширшої системи зеленої логістики. Екологізація логістичних процесів передбачає комплексне управління матеріальними та інформаційними потоками з одночасним зменшенням негативного впливу транспорту на довкілля. Для України це особливо актуально у процесі інтеграції до європейського економічного простору, де посилюються вимоги до декарбонізації транспорту, ресурсоефективності та екологічної відповідальності учасників ланцюгів постачання.

Важливим елементом екологічної безпеки є також екологічний моніторинг і оцінювання ризиків. Такий підхід передбачає контроль не лише стану самого вантажу, а й потенційного впливу логістичних операцій на атмосферне повітря, ґрунти та водні ресурси. Наукові дослідження аграрного сектору України наголошують на необхідності системного моніторингу екологічних ризиків та впровадження заходів щодо їх попередження [3; 4].

Висновки. Міжнародні стандарти GAFTA та FOSFA доцільно розглядати не лише як інструменти регулювання торговельних відносин, але й як важливий елемент забезпечення екологічної та продовольчої безпеки аграрних перевезень. Їх застосування сприяє контролю якості вантажів, запобіганню хімічному та біологічному забрудненню, зменшенню втрат продукції, підвищенню безпеки транспортної інфраструктури та мінімізації потенційного негативного впливу на довкілля.

Для українських перевізників та експортерів перспективним напрямом є подальше поєднання вимог GAFTA і FOSFA з принципами зеленої логістики, екологічного моніторингу та оцінювання екологічних ризиків. Це дозволить перейти від контролю виключно якості аграрного вантажу до комплексного управління екологічною безпекою всього логістичного ланцюга.

Література

[1] Колпак О. В., 2024. Напрями забезпечення екологічної безпеки діяльності аграрних підприємств в умовах повномасштабного вторгнення. *Київський економічний науковий журнал*, № 4, с. 114–118. https://doi.org/10.32782/2786-765X/2024-4-16.

[2] Борисяк О., 2025. Синергія вуглецево-нейтральних перевезень аграрної продукції та інтелектуалізації логістики. *Економіка та суспільство*. № 77. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-17.

[3] Палапа Н. В., Гончар С. М., 2022. Екологічні ризики, пов'язані із сільськогосподарською діяльністю людини. *Агроекологічний журнал.* № 1. С. 40–48. https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255189.

[4] Карташова О. Г., 2021. Забезпечення екологічної безпеки в аграрному секторі. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* № 3. https://ojs.kntu.net.ua/index.php/visnyk/ article/view/80.

ENVIRONMENTAL SAFETY OF AGRICULTURAL CARGO TRANSPORTATION IN THE CONTEXT OF INTERNATIONAL GAFTA AND FOSFA STANDARDS

Iryna V. Remeshevska, Nataliya V. Gurets, Anatolii A. Tabakar

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines the role of international GAFTA and FOSFA standards in ensuring the environmental safety of agricultural cargo transportation. It analyzes the key environmental risks associated with the transport of grains, oilseeds, and vegetable oils, as well as the importance of monitoring the condition of transport vehicles and preventing cargo loss and pollution of the air, soil, and water resources. The study substantiates the rationale for integrating international requirements regarding the quality and safety of agricultural cargo with the principles of green logistics and environmental monitoring.

Keywords: environmental safety, agricultural cargo, grain transportation, GAFTA, FOSFA, green logistics, environmental pollution, transport.

УДК 504.53:631.4:368

ОСНОВНІ ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ҐРУНТІВ ДЛЯ ЦІЛЕЙ ЕКОЛОГІЧНОГО СТРАХУВАННЯ ТА ФАКТОРИ ЇХ ФОРМУВАННЯ

Ютіш О.В.,
аспірант
yutishalexandr@gmail.com
Магась Н.І.,
кандидат технічних наук, доцент
nataly.magas@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі обґрунтовано підхід до відбору екологічних ризиків сільськогосподарських ґрунтів, перспективних для оцінювання у сфері екологічного страхування. Запропонована система критеріїв враховує екологічну значущість ризику, можливість його ідентифікації, кількісного та ймовірнісного оцінювання, а також визначення фінансових наслідків. За цими критеріями виокремлено чотири пріоритетні ризики: засолення, аварійне забруднення, ерозійну втрату родючого шару та забруднення ґрунтів унаслідок застосування пестицидів і агрохімікатів. Визначено основні фактори й параметри, що впливають на формування, ймовірність реалізації та масштаб наслідків цих ризиків, що створює основу для їх подальшої кількісної та фінансової оцінки у страхових розрахунках.

Ключові слова: екологічний ризик, сільськогосподарські ґрунти, екологічне страхування.

Сільськогосподарські ґрунти зазнають впливу природних та антропогенних факторів, які можуть спричиняти різні за характером і масштабом зміни їх екологічного стану. Значна частина забруднення аграрних ґрунтів має дифузний характер і не пов'язана з чітко локалізованим джерелом надходження забруднювальних речовин [1]. Рівень екологічного ризику визначається не лише характером небезпечного впливу, а й сукупністю ґрунтових, гідрогеологічних, кліматичних, техногенних і технологічних факторів. Тому однаковий за характером вплив за різних природних і господарських умов може мати різну ймовірність реалізації та різний масштаб екологічних наслідків.

Для подальшого оцінювання екологічних ризиків сільськогосподарських ґрунтів важливо не лише визначити небезпечні процеси та події, а й оцінити їх придатність до кількісного опису. Для цілей екологічного страхування доцільно насамперед розглядати ризики, для яких можна обґрунтувати причинно-наслідковий зв'язок, кількісно визначити наслідки, оцінити ймовірність або повторюваність їх реалізації та встановити фінансовий еквівалент завданої шкоди чи відновлювальних заходів.

Метою роботи є обґрунтування критеріїв відбору та систематизація пріоритетних екологічних ризиків сільськогосподарських ґрунтів для цілей екологічного страхування, а також визначення факторів і параметрів, що впливають на ймовірність їх реалізації та масштаб наслідків.

Для виділення екологічних ризиків сільськогосподарських ґрунтів, перспективних для подальшого страхового оцінювання, запропоновано враховувати їх екологічну значущість, можливість ідентифікувати подію, процес або сукупність факторів, що зумовили погіршення стану ґрунту, кількісно оцінити наслідки та просторовий масштаб впливу, визначити ймовірність або повторюваність реалізації ризику, а також встановити вартість відновлення ґрунту чи розмір завданої екологічної шкоди. Сукупне застосування цих ознак дає змогу відокремити ризики, для яких можливий послідовний перехід від екологічної характеристики до кількісної та фінансової оцінки у страхових розрахунках.

Запропонований підхід не охоплює всіх можливих видів деградації сільськогосподарських ґрунтів. У межах цієї роботи для подальшого аналізу відібрано засолення, аварійне забруднення, ерозійну втрату родючого шару та забруднення, пов'язане із застосуванням пестицидів і агрохімікатів, оскільки для цих процесів і подій можна встановити екологічні наслідки, визначити показники їх прояву та обґрунтувати параметри, придатні для подальшої страхової оцінки.

Засолення сільськогосподарських ґрунтів формується під впливом поєднання кліматичних, гідрогеологічних і технологічних факторів. Підвищення температури повітря, частіші періоди спеки та зміни режиму зволоження, характерні для південного регіону України, посилюють дефіцит вологи та випаровувальні втрати [2]. За умов неглибокого залягання мінералізованих ґрунтових вод це може сприяти висхідному перенесенню солей у кореневмісний шар. Для зрошуваних земель важливими є також мінералізація та іонний склад поливної води, режим зрошення й ефективність дренажу. Для Півдня України показано, що використання більш мінералізованої зрошувальної води може збільшувати вміст солей у кореневмісному шарі ґрунту [3].

Аварійне забруднення має інший характер формування ризику, оскільки пов'язане з конкретною подією та, як правило, дає змогу встановити причинно-наслідковий зв'язок між джерелом надходження забруднювальних речовин і погіршенням стану ґрунту. Його наслідки можуть бути кількісно оцінені за видом і концентрацією забруднювальних речовин, площею та глибиною їх поширення, що створює основу для визначення масштабу екологічної шкоди та обсягу необхідних ремедіаційних заходів [4, 5].

Ерозійна втрата родючого шару також відповідає запропонованим критеріям, оскільки інтенсивність процесу, площа ураження та обсяг втрат ґрунту можуть бути кількісно визначені. Основними видами ерозії сільськогосподарських ґрунтів є водна та вітрова, розвиток яких залежить від природно-кліматичних умов, властивостей ґрунту та способу землекористування. Для південних регіонів України вітрова ерозія є одним із суттєвих процесів деградації ґрунтів степової та сухостепової зон [6]. Урахування повторюваності небезпечних умов разом з оцінкою фактичних втрат створює передумови для подальшої кількісної характеристики цього ризику.

Окремого розгляду потребує забруднення ґрунтів, пов'язане із застосуванням пестицидів та агрохімікатів. Його проявами можуть бути накопичення залишкових кількостей пестицидів, надлишковий вміст нітратів та інших сполук унаслідок порушення регламентів або тривалого нераціонального застосування агрохімічних засобів. Джерелом такого впливу є господарська діяльність сільськогосподарського виробника, а одним із можливих фінансових наслідків його реалізації є екологічна відповідальність за завдану шкоду. Закон України «Про пестициди і агрохімікати» встановлює вимоги щодо безпечного для навколишнього природного середовища застосування пестицидів та агрохімікатів і передбачає контроль їх використання з урахуванням агрохімічного стану ґрунтів [7]. Це створює нормативні передумови для кількісної оцінки наслідків забруднення та визначення відповідальності за шкоду, заподіяну ґрунтовому покриву.

Рівень виділених екологічних ризиків формується під впливом комплексу факторів, які доцільно систематизувати у чотири основні групи: ґрунтово-гідрогеологічні, кліматично-гідрологічні, техногенні та технологічні. Їх поєднання визначає не лише ймовірність реалізації ризику, а й просторовий масштаб та тяжкість його наслідків.

Таким чином, для відбору екологічних ризиків сільськогосподарських ґрунтів для цілей екологічного страхування запропоновано п'ять критеріїв: екологічну значущість, ідентифікованість, кількісну вимірюваність наслідків, ймовірнісну оцінюваність та можливість фінансової оцінки. За сукупністю цих критеріїв як пріоритетні для подальшого аналізу виокремлено ризики засолення, аварійного забруднення, ерозійної втрати родючого шару та забруднення ґрунтів унаслідок застосування пестицидів і агрохімікатів.

Встановлено, що рівень зазначених ризиків залежить від поєднання ґрунтово-гідрогеологічних, кліматично-гідрологічних, техногенних і технологічних факторів. Запропонований підхід формує основу для наступного етапу – кількісної оцінки ймовірності реалізації ризиків, екологічних наслідків та їх фінансового еквівалента.

Таблиця 1 – Оцінка екологічних ризиків сільськогосподарських ґрунтів за критеріями їх відбору

Екологічний ризик	**Екологічна значущість**	**Ідентифіко-ваність**	**Кількісна та ймовірнісна оцінюваність**	**Фінансова оцінка**
Засолення	зміна водно-сольового режиму і стану ґрунту	процес і комплекс факторів формування	ступінь і площа засолення; динаміка та повторюваність порогових станів	витрати на відновлення та меліоративні заходи
Аварійне забруднення	хімічне забруднення ґрунту	аварійна подія та джерело	концентрація, площа, глибина; частота аварійних подій	екологічна шкода та ремедіація
Ерозійна втрата	втрата родючого шару	ерозійний процес і фактори його розвитку	інтенсивність, площа, обсяг втрат; повторюваність небезпечних умов	витрати на відновлення ґрунту
Пестициди та агрохімікати	хімічне забруднення ґрунту	господарська діяльність і порушення регламентів	залишковий вміст речовин; частота перевищень установлених рівнів	відновлення та екологічна відповідальність

Таблиця 2 – Основні фактори та параметри, що визначають рівень екологічного ризику сільськогосподарських ґрунтів

Група факторів	**Основні фактори та параметри**	**Екологічні ризики**
Ґрунтові та гідрогеологічні	тип і гранулометричний склад ґрунту; водопроникність; pH; рівень і мінералізація ґрунтових вод; природна дренованість	засолення; забруднення; ерозія
Кліматичні та гідрологічні	температура; опади; випаровування; посуха; вітер; поверхневий стік; підтоплення	засолення; ерозія; забруднення
Техногенні	наявність і розміщення потенційно небезпечних об’єктів; вид та потенційний обсяг забруднювача; умови аварійного надходження	аварійне забруднення
Технологічні	спосіб обробітку; режим і технологія зрошення; якість поливної води; стан дренажу; протиерозійні заходи; норми та способи застосування пестицидів і агрохімікатів	засолення; ерозія; забруднення пестицидами та агрохімікатами

Література

[1] Nuruzzaman M., Bahar M. M., Naidu R. Diffuse soil pollution from agriculture: Impacts and remediation. *Science of the Total Environment.* 2025. Vol. 962. Art. 178398. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178398.

[2] Karamushka V., Boychenko S., Kuchma T., Zabarna O. Trends in the Environmental Conditions, Climate Change and Human Health in the Southern Region of Ukraine. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 9. Art. 5664. DOI: https://doi.org/10.3390/su14095664.

[3] Chornyy S. G., Isaeva V. V. Salinisation of chernozem soils by brackish irrigation water in Southern Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80, No. 2. P. 421–432. DOI: https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2192116.

[4] O’Brien P. L., DeSutter T. M., Casey F. X. M., Wick A. F., Bartsch Z. J., Croat S. J., Struffert S. Oil spill soil remediation using thermal desorption: Project synthesis and outcomes. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2024. Vol. 7, No. 1. e20463. DOI: https://doi.org/10.1002/agg2.20463.

[5] Adeniran M. A., Oladunjoye M. A., Doro K. O. Soil and groundwater contamination by crude oil spillage: A review and implications for remediation projects in Nigeria. Frontiers in Environmental Science. 2023. Vol. 11. Art. 1137496. DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1137496.

[6] Chornyy S. G. The climatic factor of wind erosion in southern Ukraine: statistical analysis and trends in the context of climate change. *AgroChemistry and Soil Science.* 2026. DOI: https://doi.org/10.31073/acss100-04.

[7] Про пестициди і агрохімікати : Закон України від 02.03.1995 № 86/95-ВР. *База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/86/95-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 18.09.2026).

MAIN ENVIRONMENTAL RISKS TO AGRICULTURAL SOILS FOR ENVIRONMENTAL INSURANCE PURPOSES AND FACTORS INFLUENCING THEIR FORMATION

Yutish Oleksandr Vasylovych, Magas Nataliia Ivanivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper substantiates an approach to selecting environmental risks to agricultural soils that are suitable for assessment in environmental insurance. The proposed system of criteria considers environmental significance, identifiability, quantitative and probabilistic assessability, and the possibility of determining financial consequences. Based on these criteria, four priority risks are identified: soil salinization, accidental contamination, erosional loss of the fertile soil layer, and soil contamination resulting from the use of pesticides and agrochemicals. The main factors and parameters affecting the formation, probability of occurrence, and magnitude of consequences of these risks are identified, providing a basis for their subsequent quantitative and financial assessment in insurance calculations.

Keywords: environmental risk, agricultural soils, environmental insurance.

УДК 628.3

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА ПИВОВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Благодатний В.В.,

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

woblaho@ukr.net

Анотація. На основі оцінки сучасного стану технологічних систем очисних споруд визначено джерела забруднення у стічних водах пивоварного підприємства, де спостерігається перевищення ГДК по $БСК_5$, ХСК, завислим речовинам. Розроблено варіанти переробки рідкого стоку: утилізація з отриманням кормової біомаси в рідкому або в сухому вигляді; аеробне знешкодження в аеротенку та анаеробне знешкодження в UASB реакторі. За результатами аналізу визначено, що найвищу ефективність очищення стічних вод та утилізацію осадів забезпечує варіант з анаеробно-аеробною очищенням з випарюванням стоку, а також отриманням органо-мінерального добрива та біогазу. Це дозволяє його рекомендувати в якості блоку біологічного очищення та блоку утилізації осаду на пивоварних підприємствах.

Ключові слова: стічні води, завислі речовини, анаеробне очищення, активний мул, біогаз, реагенти, UASB-реактор, нітрифікація.

Пивоварне виробництво пов’язане з великими обсягами забруднених вод. Останнім часом змінюється якісний склад скидів: органічні забруднення під дією бактерій, дріжджів і інших мікроорганізмів піддаються складним біохімічним перетворенням з виділенням суто газоподібних продуктів розпаду (сірководню, аміаку тощо) [1].

Стічні води характеризуються підвищеним вмістом завислих речовин. Тому актуальною проблемою у харчовій промисловості є розробка та вдосконалення систем водоочищення. Стічні води утворюються на стадії миття та замочування ячменю, промивання дріжджів, миття виробничих ємностей, трубопроводів, тари, а також при скиданні промивних вод варильного цеху.

На основі оцінки сучасного стану технологічних систем очисних споруд необхідно розробити раціональні системи очищення води та провести аналіз існуючих схем водовідведення і оцінити ефективність засобів видалення забруднень та утилізації осадів процесів очищення води.

Метою даного дослідження є підвищення екологічної ефективності використання водних ресурсів на пивоварному підприємстві, що передбачає визначення кількісного та якісного складу стічних вод, що

виділяються на об’єкті; порівняльний аналіз методів очищення стічних вод від забруднень, типів апаратів, їхні характеристики при виробництві пива і розробка та обґрунтування технології водовідведення та системи утилізації осадів, що утворюються при очищенні води.

Як свідчать результати досліджень стічні води підприємства є концентрованими по органічним забрудненням. Концентрація забруднень для окремих цехів (варочний, бродильний та розливу продукції) спостерігається перевищення ГДК по $БСК_5$, ХСК, завислим речовинам, що потребує вдосконалення технологічної схеми існуючих очисних споруд.

Розроблено варіанти переробки рідкого стоку зокрема, утилізація з отриманням кормової біомаси в рідкому або в сухому вигляді; аеробне знешкодження [2] в аеротенку: в цьому випадку на вихід надходить очищений стік і утворюється деяка кількість надлишкового активного мулу; анаеробне знешкодження в UASB реакторі: в цьому випадку на вихід надходить частково очищений стік, утвориться деяка кількість надлишкового активного мулу і біогаз

Порівняльний аналіз результатів проведених досліджень дозволяє зробити висновки, що витрати на аеробну очистку при аеробній переробці стоків на кормовий рідкий чи сухий продукт [3] збагачений мікробним білком будуть рівними. Що ж стосується сумарних витрат на вихідний стік та на реалізацію продукції,то з усіх розглянутих технологій, витрати варіанту переробки стоків на рідкий продукт є найбільшими. Таким чином ефективнішим є варіант аеробної переробки на кормовий рідкий продукт, збагаченій мікробним білком, оскільки при цьому немає необхідності витрачати додаткові кошти на паливо для висушування кормового продукту.

Оцінюючи витрати на реалізацію різних технологічних рішень варіанту з аеробним знешкодженням в аеротенку, можна зробити такі висновки: очищений стік скидається без обробки чи після аеротенку та надлишковий активний мул не утворюється. Серед наведених варіантів обробки екологічно вигіднішим являється варіант скидання стоку після окислення в аеротенку, оскільки стічні води очищуються від забруднюючих речовин та при цьому вплив на навколишнє середовище зменшується.

Таким чином за результатами аналізу визначено, що найвищу ефективність очищення стічних вод та утилізацію осадів забезпечує варіант анаеробно-аеробною очисткою та випарюванням стоку, а також з отриманням органо-мінерального добрива та біогазу. Це дозволяє рекомендувати його в якості блоку біологічного очищення та блоку утилізації осаду на пивоварних підприємствах.

Література

[1] Запольський, А.К. Екологізація харчових виробництв / А.К. Запольський, А.І. Українець. Київ : Вища школа, 2005. 42 с.

[2] Благодатний В.В Трохименко Г.Г. Технології очищення води : методичні вказівки. Миколаїв : Румянцева Г. В., 2026. 8 с.

[3] Обробка технологічних рідин та стічних вод / С.С. Рижков та ін. Херсон, Олді+, 2018. 316 с.

SELECTION OF A RATIONAL WATER TREATMENT SYSTEM IN BREWERY PRODUCTION

Volodymyr Blahodatnyi

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

Abstract. Based on the assessment of the current state of technological systems of treatment facilities, the sources of pollution in the wastewater of a brewery enterprise have been determined, where exceedances of the MPC for BOD_5, COD, and suspended solids are observed. Options for liquid effluent processing have been developed: utilization with the obtaining of fodder biomass in liquid or dry form; aerobic treatment in an aeration tank and anaerobic treatment in a UASB reactor. Based on the analysis results, it has been determined that the highest efficiency of wastewater treatment and sludge utilization is provided by the option with anaerobic-aerobic treatment with effluent evaporation, as well as the production of organo-mineral fertilizer and biogas. This allows recommending it as a biological treatment unit and a sludge utilization unit at brewery enterprises.

Keywords: wastewater, suspended solids, anaerobic treatment, activated sludge, biogas, reagents, UASB reactor, nitrification.

УДК 614.71

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ У МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДАХ

Благодатний В.В.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій,
woblaho@ukr.net
Саюнова М.К.,
бакалавр,
mariasaun8@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Визначено схеми систем очищення повітря для припливної вентиляції та витяжних систем медичних приміщень з двоступінчастим та триступінчастим очищенням повітря. Виконано порівняння можливості застосування подачі очищеного повітря у зонах категорії «дуже чисті» приміщень типу операційних за допомогою турбулентних потоків, струминної подачі повітря та «стельової вентиляції» і визначено найкращим варіантом «стельової вентиляції». Виявлено, що для першого ступеню очистки найефективнішим є коміркові фільтри ФяК для другого ступеню – електрофільтр ЕФ-10, для третього ступеню – найкращим визначено HEPA-фільтрів, об'єднаний з випускною панеллю типу ламінаризатору з фільтрувальною тканиною, що забезпечить ламінарний потік в робочій зоні та необхідний розподіл повітря і має ефективність не менше класу H14.

Ключові слова: операційні, аерозоль, повітряний фільтр, чисті приміщення, тонке очищення, повітророзподіл

При розробці будівель для лікувально-профілактичних закладів їх обладнують системами вентиляції. Приміщення медичного призначення поділяються у залежності від категорій чистоти на дуже чисті, чисті й брудні. Найбільш серйозні вимоги до якості атмосферного середовища мають дуже чисті зони: усі види операційних, передопераційні, наркозні, палати інтенсивної терапії й реанімації, палати для опікових хворих, родові тощо. Для них необхідно дотримуватись специфічних вимог до систем вентиляції та кондиціювання, а також для вимірювальних приладів. У чистих приміщеннях слід забезпечувати відсутность запахів, парів, вологи й тепловиділення, мікробних забруднень, а також не перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих домішок.

Ефективне функціонування лікувальних закладів потребує використовувати інноваційні еколого – економічні методи розробки сучасних систем вентиляції та очищення повітря у «чистих приміщеннях», а також вдосконалення нового устаткування. Головними елементами таких системи є фільтри, розподільники повітря, вентилятори, охолоджувачі та нагрівачі повітря.

Метою даного дослідження є визначення економічних, технічних та організаційних заходів підвищення екологічної чистоти медичних закладів, що включає розробку системи очищення повітря для ділянки операційних; високоефективного устаткування засобів очищення повітря для « чистих приміщень»; а також вибір засобів розподілу повітря у «чистих зонах» операційних.

Проаналізовано існуючі стандарти міжнародних організацій по технології чистих приміщень у медичних закладах. Визначено схеми систем очищення повітря для припливної вентиляції та витяжних систем для різних приміщень [1]. Розроблено системи з двоступінчастим очищенням повітря для реабілітаційних, профілактичних приміщень, медичних центрів тощо. Для «чистих» приміщень типу операційних, наркозних, реанімаційних залів, стерильних виробничих приміщень тощо, запропоновано триступінчасте очищення).

Встановлення фільтрів 1-го ступеню та фільтрів 2-го ступеню очищення повітря передбачається безпосередньо у припливних установках вентиляції або кондиціювання повітря перед очищенням повітронагрівачами. Фільтри 3-го ступеню очищення у системі встановлено перед пристроями розподільників повітря або суміщають з ними.

Зроблено порівняння можливості застосування подачі очищення повітря у зонах категорії «дуже чисті» типу операційних за допомогою турбулентних потоків, струминної подачі повітря та «стельової вентиляції» [2]. Дослідження показало, що найкращим варіантом є «стельова вентиляція», що забезпечує найменше відхилення робочих температур, вологості та концентрації домішок у даній зоні від допустимої величини. Відрив струменя від підволоку відбувається за межами робочої зони. Швидкість витікання газу через повітророзподільник забезпечує підтримання параметрів середовища у приміщеннях, що відповідає санітарно-гігієнічним нормам.

Проведено аналіз кількісних та якісних технологічних показників установок для високоефективних варіантів обладнання. Виявлено, що для першого ступеню очистки найефективнішими є коміркові фільтри ФяК для другого ступеню – електрофільтр ЕФ-10 [3], для третього ступеню – найкращими визначено HEPA-фільтри, об'єднані з випускною панеллю.

Виходячи з результатів, встановлення ламінаризатору з фільтрувальною тканиною, що забезпечить ламінарний потік в робочій зоні тобто необхідний розподіл повітря. Таки чином система забезпечує очистку повітря з ефективністю не менше класу H14 для «чистих приміщень».

Література

[1] ДСТУ ISO 14644 – 5:2012 (ISO 14644 –5:2004, IDT). Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 5. Експлуатація – [Чинний від 2013-07-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2013. 4 с. (Національний стандарт України).

[2] Щесюк О. В. Щербак Ю.Г. Медична кондиціонуюча техніка : [навчальний посібник]. Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2013. 12 с.

[3] Благодатний В.В., Магась Н.І. Апарати для очищення відхідних газів від забруднень : методичні вказівки. Миколаїв : НУК, 2019. 52 с.

DEVELOPMENT OF AIR PURIFICATION SYSTEMS FOR MEDICAL FACILITIES

Volodymyr Blahodatnyi, Saiunova Mariia

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

Abstract. The schemes of air purification systems for the supply and exhaust ventilation of medical facilities utilizing two-stage and three-stage air purification have been defined. A comparison was conducted regarding the application of purified air supply in ultra-clean zones, such as operating rooms, using turbulent flows, jet air supply, and unidirectional air flow. Unidirectional air flow was determined to be the optimal solution. It was found that cell-type filters (Evrovent 4/9) are the most effective for the first stage of purification, while the EF-10 electrostatic precipitator is optimal for the second stage. For the third stage, the most effective solution is a HEPA filter combined with a laminar flow distribution panel containing filtering fabric. This configuration ensures a laminar flow in the working area and the required air distribution, providing an efficiency of at least class H14.

Keywords: operating rooms, aerosol, air filter, cleanrooms, fine filtration, air distribution.

УДК 504.06:355.018 (477)

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ЕКОСИСТЕМИ ТА НАПРЯМИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ

Крилова В.Ю.,

Первомайський навчально-науковий інститут НУК імені адмірала Макарова

м. Первомайськ, Україна

krylova.vika31@gmail.com

Анотація. У роботі досліджено основні екологічні наслідки воєнних дій на території України та їх вплив на природні екосистеми. Проаналізовано характер забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і водних ресурсів, деградацію природних ландшафтів та втрати біорізноманіття.

Ключові слова: екологічна безпека, воєнний стан, екосистеми, екологічні ризики, забруднення, біорізноманіття, екологічний моніторинг, відновлення довкілля.

Екологічна безпека є невід'ємною складовою національної безпеки України. В умовах воєнного стану її значення особливо зростає, оскільки воєнні дії є одним із найбільш інтенсивних факторів антропогенного впливу на довкілля. Їх особливістю є одночасна дія декількох негативних чинників: механічне руйнування природних територій, хімічне забруднення, пожежі, шумове навантаження, порушення гідрологічного режиму та знищення біологічних ресурсів.

Екологічна безпека в українському законодавстві розглядається як один із важливих напрямів державної політики у сфері охорони довкілля. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» визначає основні правові, економічні та соціальні засади охорони довкілля та забезпечення екологічної безпеки[1]. Водночас масштаб сучасних екологічних викликів, спричинених війною, потребує удосконалення існуючих механізмів оцінювання шкоди, моніторингу та відновлення природних територій.

Отже, на сьогодні ключовим завданням у сфері екологічної безпеки є збереження вцілілих природних територій та посилення їх правового захисту [2].

З огляду на це метою роботи є дослідження впливу воєнних дій на екосистеми України, визначення основних екологічних ризиків, аналіз методів оцінювання стану постраждалих територій та обґрунтування пріоритетних напрямів їх подальшого відновлення.

Одним із найбільш поширених наслідків є забруднення атмосферного повітря. Унаслідок вибухів боєприпасів, пожеж на промислових об'єктах, нафтобазах та складах небезпечних речовин в атмосферу потрапляють продукти горіння, пил, токсичні хімічні сполуки та інші забруднювачі. Значна кількість таких речовин може осідати на поверхні ґрунту і рослинності, формуючи вторинне забруднення екосистем.

Не менш небезпечним є порушення ґрунтового покриву. Вибухи утворюють численні вирви, руйнують верхній родючий шар, а пересування важкої військової техніки спричиняє ущільнення ґрунтів. Унаслідок цього погіршуються водопроникність, повітряний режим та здатність ґрунтів підтримувати рослинний покрив. Додатковим фактором є хімічне забруднення залишками боєприпасів, паливно-мастильними матеріалами та іншими токсичними речовинами.

За 1000 днів війни екологічна шкода, завдана воєнними діями, оцінюється приблизно в 7 млрд доларів. Внаслідок обстрілів та лісових пожеж в атмосферу додатково потрапили 18 млн тонн діоксиду вуглецю. Загалом через війну вже пошко джено млн гектарів лісів, а забруднена вибухо небезпечними предметами територія України ста новить 139 000 кв. км [3].

Значного негативного впливу зазнають водні екосистеми. Руйнування промислових підприємств, очисних споруд, гідротехнічних об'єктів та інших об'єктів інфраструктури може призводити до потрапляння забруднювальних речовин у поверхневі та підземні води. Крім того, бойові дії здатні змінювати природний гідрологічний режим територій.

Одним із найбільш масштабних прикладів порушення водної екосистеми стало знищення Каховської гідроелектростанції. Наслідками цієї катастрофи стали різкі зміни водного режиму, затоплення окремих територій, деградація природних комплексів, ерозійні процеси та значне порушення функціонування водних екосистем.

Особливо вразливими є території природно-заповідного фонду. Руйнування лісових масивів, забруднення земель боєприпасами, знищення флори та фауни є прямим порушенням принципу невтручання у природні екосистеми, який визначений як один із ключових у міжнародному екологічному праві. Варто зауважити, що зазначені об'єкти відігравали ключову роль у збереженні екологічної рівноваги не лише в окремих регіонах, а й були частиною «Смарагдової екологічної мережі», що охоплює значну частину території Європи майже 30 % об'єктів Смарагдової мережі перебувають в російській окупації після повномасштабного вторгнення та знищуються під час бойових дій [4].

Одним із ключових завдань після припинення активних бойових дій має стати комплексне оцінювання екологічного стану постраждалих територій. Важливу роль у цьому процесі можуть відігравати геоінформаційні технології. ГІС дозволяють поєднувати дані про місця бойових дій, промислові об'єкти, природоохоронні території, результати лабораторних досліджень та супутникові спостереження. Це створює можливість формування карт екологічних ризиків і визначення територій, які потребують першочергового відновлення.

Дистанційне зондування Землі – дозволяє оцінювати масштаби лісових пожеж, зміни рослинного покриву, деградацію земель, зміни площ водних об'єктів та інші просторові процеси. Але найбільш достовірна оцінка може бути отримана лише в результаті комплексного використання різних методів.

Правове забезпечення екологічної безпеки також потребує подальшого вдосконалення. Важливим завданням є належна фіксація фактів заподіяння шкоди довкіллю, визначення її масштабів та забезпечення можливості притягнення винних осіб до відповідальності.

Відновлення постраждалих екосистем має здійснюватися поетапно. Першочерговим заходом повинно бути розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів. Після цього необхідно провести комплексне оцінювання стану ґрунтів, водних ресурсів, рослинності та тваринного світу.

Наступним етапом має стати рекультивація земель, очищення забруднених територій, відновлення рослинного покриву та, за необхідності, гідрологічного режиму. При цьому не завжди доцільно повністю замінювати природні процеси штучним відновленням. Якщо екосистема зберегла потенціал до самовідновлення, пріоритетом має бути створення умов для її природної регенерації.

Пошкоджені природоохоронні території, які зберегли свою природоохоронну цінність, доцільно залишати в межах існуючого охоронного статусу. Після очищення та екологічного відновлення окремих територій можливим є їх подальше включення до складу природно-заповідного фонду.

Таким чином, ефективна система екологічної безпеки в умовах війни повинна включати чотири взаємопов'язані складові**:** правове регулювання, екологічний моніторинг, технологічне забезпечення та відновлення природних екосистем**.** Їх комплексне застосування дозволить не лише оцінити вже завдану шкоду, а й забезпечити основу для довгострокової екологічної реабілітації України.

Література

[1] Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991.№ 1264-XIIURL:https://kodeksy.com.ua/pro_ohoronu_navkolishn_ogo _prirodnogo_seredoviwa.htm.

[2] Анісімова Г. А., Гетьман А. П. Формування еколого- й кліматично правової політики в умовах росій ської військової агресії: нові доктринальні підходи. Матеріали науково-практичної онлайн-конференції (Харків, 8 грудня 2022р.). URL: https://nauka.nlu.edu.ua/ nauka/download/zbirniki_konf/08.12.2022_eko.pdf.

[3] Світлана Гринчук Пресконференція Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://surli.cc/qtmuwl.

[4] Наша Смарагдова мережа – фантастична. Але є і проблеми, перспективи. Світ. URL: https://svit.kpi.ua/ 2025/02/18/24671/ .

ENVIRONMENTAL SECURITY OF UKRAINE IN CONDITIONS OF MARTIAL LAW: THE IMPACT OF HOSTILITIES ON ECOSYSTEMS AND DIRECTIONS FOR THEIR RESTORATION

Krylova Victoriia Yuriivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Research and Education Center in Pervomaisk)

Abstract. This study examines the main environmental consequences of military operations in Ukraine and their impact on natural ecosystems. It analyzes the nature of air, soil, and water pollution, the degradation of natural landscapes, and the loss of biodiversity.

Keywords: environmental safety, martial law, ecosystems, environmental risks, pollution, biodiversity, environmental monitoring, environmental restoration.

УДК 504.05:556

АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОЛІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АКВАТОРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Ушкац С.Ю.,
кандидат фізико-математичних наук, доцент
Ушкац М.В.,
доктор фізико-математичних наук, професор
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
svitlana.ushkats@nuos.edu.ua, mykhailo.ushcats@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі проаналізовано проблему техногенного забруднення водних об’єктів України рослинною олією внаслідок воєнних дій. Розглянуто математичний апарат та програмні комплекси для моделювання розповсюдження олійних плям на різних етапах аварійного реагування. Обґрунтовано доцільність застосування інтегрованих систем, що поєднують статистичні, Лагранжеві та Ейлерові підходи для оперативної оцінки та прогнозування екологічних наслідків.

Ключові слова: рослинна олія, олійне забруднення, математичне моделювання, акваторія, OpenDrift, MOHID, гідродинаміка.

Вступ. За роки війни постійні обстріли об’єктів промислової та портової інфраструктури України перетворили техногенні аварії з розливами рослинної олії на нову системну екологічну загрозу національного масштабу, що є безпрецедентною. Наслідки для річкових та морських екосистем мають довготривалий вплив, що досі неможливо спрогнозувати та остаточно прорахувати. Для оцінки, моніторингу та прогнозування розповсюдження розливів олійних забруднень необхідно розробити нову систему [1, 2], що включає в себе не тільки екологічну інформацію, але й залучення фізико-математичного апарату.

Мета роботи: обґрунтувати вибір та алгоритм застосування математичних моделей і програмних систем для ефективного аналізу, моніторингу та прогнозування дрейфу й трансформації олійного забруднення в акваторіях.

Основна частина. Для підбору конкретної моделі потрібно враховувати масштаб та об’єми аварії, гідрометеорологічні дані відповідної водної екосистеми, а також доступні компоненти обчислювальної системи.

Для етапу екстреної первинної оцінки застосовують статистичні моделі, на кшталт *Spreading Models*, що здатна змоделювати процес гравітаційно-капілярного розповсюдження олійного забруднення з урахуванням сил в’язкості та поверхневого натягу, або *Fay’s Model*, яку можна адаптувати для рослинних

олій, враховуючи меншу питому масу, на відміну від нафтових забруднень, та інший коефіцієнт внутрішнього тертя.

Наступним етапом системного дослідження є застосування фундаментальних методів опису руху та динаміки суцільного середовища – *Particle Tracking Models* або *Lagrangian Models* [3].

Для моделювання траєкторій та долі речовин, що дрейфують, ефективно використати програму з відкритим вихідним кодом *OpenDrift* (доступна на GitHub) та запрограмована на Python, або систему *MOHID*, де Ейлерові моделі є основою для розрахунку гідродинаміки (течій, рівнів води), а також часто застосовуються для моделювання розчинених речовин та хімічних процесів.

Ефективними також вважаються *Integrated Modeling Systems*, що об'єднують декілька різнорідних математичних моделей в єдину робочу платформу для отримання повного прогнозу стану довкілля.

Висновок. Застосування математичного моделювання є критично важливим елементом системного екологічного моніторингу акваторій в умовах воєнних загроз. Екстрена первинна оцінка за допомогою статистичних моделей (*Fay's Model*) дозволяє швидко визначити межі розгортання бонових загороджень. Використання складніших гідродинамічних систем (*OpenDrift, MOHID*) надає можливість прогнозувати тривимірний дрейф та фізико-хімічну трансформацію олії. Впровадження інтегрованих моделюючих платформ дозволить мінімізувати екологічні збитки та оперативно ухвалювати рішення під час ліквідації наслідків техногенних аварій.

Література

[1] Pan, K., Hu, Y., Deng, M., Zeng, J., Wu, S., & Li, L. (2022). A review of oil spill detection by remote sensing technology. Environmental Research, 214, 113985.

[2] Torres-García, M., García-Martín, J. F., Jiménez-Espadafor Aguilar, F. J., Barbin, D. F., & Álvarez-Mateos, P. (2020). Vegetable oils as renewable fuels for power plants based on low and medium speed diesel engines. *Journal of the Energy Institute*, 93 (3), 953–961.

[3] Dagestad, K.-F., Løken, T. K., Hole, L. R., & Röhrs, J. (2018). OpenDrift v1.0: a generic framework for trajectory modelling. *Geoscientific Model Development*, 11 (4), 1405–1420.

ANALYSIS AND FORECASTING OF AQUATORIUM OIL POLLUTION USING MATHEMATICAL MODELS

Ushkats Svitlana, Ushcats Mykhailo

Admiral Makarov National University of Shipbuildin

Abstract. The paper considers the problem of vegetable oil pollution in Ukrainian water bodies caused by military actions. The mathematical tools and software packages for spill modeling at different stages of emergency response are analyzed. The application of integrated systems combining statistical, Lagrangian, and Eulerian approaches for operational assessment and prediction of environmental consequences is substantiated.

Keywords: vegetable oil, oil pollution, mathematical modeling, water area, OpenDrift, MOHID, hydrodynamics.

УДК 502:631(075.8)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ БАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВРОЖАЙНОСТІ АГРОКУЛЬТУР НА ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ГРУНТУ

Кособуцька О.О.,

аспірантка кафедри екології та природохоронних технологій

[1]olena.kosobutska@nuos.edu.ua

Трохименко Г.Г.,

доктор технічних наук, професор,

завідувачка кафедри екології та природохоронних технологій

antr@ukr.net

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто проблему зниження родючості ґрунтів та можливості застосування біологічних препаратів для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Проведено польовий експеримент із використанням біопрепаратів у різних концентраціях та оцінено їх вплив на схожість і ростові показники вівса посівного (Avena sativa L.). Досліджено елементний склад ґрунту до та після застосування біопрепаратів методом рентгенофлуоресцентного аналізу. Встановлено відмінності в

концентраціях окремих елементів у досліджуваних зразках ґрунту, зокрема зниження вмісту заліза порівняно з контрольним зразком. Найкращі ростові показники тест-культури спостерігали за застосування препарату «Байкал ЕМ-1» та його комбінації з “Effect Pro”.

Ключові слова: родючість, біодобрива, біотестування, підвищення врожайності.

Сучасне сільське господарство значною мірою спирається на методи внесення добрив, які суттєво впливають на мікробіологічні спільноти ґрунту через зміну його фізико-хімічних властивостей. [1, с. 36]. Надмірне використання хімічних добрив призводить до негативних наслідків, таких як деградація ґрунту, підкислення, зменшення ефективності поживних речовин тощо. Це викликало інтерес до органічних та біодобрив, які можуть підтримувати продуктивність, одночасно покращуючи здоров’я ґрунту шляхом оптимізації мікробіологічних спільнот. [2, с. 433].

Метою дослідження є оцінювання впливу біопрепаратів на основі мікробних угруповань на ростові показники тест-культури та елементний склад ґрунту.

Для дослідження впливу препаратів проведено біотестування у польових умовах з використанням різних концентрацій бактеріальних препаратів на ділянці 1,2 × 2, м Тест-об’єктом було обрано насіння вівса посівного (*Avena sativa L.*) [3, с. 590]. Його висівали по 25 зерен у відкритий ґрунт та обробляли розчинами у концентрації 0,1 %, 1 %, 5 % та 10 %. Задля запобігання негативного впливу шкідників, таких як Вовчок звичайний (Gryllotalpa gryllotalpa L.) та Цвіркун польовий (Gryllus campestris) було обрано біоінсектицид – «Ентоцид». Обробка ґрунту біоінсектицидом проводилась перед посівом тест-культури.

Дослідження проходило у два етапи. Спочатку фіксували та аналізували вплив біопрепаратів на схожість та ростові показники зразків.

Згідно з графіком (рис.1) перші сходи з’явились на 8-ту добу на ділянці, їх оброблювали препаратами «Байкал ЕМ-1» + “Effect Pro”.

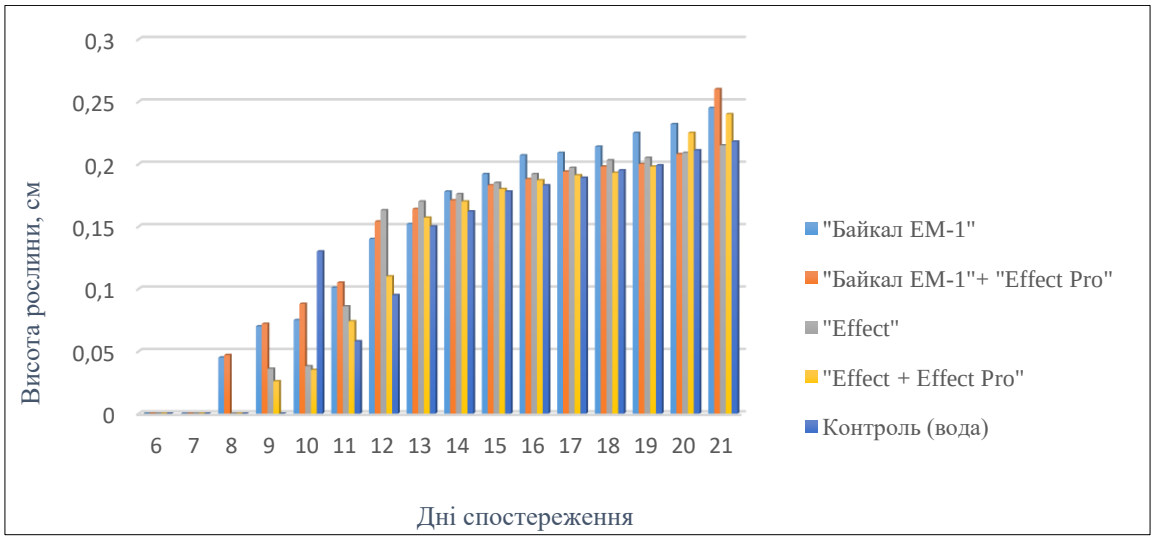


Рисунок 1 – Порівняльний графік впливу біодобрив на ріст Avena sativa L.

Наприкінці спостережень найбільшого росту мали зразки, що поливали розчином «Байкал ЕМ-1» + “Effect Pro”.

На другому етапі дослідження було проведено відбір проб методом «конверту» для для подальшого визначення його елементного складу [4, с. 30]. Елементний склад ґрунтових зразків визначали методом рентгенофлуоресцентного аналізу (XRF). За результатами дослідження в зразках ідентифіковано Fe, K, Ca, Ti, Mn та низку інших елементів. Проби відбирались на глибині 2 см та 4 см. Порівнювали з контрольними зразками, які відбирали перед початком експерименту. Для коректної оцінки екологічної безпеки ґрунту отримані концентрації цих елементів мають бути зіставлені з чинними нормативними або фоновими значеннями з урахуванням форми знаходження елементів та застосованого методу аналізу.

У результаті досліджень виявлено основні елементи (Fe, K, Ca, Ti, Mn), які знаходяться в межах норми. У зразку з ділянки після експерименту вміст заліза зменшився в порівнянні з контролем (Fe): 23025±91ppm (~2,30 %) на (Fe): 18053±79 ppm (~1,81 %); важкі метали та потенційно токсичні елементи, які присутні у ґрунті (Zn, Cr, Pb, V, As, Co, Ni, Cu) у межах норми ГДК.

За результатами польового експерименту встановлено, що застосування досліджуваних біопрепаратів впливало на схожість і ростові показники *Avena sativa L.* На початкових етапах розвитку рослин позитивний ефект спостерігали за застосування препарату «Байкал ЕМ-1» у концентрації 5 %.

На подальших етапах вегетації найбільші ростові показники та інтенсивніше формування зеленої маси відзначено за комбінованого застосування препаратів «Байкал ЕМ-1» та “Effect Pro”.

Результати рентгенофлуоресцентного аналізу свідчать про відмінності в елементному складі ґрунту до та після проведення експерименту, зокрема про зменшення концентрації Fe у дослідженому зразку. Водночас для встановлення причин виявлених змін та підтвердження безпосереднього впливу біопрепаратів необхідні подальші дослідження із застосуванням достатньої кількості повторностей, статистичної обробки результатів та контролю просторової неоднорідності ґрунту.

Література

[1] Дегодюк Е. Г. Сучасні підходи до оптимізації мінерального живлення рослин в органічному землеробстві / Дегодюк Е. Г., Вітвіцька О. І., Дегодюк Т. С. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. С. 33–39.

[2] Кособуцька О. О., Трохименко Г. Г. «Аналіз можливості застосування препаратів на основі мікробних біоценозів для підвищення урожайності сільськогосподарських культур». Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. Миколаїв : НУК, (2024). С. 433–436.

[3] Kour, D.; Rana, K.L.; Yadav, A.N.; Yadav, N.; Kumar, M.; Kumar, V.; Vyas, P.; Dhaliwal, H.S.; Saxena, A.K. Microbial Biofertilizers: Bioresources and Eco-friendly Technologies for Agricultural and Environmental Sustainability. *Biocatal. Agric. Biotechnol. 2020, 23*.

[4]Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ / за ред. Яцука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. С.108.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF BACTERIAL PREPARATIONS USED TO INCREASE CROP YIELD ON THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SOIL

Kosobutska Olena, Trokhymenko Ganna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The problem of declining soil fertility and the potential use of biological preparations to enhance crop productivity are considered. A field experiment was conducted using biological preparations at different concentrations, and their effects on the germination and growth parameters of oat (Avena sativa L.) were evaluated. The elemental composition of the soil before and after the application of the biological preparations was determined using X-ray fluorescence (XRF) analysis. Differences in the concentrations of individual elements were identified in the studied soil samples, including a decrease in iron content compared with the control sample. The best growth performance of the test crop was observed following the application of “Baikal EM-1” and its combination with “Effect Pro”.

Keywords: soil fertility, biofertilizers, biotesting, crop yield enhancement.

УДК 629.12:621.431

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГАЗОВОГО ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА ЗВАЛИЩНОМУ ГАЗІ

Лисих А.Ю.,

кандидат технічних наук, доцент

Первомайський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, Україна

alla.lysykh@nuos.edu.ua

Низькокалорійні газові палива (НГП), до яких відносять звалищний газ, піролізний газ, шахтний газ, біогаз, коксовий газ, генераторний газ тощо є відносно дешевими і доступними джерелами енергії. Ці гази, які у великій кількості виробляються промисловістю та сільським господарством, отримали широке використання в розвинених країнах світу. На жаль в Україні, яка є залежною від постачання енергоносіїв, НГП майже не використовуються, а у більшості випадків викидаються і забруднюють навколишнє середовище [1, 2].

Важливими та актуальними на сьогоднішній день є питання їх ефективного використання та утилізації. Найбільш ефективним є утилізація високотемпературної складової вторинних енергоресурсів – випускних газів, наддувочного повітря, охолоджувальної води та циркуляційного масла, але утилізація низькопотенціального тепла це майбутній потенціал [3–6].

Ключові слова: газовий двигун; модельна суміш; ефективні показники; екологічні показники.

Актуальність задачі. Перспективним джерелом енергії є звалищний газ, з теплотою згоряння 17–20 МДж/м^3, що утворюється в результаті розкладання органічної частини твердих побутових відходів, що виникають невдовзі після їхнього санітарного поховання. Тільки в містах утворюється 400–45 млн т. твердих побутових відходів на рік. Потенціал звалищного газу в країнах Європейського Союзу наближається до млрд. м^3/рік, в Україні – близько млрд. м^3 на рік. Недоліком даного газу є його низька калорійність.

Мета роботи – дослідження ефективних та економічних показників газового двигуна 6 ГЧН 25/34 потужністю Ре = 420 кВт., який працює на альтернативному газовому паливі. В якості альтернативи природному газу на якому працює двигун-прототип пропонується використати звалищний газ, з нижчою теплотою згоряння 19518 кДж/м^3, що утворюється в результаті розкладання органічної частини твердих побутових відходів [7].

Основна частина. Був здійснений аналітичний розрахунок робочого процесу газового двигуна за однакових умов завдання але з різними складовими газоподібного палива. Отримані результати розрахунку робочого процесу газових поршневих двигунів в двох варіантах зводимо в таблицю 1.

Таблиця 1 – Отримані результати розрахунку газового двигуна 6 ГЧН 25/34

№п/п	Найменування параметра	Вид палива	
		Природний газ	Звалищний газ
1	$Q_н$, кДж/м^3	35284	19518
2	l_0, кмоль / кмоль	9,357	5,095
3	P_{max}, кПа	10011	9617
4	P_{me}, кПа	1018	949
5	η_e	0,38	0,36
6	V_e, м^3/кВт*год	0,270	0,506
7	$V_г$, м^3/год	114	212
8	$P_{ер}$, кВт	425	396

Провівши розрахунок потрібно порівняти отриманні ефективні показники робочого процесу двигунів:

– при використанні звалищного газу – відбувається зменшення величини середнього ефективного тиску P_{me} на 69 кПа (на 7,5 %), в порівнянні з роботою на природному газі;

– ефективна потужність P_e двигуна при роботі на звалищному газі також зменшилася. Зменшення відбулося на 29 кВт. (також на 7,5 %), так як величина ефективної потужності прямопропорційно залежить від середнього ефективного тиску P_{me}. Звалищний газ має нижчу теплоту згоряння $Q_н$ = 19518 кДж/м^3, при теплоті згоряння природного газу $Q_н$ = 35284 кДж/м^3 (теплота згоряння звалищного газу має 55 % від теплоти згоряння природного газу).

Питома ефективна витрата природного газу

$$V_e = 0{,}27 \text{ м}^3/\text{кВт*год} b_e = 0{,}235 \text{кг/кВт} \cdot \text{год} b_e = 0{,}241 \text{кг/кВт} \cdot \text{год.},$$

тоді як витрата звалищного газу збільшилася на

$$0{,}23 \text{ м}^3/\text{кВт*год, (ті же 55 \%)} b_e = 0{,}235 \text{кг/кВт} \cdot \text{год} b_e = 0{,}241 \text{кг/кВт} \cdot \text{год.}$$

Для порівняння економічність роботи двигунів використовується відомий параметр – питома ефективна витрата теплоти.

Питома ефективна витрата теплоти – це кількість тепла яка потрібна для виробки одного кіловата за годину роботи, (кДж/кВт*год):

$$Q^1 = V_г \, Q_н. / P_e$$

При роботі двигуна на природному газі нижча теплоти згоряння запропонованого фракційного складу дорівнює $Q_н$ = 35284 кДж/м^3, а година витрата газу $V_г$ = 11 м^3/год. Тоді питома ефективна витрата теплоти на одиницю потужності.

$$Q^1 = Q_н * V_г / P_e = 35284 * 114 / 425 = 9\,464 \text{ кДж/ кВт*год.}$$

При роботі двигуна на звалищному газі нижча теплоти згоряння даного фракційного складу $Q_н$ = 19518 кДж/м^3, а година витрата $V_г$ = 21 м^3/год. Тоді визначимо питому ефективну витрату теплоти на одиницю потужності.

$$Q^2 = Q_н * V_г / P_e = 19518 * 212 / 396 = 10\,449 \text{ кДж/ кВт*год.}$$

Висновки. Ефективна потужність P_e при роботі на звалищному газі зменшилася на 29 кВт., пропорційно величині середнього ефективного тиску P_{me}.

Зменшення теплоти згоряння звалищного газу (на 55 %) прогнозовано приводить до збільшення на ті же 55 % годинну та ефективну витрату палива.

Для виробки одного кіловата номінальної потужності при роботі на звалищному газу потрібно затратити на 10,5 % теплоти більше ніж при роботі на природному газі.

Покращити паливну економічність та екологічність роботи газового двигуна можливо за рахунок моделювання газової суміші (природний + звалищний газ) в потрібних пропорціях.

Література

[1] Марченко А.П., Осетров О.О., Кравченко С.С. Забезпечення номінальної потужності стаціонарного газового двигуна при використанні низькокалорійних газових палив: Двигуни внутрішнього згоряння – 2015. № 1. – С. 27- 33.

[2] Лісовал А.А. Використання біогазу як сировини і моторного палива в енергетиці і на транспорті: Двигуни внутрішнього згоряння – 2022. № 2. – С.13- 19.

[3] Cherednichenko O., Tkach M. and Dotsenko S., "The Usage of a Waste Heat Recovery Metal-Hydride Unit of Continuous Operation in the Maritime Energy", Kremenchuk, Ukraine, 2019, P. 510-513. doi: 10.1109/MEES. 2019.

[4] Dotsenko S., Nesterenko V., Lysykh A., Hrabovenko O., Shvets I. Experimental study of cogeneration unit operation on alternative gas fuels. // 28 rd International Scientific Conference on Transport Means 2024 04-06.10.2024:– Palanqa, Lithuania, 2024. – Pages 1020-1025. https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P1020-1025

[5] Cherednichenko O., Tkach M., Timoshevskiy B., Havrysh V., Dotsenko S. Improving the efficiency of a gas-fueled ship power plant using a Waste Heat Recovery metal hydride system. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie № 59 (131) – *30.09.2019. – С. 9 – 15*.

[6] Доценко С.М., Тягнирядно Д.О., Фока Б.О. Утилізація тепла когенераційними установками з газовими поршневими двигунами. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії» 11–12.03. 2024 р. – Харків, ХНАДУ. с. 297-299.

STUDY OF EFFECTIVE AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A GAS ENGINE WHEN WORKING ON LANDFILL GAS

Lysykh A.Y.

Pervomaisk Educational and Research Institute Admiral Makarov National University of Shipbuilding, м. Pervomaisk, Mykolaiv region, Ukraine

Low-calorific gas fuels (NGP), which include pyrolysis gas, mine gas, biogas, coke oven gas, generator gas, etc., are relatively cheap and available energy sources. These gases, which are produced in large quantities by industry and agriculture, are widely used in developed countries of the world. Unfortunately, in Ukraine, which is dependent on the supply of energy carriers, NGP is almost not used, and in most cases they are emitted and pollute the environment. Important and relevant today are the issues of their effective use and disposal. The most effective is the utilization of the high-temperature component of secondary energy resources – exhaust gases, charge air, cooling water and circulation oil, but the utilization of low-potential heat is a future potential.

Keywords: gas engine; model mixture; effective indicators; environmental indicators.

УДК 502.131.1:332.14(477.73)

СТРАТЕГІЧНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО ВІДНОВЛЕННЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мозговий А.М.,
доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
andriy.mozgovyy@nuos.edu.ua

У роботі розглянуто роль стратегічної екологічної оцінки (СЕО) у процесі формування та реалізації Програми економічного і соціального розвитку Миколаївської області на 2026 рік. Проаналізовано основні напрями регіонального розвитку, потенційні екологічні ризики, пов'язані з реалізацією програмних заходів, а також заходи щодо запобігання та зменшення негативного впливу на довкілля. Визначено значення системи екологічного моніторингу як інструменту забезпечення сталого розвитку території в умовах післявоєнного відновлення.

Ключові слова: стратегічна екологічна оцінка, сталий розвиток, екологічна безпека, Миколаївська область, відновлення, моніторинг довкілля.

Метою роботи є аналіз ролі стратегічної екологічної оцінки у забезпеченні екологічної безпеки та сталого розвитку Миколаївської області під час реалізації регіональної програми соціально-економічного розвитку.

Сучасний розвиток регіонів України відбувається в умовах значних соціально-економічних та екологічних викликів. Для Миколаївської області особливого значення набувають питання відновлення пошкодженої інфраструктури, забезпечення населення якісними комунальними послугами, модернізації виробничого потенціалу та одночасного збереження природних ресурсів.

У таких умовах стратегічна екологічна оцінка є одним із ключових механізмів інтеграції екологічних аспектів у процес стратегічного планування. Її проведення дозволяє оцінити можливі наслідки реалізації програмних документів для довкілля та здоров'я населення, визначити ризики та сформувати заходи щодо їх мінімізації.

Під час проведення СЕО застосовано комплексний підхід, який включав аналіз сучасного стану довкілля, оцінювання потенційних екологічних наслідків, прогнозування змін, порівняння альтернативних варіантів розвитку та формування системи моніторингу.

Методологічна основа СЕО включала аналітичні, експертні, прогнозні, статистичні та нормативно-правові методи дослідження. Аналіз здійснювався з урахуванням впливів на атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти, біорізноманіття, соціальну сферу та здоров'я населення.

Програма економічного і соціального розвитку Миколаївської області на 2026 рік спрямована на відновлення та модернізацію інфраструктури, розвиток економічного потенціалу, підтримку підприємництва, підвищення енергоефективності та покращення стану довкілля. Серед основних завдань визначено модернізацію критичної інфраструктури, розвиток соціальної сфери, управління природними ресурсами та підвищення екологічної безпеки територій.

У межах проведеної СЕО встановлено, що реалізація заходів Програми може мати комплексний вплив на довкілля. Оцінювання включало аналіз не лише прямих наслідків, а й вторинних, кумулятивних та синергічних ефектів, які можуть проявлятися у коротко-, середньо- та довгостроковій перспективі.

Одним із важливих напрямів аналізу стали ризики для атмосферного повітря. До потенційних негативних наслідків віднесено можливе збільшення викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел, підвищення концентрації забруднювачів у повітрі, зростання викидів парникових газів та шумового навантаження.

Значна увага приділена питанням водних ресурсів. У документі визначено можливі ризики збільшення обсягів водоспоживання, утворення стічних вод, хімічного забруднення поверхневих і підземних вод, а також необхідність удосконалення систем водовідведення та очищення.

Важливою складовою екологічної безпеки є управління земельними ресурсами та відходами. Серед можливих негативних наслідків зазначено порушення ґрунтового покриву, посилення ерозійних процесів, зміну характеристик рельєфу, збільшення обсягів утворення твердих побутових та промислових відходів.

Окремий напрям дослідження становить збереження біорізноманіття. Реалізація окремих інфраструктурних та виробничих заходів може створювати ризики для природних екосистем, середовищ існування видів, зелених насаджень та рекреаційних територій.

Водночас СЕО визначає і позитивні наслідки реалізації Програми. До них належать впровадження ресурсозберігаючих технологій, підвищення енергоефективності, зменшення екологічного навантаження, покращення стану водних ресурсів і ґрунтів, відновлення зелених зон, створення робочих місць та покращення умов життя населення.

Одним із важливих етапів СЕО є розгляд альтернатив реалізації Програми. У документі проаналізовано чотири можливі сценарії: «Бездіяльність»; «Зелене відновлення»; «Інноваційно-консервативний підхід»; «Комбінований стратегічний підхід». Сценарій бездіяльності розглядається як варіант збереження існуючого стану, що може призвести до накопичення екологічних проблем, погіршення стану природних ресурсів та зростання ризиків для населення.

«Зелене відновлення» передбачає масштабне впровадження екологічно орієнтованих технологій, однак потребує значних фінансових ресурсів і тривалого періоду реалізації.

Для реалізації Програми обрано комбінований стратегічний підхід, який поєднує поступове впровадження екологічних технологій із цільовими інвестиціями у пріоритетні сфери, зокрема водопостачання, управління відходами та енергоефективність.

Важливою умовою ефективності Програми є створення системи постійного екологічного моніторингу. У Звіті передбачено проведення спостережень за станом довкілля, аналіз отриманих результатів, виявлення непередбачених негативних наслідків та коригування заходів у разі необхідності.

Система моніторингу включає визначення показників стану атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів та інших компонентів довкілля. Передбачено встановлення показників, методів вимірювання, періодичності контролю та способів виявлення негативних змін.

Для оцінювання якості атмосферного повітря передбачено контроль концентрацій CO_2, NOx, SO_2, пилу, бензапірену, неметанових летких органічних сполук та інших забруднюючих речовин із порівнянням отриманих значень із нормативами.

Висновки. Стратегічна екологічна оцінка Програми економічного і соціального розвитку Миколаївської області на 2026 рік є важливим інструментом забезпечення збалансованого розвитку регіону. Проведений аналіз показує, що реалізація Програми має потенціал для позитивного впливу через модернізацію інфраструктури, підвищення енергоефективності, впровадження екологічних технологій та покращення умов життя населення. Водночас реалізація запланованих заходів потребує постійного екологічного контролю, оскільки окремі напрямки розвитку можуть створювати ризики для атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів та біорізноманіття. Таким чином, стратегічна екологічна оцінка виступає не лише процедурним елементом планування, а й практичним механізмом формування екологічно безпечної моделі відновлення Миколаївської області.

Література

[1] Звіт про стратегічну екологічну оцінку Програми економічного і соціального розвитку Миколаївської області на 2026 рік : додаток до Програми економічного і соціального розвитку Миколаївської області на 2026 рік. Миколаїв, 2026. 18 с.

[2] Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20.03.2018 № 2354-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2018. № 16. Ст. 138.

[3] Порядок здійснення моніторингу наслідків виконання документа державного планування для довкілля, у тому числі для здоров'я населення: постанова Кабінету Міністрів України від 16.12.2020 № 1272. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1272-2020-%D0%BF.

[4] Методичні рекомендації із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування : затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 10.08.2018 № 296.

STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AS A TOOL FOR ENSURING SUSTAINABLE RECOVERY OF MYKOLAIV REGION

Mozgovyy Andriy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

The article considers the role of Strategic Environmental Assessment (SEA) in the process of implementing the Program of Economic and Social Development of Mykolaiv Region for 2026. The study analyzes potential environmental impacts associated with the implementation of regional development measures, including risks to atmospheric air, water resources, soils, biodiversity, and public health. The importance of environmental monitoring, assessment of alternative development scenarios, and integration of environmental requirements into strategic planning is substantiated. Strategic Environmental Assessment is considered as an important mechanism for ensuring sustainable development and environmentally safe recovery of the region.

Keywords: Strategic Environmental Assessment; sustainable development; environmental safety; Mykolaiv Region; regional recovery; environmental risks; environmental monitoring; strategic planning.

УДК 502.131.1:352.07(477.73)

СТРАТЕГІЧНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА У СИСТЕМІ ПЛАНУВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ВОСКРЕСЕНСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Мозговий А.М.,

доцент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

andriy.mozgovyy@nuos.edu.ua

У роботі розглянуто роль стратегічної екологічної оцінки (СЕО) як інструменту інтеграції екологічних критеріїв у систему стратегічного планування відновлення та розвитку Воскресенської селищної територіальної громади. Проаналізовано основні напрями Стратегії відновлення та розвитку громади на 2023–2027 роки та Плану заходів на 2026–2027 роки, визначено їх відповідність принципам сталого розвитку та екологічної безпеки. Встановлено основні потенційні екологічні ризики реалізації стратегічних заходів та визначено значення системи моніторингу для забезпечення збалансованого розвитку території.

Ключові слова: стратегічна екологічна оцінка, сталий розвиток, територіальна громада, відновлення, екологічна безпека, стратегічне планування, моніторинг довкілля.

Метою роботи є визначення ролі стратегічної екологічної оцінки у системі планування відновлення та сталого розвитку Воскресенської територіальної громади, а також аналіз екологічних ризиків і можливостей реалізації стратегічних заходів.

Сучасний розвиток територіальних громад України відбувається в умовах необхідності одночасного вирішення економічних, соціальних та екологічних завдань. Особливої актуальності набуває формування моделей відновлення, які забезпечують не лише відбудову інфраструктури та активізацію економічної діяльності, а й збереження природних ресурсів, зниження екологічних ризиків та підвищення якості життя населення.

Одним із важливих інструментів такого планування є стратегічна екологічна оцінка, яка дозволяє враховувати екологічні наслідки реалізації стратегічних документів ще на етапі їх підготовки.

Об’єктом дослідження є Звіт про стратегічну екологічну оцінку Стратегії відновлення та розвитку Воскресенської селищної територіальної громади на 2023–2027 роки та Плану заходів на 2026–2027 роки. Документ визначає екологічні аспекти реалізації стратегічних цілей громади, можливі наслідки для довкілля та заходи щодо їх запобігання.

У роботі використано методи системного аналізу, порівняльного аналізу, оцінювання відповідності стратегічних цілей принципам сталого розвитку, аналізу екологічних ризиків та прогнозування можливих наслідків реалізації запланованих заходів.

Стратегія відновлення та розвитку Воскресенської селищної територіальної громади визначає основні напрями розвитку території з урахуванням економічних, соціальних та екологічних пріоритетів. Основними завданнями документа є відновлення громади, розвиток інфраструктури, підтримка підприємництва, підвищення якості життя населення та забезпечення екологічної безпеки.

У структурі Стратегії визначено стратегічні цілі, серед яких важливе місце займають:

– прискорене відновлення та економічний розвиток громади;
– підвищення якості життя населення;
– збереження навколишнього природного середовища;
– формування ефективної системи безпеки.

Екологічна складова Стратегії передбачає розвиток системи управління відходами, підтримку органічного землеробства, раціональне використання природних ресурсів, підвищення екологічної культури населення та впровадження заходів із захисту довкілля.

У межах стратегічного планування визначено низку заходів, які можуть мати екологічний вплив: створення індустріального парку, розвиток виробничої діяльності, використання відновлюваних джерел енергії, реконструкція мереж водопостачання і водовідведення, удосконалення системи поводження з побутовими відходами, очищення русла річки Інгул та відновлення зелених насаджень.

Проведений аналіз показав, що стратегічні цілі громади мають високий рівень відповідності принципам сталого розвитку. Найбільша узгодженість спостерігається у напрямах розвитку інфраструктури, екологічного землеробства, управління відходами, покращення комунальних послуг та раціонального використання природних ресурсів.

Водночас реалізація окремих заходів може створювати потенційні екологічні ризики. До них належать можливе збільшення антропогенного навантаження через розвиток промислових об’єктів, утворення додаткових обсягів відходів, використання земельних та водних ресурсів, а також необхідність контролю впливу нових об’єктів інфраструктури.

Зменшення таких ризиків можливе шляхом застосування сучасних природоохоронних технологій, дотримання екологічних нормативів, розвитку системи управління відходами та впровадження постійного моніторингу стану довкілля.

Одним із ключових результатів проведення стратегічної екологічної оцінки є формування системи моніторингу наслідків реалізації стратегічного документа.

Моніторинг дозволяє оцінювати фактичний вплив запланованих заходів на довкілля, своєчасно виявляти негативні тенденції та забезпечувати коригування управлінських рішень.

Для територіальної громади це є особливо важливим, оскільки процес відновлення передбачає реалізацію значної кількості інфраструктурних і виробничих проєктів, які повинні відповідати принципам екологічної безпеки.

Висновки. Стратегічна екологічна оцінка є важливим елементом системи планування відновлення та сталого розвитку територіальних громад. На прикладі Воскресенської селищної територіальної громади встановлено, що СЕО дозволяє інтегрувати екологічні критерії у стратегічні документи, визначити потенційні ризики та сформувати напрями їх мінімізації. Основними умовами ефективної реалізації Стратегії є розвиток системи управління відходами, раціональне використання природних ресурсів, впровадження екологічно безпечних технологій та забезпечення постійного моніторингу стану довкілля. Таким чином, стратегічна екологічна оцінка виступає не лише процедурним елементом планування, а й практичним інструментом формування екологічно безпечної моделі відновлення громади.

Література

[1] Звіт про стратегічну екологічну оцінку Стратегії відновлення та розвитку Воскресенської селищної територіальної громади на 2023–2027 роки (зі змінами) та Плану заходів на 2026–2027 роки.

[2] Про стратегічну екологічну оцінку [Електронний ресурс] : Закон України від 20.03.2018 № 2354-VIII. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19.

[3] Про охорону навколишнього природного середовища [Електронний ресурс]: Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12.

[4] Про затвердження Порядку здійснення моніторингу наслідків виконання документа державного планування для довкілля, у тому числі для здоров'я населення [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 16.12.2020 № 1272. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1272-2020-%D0%BF.

STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT IN THE SYSTEM OF RECOVERY PLANNING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF VOSKRESENSKA TERRITORIAL COMMUNITY

Mozgovyy Andriy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article examines the role of Strategic Environmental Assessment as a tool for integrating environmental criteria into the strategic planning system of recovery and sustainable development of Voskresenska Territorial Community. The main directions of the Community Recovery and Development Strategy for 2023–2027 and the Action Plan for 2026–2027 are analyzed. The potential environmental risks of implementing strategic measures and the importance of environmental monitoring for ensuring sustainable territorial development are determined.

Keywords: Strategic Environmental Assessment, sustainable development, territorial community, recovery planning, environmental safety, strategic planning, environmental monitoring.

УДК 502.131.1:620.91:711.4(477.73)

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ СТРАТЕГІЧНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ

Мозговий А.М.,

доцент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

andriy.mozgovyy@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто особливості застосування стратегічної екологічної оцінки під час просторового планування об'єктів відновлюваної енергетики на прикладі проєкту розміщення сонячної електростанції у Миколаївському районі Миколаївської області. Проаналізовано екологічні передумови зміни цільового призначення земельної ділянки, можливі впливи планованої діяльності на компоненти довкілля та заходи щодо забезпечення екологічної безпеки. Визначено роль СЕО у поєднанні розвитку енергетичної інфраструктури, раціонального використання земельних ресурсів та принципів сталого розвитку територій.

Ключові слова: стратегічна екологічна оцінка, сонячна електростанція, відновлювана енергетика, просторове планування, земельні ресурси, екологічна безпека.

Постановка проблеми. Перехід до низьковуглецевої енергетики є одним із ключових напрямів сучасного розвитку територій. Водночас розміщення об'єктів відновлюваної енергетики потребує комплексного врахування просторових, екологічних та соціальних факторів.

Особливого значення це набуває для регіонів степової зони України, де земельні ресурси одночасно використовуються у сільському господарстві, енергетиці та природоохоронній сфері.

Стратегічна екологічна оцінка дозволяє оцінити можливі наслідки реалізації містобудівних рішень, визначити ризики та сформувати заходи щодо їх попередження.

Метою роботи є оцінювання екологічних аспектів просторового планування об'єкта відновлюваної енергетики та визначення ролі стратегічної екологічної оцінки у забезпеченні екологічно безпечного використання земельних ресурсів.

Проєктом детального плану території передбачається зміна цільового призначення земельної ділянки із земель для ведення особистого селянського господарства на землі енергетики з метою розміщення сонячної електростанції. Площа ділянки становить 2,0 га, кадастровий номер 4824884800:01:001:0345.

Планований об’єкт передбачає виробництво електричної енергії шляхом фотогальванічного перетворення сонячного випромінювання. Відповідно до матеріалів СЕО, технологія сонячної електростанції не супроводжується викидами забруднюючих речовин та не потребує використання паливних чи значних водних ресурсів, що визначає її як низьковуглецеве джерело енергії.

При просторовому плануванні враховано розташування ділянки, існуючу транспортну та інженерну інфраструктуру. Територія знаходиться поблизу автомобільного шляху Н-24, у зоні впливу існуючих інженерних об’єктів, зокрема АЗС та повітряних ліній електропередач.

Важливим елементом екологічного планування є врахування обмежень території. У документації зазначено необхідність інтеграції заходів щодо технічного захисту повітряних ліній електропередач ВЛ 10 кВ, існуючого водопроводу та санітарних зон прилеглих об’єктів.

Основними завданнями реалізації проєкту визначено:

– раціональне використання території;
– забезпечення екологічної безпеки;
– оптимізацію транспортного доступу;
– інтеграцію інженерної інфраструктури;
– створення системи моніторингу роботи сонячної електростанції.

Особливістю цього виду планованої діяльності є зміна функціонального використання земель. До реалізації проєкту територія належала до сільськогосподарських земель, після зміни призначення передбачається формування території об’єктів енергетичної інфраструктури.

Проведена оцінка показала, що ділянка має транспортну доступність, можливість підключення до електромереж та відсутність будівель, які потребують знесення, що сприяє реалізації проєкту. Водночас враховані санітарні та безпекові обмеження, пов’язані з прилеглими об’єктами.

Попри позитивний вплив розвитку сонячної енергетики, реалізація проєкту потребує контролю потенційних екологічних наслідків.

Основними напрямами екологічного контролю є:

– збереження ґрунтового покриву під час будівельних робіт;
– недопущення забруднення території будівельними матеріалами;
– контроль впливу на ландшафт;
– забезпечення пожежної безпеки;
– належне поводження з відходами експлуатації обладнання.

Особливе значення має подальший моніторинг стану довкілля та технічного стану об’єкта, що дозволяє своєчасно виявляти можливі негативні зміни.

Висновки. Стратегічна екологічна оцінка є ефективним інструментом інтеграції екологічних вимог у процес просторового планування об’єктів відновлюваної енергетики. На прикладі проєкту сонячної електростанції у с. Себине встановлено, що реалізація енергетичного об’єкта може поєднувати розвиток альтернативної енергетики із забезпеченням екологічної безпеки за умови врахування територіальних обмежень та проведення постійного моніторингу. Запропонований підхід дозволяє забезпечити баланс між енергетичним розвитком, раціональним використанням земельних ресурсів та збереженням природного середовища.

Література

[1] Звіт про стратегічну екологічну оцінку документа державного планування. Детальний план території, з метою зміни цільового призначення земельної ділянки для розміщення, будівництва, експлуатації та обслуговування будівель і споруд об’єктів енергогенеруючих підприємств, установ і організацій.

[2] Про стратегічну екологічну оцінку [Електронний ресурс]: Закон України від 20.03.2018 № 2354-VIII. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19.

[3] Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SPATIAL PLANNING OF RENEWABLE ENERGY FACILITIES BASED ON STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Mozgovyy Andriy
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article considers the application of Strategic Environmental Assessment in spatial planning of renewable energy facilities using the example of a solar power plant project in Mykolaiv District, Mykolaiv Region. The environmental conditions for changing land use designation, potential impacts on environmental components, and measures to ensure ecological safety are analyzed. The importance of SEA in balancing renewable energy development, rational land use, and sustainable territorial development is substantiated.

Keywords: Strategic Environmental Assessment, solar power plant, renewable energy, spatial planning, land resources, environmental safety.

УДК 331.45:629.5

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ В СУДНОБУДУВАННІ ТА СУДНОРЕМОНТІ В УМОВАХ ВОЄННИХ РИЗИКІВ: ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД

Щедролосєв О.В.,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Суднобудування та ремонту суден
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі досліджено сучасні проблеми забезпечення безпеки праці у суднобудуванні та судноремонті з урахуванням впливу воєнних ризиків. На основі авторського узагальнення специфічних виробничих небезпек обґрунтовано необхідність переходу від переважно реактивної моделі реагування на нещасні випадки до превентивного та ризик-орієнтованого управління. Наукову новизну становить обґрунтування інтегрованого підходу, у якому традиційні заходи охорони праці поєднуються з цифровим моніторингом небезпечних факторів, аналізом даних, елементами цифрового двійника виробничого процесу та алгоритмами раннього попередження. Запропонований підхід дає змогу враховувати одночасно технологічні, організаційні, людські та воєнні ризики і може бути адаптований до умов суднобудівних та судноремонтних підприємств.

Ключові слова: охорона праці, суднобудування, судноремонт, професійні ризики, воєнні ризики, цифровізація, цифровий двійник, превентивне управління, Industry 4.0, безпека виробництва.

Вступ. Сучасне суднобудівне та судноремонтне виробництво характеризується складністю технологічних процесів, використанням великогабаритних конструкцій, вантажопідіймального обладнання, зварювальної та газорізальної апаратури, виконанням робіт на висоті та у замкнених просторах. Таке поєднання операцій зумовлює одночасний вплив механічних, термічних, електричних, хімічних та психофізіологічних факторів.

В умовах воєнного стану традиційна система професійної безпеки ускладнюється додатковими загрозами: пошкодженням виробничої інфраструктури, пожежами та вибухами, повітряними тривогами, перебоями енергопостачання, обмеженням евакуаційних можливостей і підвищеним психофізіологічним навантаженням. Тому сучасна система охорони праці має бути не лише нормативно регламентованою, а й адаптивною, підтриманою цифровим двійником та здатною до оперативного прогнозування ризиків.

Актуальність такого підходу підтверджується сучасними дослідженнями цифровізації суднобудування. Концепція Shipbuilding 4.0 охоплює цифрові двійники, Industrial Internet of Things, штучний інтелект, аналіз великих даних, доповнену реальність та інші технології, які можуть використовуватися не лише для підвищення продуктивності, а й для контролю безпеки виробничих процесів.

Мета та наукова новизна дослідження. Метою дослідження є обґрунтування напрямів удосконалення системи охорони праці на підприємствах суднобудування та судноремонту шляхом інтеграції превентивного управління професійними ризиками з сучасними цифровими технологіями та з урахуванням воєнних загроз.

Новизна роботи полягає у формуванні концептуального підходу до інтегрованого управління безпекою, в якому оцінювання професійних ризиків здійснюється як безперервний процес: ідентифікація небезпек → цифровий збір даних → оцінювання взаємопов'язаних ризиків → раннє попередження → вибір превентивних заходів → контроль результативності. На відміну від статичного оцінювання, такий підхід передбачає врахування динаміки виробничого середовища та взаємодії факторів «людина – обладнання – технологія – середовище – організація – воєнна загроза».

Аналіз виробничих травм і професійних ризиків. Для суднобудівних та судноремонтних підприємств особливе значення мають роботи у замкнених просторах, на висоті, з великогабаритними металоконструкціями, під час вантажопідіймальних операцій, а також виконання гарячих робіт. До основних небезпечних факторів належать падіння з висоти, травмування рухомими механізмами, падіння або обвал конструкцій, опіки, електротравми, пожежі, вибухи, вплив токсичних речовин і недостатня концентрація кисню в замкнених приміщеннях.

Професійні захворювання можуть формуватися внаслідок тривалого впливу шуму, вібрації, металевого пилу, зварювальних аерозолів, лакофарбових матеріалів, розчинників та інших шкідливих факторів. Воєнні умови додатково підвищують складність управління ризиками через порушення штатних режимів роботи, необхідність переривання технологічних операцій, переміщення персоналу в укриття та відновлення робіт після сигналів небезпеки.

Сучасні дослідження демонструють, що ризики в суднобудуванні мають системний характер. Зокрема, аналіз звітності про аварії в суднобудівній галузі показав тісний взаємозв'язок ризиків робіт на висоті, спеціальних операцій та управління безпекою на майданчику; центральними причинно-наслідковими факторами виявилися недостатність навчання, нагляду та ідентифікації небезпек [3]. Це узгоджується з необхідністю посилення саме превентивної складової системи охорони праці.

Інноваційний підхід до управління професійними ризиками. Перспективним напрямом є цифровізація процесу оцінювання та контролю професійних ризиків. У межах Shipbuilding 4.0 цифрові технології розглядаються як інструмент інтеграції виробничих даних, моделювання, моніторингу та прийняття рішень [1]. Для системи охорони праці це створює можливість переходу від періодичних перевірок до постійного інформаційного контролю.

Першим елементом запропонованого підходу є цифровий моніторинг небезпечних факторів. Датчики та IoT-засоби можуть використовуватися для контролю газового складу повітря, температури, задимлення, шуму, вібрації, параметрів обладнання та перебування працівників у небезпечних зонах. Отримані дані можуть автоматично передаватися до інформаційної системи управління безпекою.

Другим елементом є застосування цифрового двійника виробничого процесу. Сучасні дослідження підтверджують перспективність цифрових двійників для суднобудування, зокрема для моніторингу, діагностики та підтримки прийняття рішень [2; 4]. У контексті охорони праці цифровий двійник може використовуватися для віртуального моделювання небезпечних сценаріїв до початку робіт: падіння конструкцій, порушення безпечної зони вантажопідіймальних операцій, накопичення шкідливих речовин у замкненому просторі, виникнення пожежі або необхідності екстреної евакуації.

Третім елементом є інтелектуальне раннє попередження. Сучасні методи аналізу даних і машинного навчання вже застосовуються у суднобудуванні для прогнозування дефектів та визначення пріоритетності ризиків [5]. Аналогічний принцип може бути використаний для виявлення небезпечних тенденцій у виробничому процесі та формування попереджень до виникнення аварійної ситуації.

Четвертим елементом є людиноцентричність цифрової системи. Дослідження у сфері Industry 5.0 показують можливість використання цифрового двійника для автоматизованого виявлення небезпечних станів виробничого середовища та підтримки прийняття рішень [6]. Для суднобудування це означає, що цифрові засоби мають не замінювати працівника, а підвищувати його поінформованість, своєчасно попереджати про небезпеку та підтримувати правильні дії.

П'ятим елементом є інтеграція воєнних ризиків у загальну матрицю професійної безпеки. Алгоритми оцінювання повинні враховувати не тільки ймовірність та тяжкість традиційної виробничої події, а й можливість зовнішнього впливу: повітряної тривоги, вибуху поблизу підприємства, пошкодження енергетичної або технологічної інфраструктури, пожежі чи необхідності термінового припинення робіт.

Практичні результати та напрями впровадження. Запропонований підхід дозволяє сформувати багаторівневу систему управління безпекою суднобудівного та судноремонтного виробництва. На оперативному рівні здійснюється автоматизований контроль небезпечних параметрів; на виробничому – аналіз взаємодії технологічних і людських факторів; на управлінському – прогнозування ризиків і визначення пріоритетних профілактичних заходів.

До першочергових заходів доцільно віднести: регулярну цифрово підтриману оцінку професійних ризиків; удосконалення навчання та інструктажів; посилення контролю за небезпечними роботами; технічне переоснащення обладнання; застосування сучасних засобів індивідуального та колективного захисту; контроль повітряного середовища у замкнених просторах; підвищення безпеки зварювальних, газорізальних та інших гарячих робіт; цифрове моделювання аварійних сценаріїв; розроблення алгоритмів дій персоналу під час аварійних і воєнних загроз.

Окремий перспективний напрям становить модернізація існуючих виробничих систем шляхом retrofit-підходу: інтеграція сенсорів, інтелектуальних систем керування та роботизованих засобів у вже наявне обладнання. Дослідження 2026 року показує, що цифрова діагностика та сенсорне програмування роботизованих систем можуть бути використані для підвищення рівня автоматизації суднобудівних процесів [7]. Такий підхід може одночасно зменшувати перебування працівників у небезпечних зонах.

Висновки

1. Суднобудування та судноремонт характеризуються комплексним поєднанням механічних, термічних, електричних, хімічних та психофізіологічних небезпек, які в умовах воєнного стану доповнюються зовнішніми загрозами.

2. Удосконалення системи охорони праці доцільно здійснювати на основі переходу від реактивної моделі до превентивного, ризик-орієнтованого та адаптивного управління.

3. Науково-практично перспективною є інтеграція цифрового моніторингу, IoT, цифрових двійників, аналізу даних та інтелектуального раннього попередження у систему управління професійними ризиками.

4. Інноваційність запропонованого підходу полягає не в окремому застосуванні цифрових технологій, а в їх інтеграції з традиційними процедурами охорони праці та одночасному врахуванні технологічних, людських, організаційних і воєнних факторів.

5. Профілактика виробничого травматизму має розглядатися як невід'ємна складова технологічної організації суднобудівного та судноремонтного виробництва. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення цифрової моделі оцінювання професійних ризиків для конкретних технологічних операцій верфі та її експериментальну апробацію.

Література

[1]. Zhang X., Chen D. Shipbuilding 4.0: A Systematic References Review. Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 14. 6363. DOI: 10.3390/app14146363.

[2]. Liu J., Zhang Y., Liu Z., Leng J., Zhou H., Gu S., Liu X.-J. Digital twins enable shipbuilding. Alexandria Engineering Journal. 2024. Vol. 107. P. 915–931. DOI: 10.1016/j.aej.2024.09.007.

[3]. Kang J., Zhang Y., Dai H., Jin H., Yu Z. Coupling analysis of accident risks in the shipbuilding industry based on text mining and complex networks. Ocean Engineering. 2026. Article 127067. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2026.127067.

[4]. Yılmaz A. F., Köse O. Advancing sustainable shipbuilding through a hybrid risk prioritization model: integrating FMEA and machine learning. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2025. Vol. 70. 102158. DOI: 10.1016/j.jestch.2025.102158.

[5]. Wang H., Lv L., Li X., Li H., Leng J., Zhang Y., Thomson V., Liu G., Wen X., Sun C. et al. A safety management approach for Industry 5.0's human-centered manufacturing based on digital twin. J. Manuf. Syst. 2022, 66, 1–12, https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.11.013.

[6]. Biltgen J., von Haugwitz K., Sender J. Potential of the system retrofit to increase the level of automation and the use of robots in shipbuilding. Procedia CIRP. 2026. Vol. 138. P. 286–291. DOI: 10.1016/j.procir.2026.01.050.

[7]. Нагорна А. М., Кальниш В. В., Петченко І. В., Радіонов М. О., Компанієць О. А. Виробничий травматизм серед працюючих в Україні при виконанні робіт в умовах бойових дій та шляхи його профілактики. Український журнал військової медицини. 2024. № 4. Т. 5. С. 108–117. https://doi.org/10.46847/ujmm.2024.4 (5)-108.

[8]. Деякі питання виконання робіт підвищеної небезпеки та експлуатації (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки на період дії воєнного стану : постанова Кабінету Міністрів України від 24.03.2022 № 357. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/357-2022-%D0%BF?utm_source=chatgpt.com#Text (дата звернення 13.09.2026 р.)

[9]. Про затвердження Правил охорони праці під час виконання суднобудівних та судноремонтних робіт. Наказ № 1491 від 20.07.2017. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1291-17#Text (дата звернення 13.09.2026 р.).

IMPROVING THE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY SYSTEM IN SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR IN THE CONTEXT OF MILITARY RISKS: AN INNOVATIVE APPROACH

Shchedrolosiev Oleksandr Viktorovych, Konovalova Hanna Vasylivna

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper investigates current occupational safety challenges in shipbuilding and ship repair, taking into account the impact of wartime risks. Based on the authors' generalization of specific industrial hazards, the necessity of a transition from a predominantly reactive accident-response model to preventive and risk-oriented safety management is substantiated. The scientific novelty lies in the development of an integrated approach that combines conventional occupational safety measures with digital monitoring of hazardous factors, data analysis, elements of a digital twin of the production process, and early-warning algorithms. The proposed approach makes it possible to simultaneously consider technological, organizational, human, and wartime risks and can be adapted to shipbuilding and ship repair enterprises. The study emphasizes the potential of digital technologies to support continuous risk assessment, improve decision-making, and reduce workers' exposure to hazardous production environments.

Keywords: occupational safety, shipbuilding, ship repair, occupational risks, wartime risks, digitalization, digital twin, preventive management, Industry 4.0, production safety.

СЕКЦІЯ 6. ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

УДК 621.314.58

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ГІБРИДНИХ КОМПЛЕКСІВ РОЗМАГНІЧУВАННЯ

Павлов Г.В.,
доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна, pavlov.gv.nuk@gmail.com
Обрубов А.В.,
доктор технічних наук, завідувач кафедри електроенергетичних систем
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна, andrii.obrubov@nuos.edu.ua
Махнов А.О.,
аспірант
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна,

Анотація. Робота присвячена дослідженню динамічних характеристик резонансного перетворювача послідовного типу з циклоконвертором, призначеного для гібридних комплексів розмагнічування (ГКР) малих кораблів, при малих змінах вхідної величини, в межах яких перетворювач може вважатися лінійною передавальною ланкою. Розроблено імітаційну модель перетворювача та визначено його еквівалентну передавальну функцію. Визначено залежності параметрів еквівалентної передавальної функції перетворювача від вхідної регулюючої величини.

Ключові слова: гібридний комплекс розмагнічування, динамічна модель, резонансний перетворювач, циклоконвертор, частотна характеристика, передавальна функція.

Вступ і основна частина. Обмоткові системи розмагнічування є найбільш дієвим заходом протимінного захисту кораблів. Завданням системи розмагнічування є зміна сигнатури магнітного поля корабля таким чином, щоб унеможливити його детектування. Для цього штучно зменшують усі складові магнітного поля корабля до встановлених норм за рахунок обмотувального розмагнічування, сутність якого полягає в тому, що магнітне поле корабля компенсується магнітним полем струму спеціально змонтованих на кораблі обмоток.

Системи розмагнічування найчастіше будують за гібридним принципом, який передбачає використання каналів і з накопичувачем енергії [1, 2]. Для зниження залежності комплексу розмагнічування від потужності корабельної електроенергетичної системи використовують системи зберігання енергії великої потужності. Використання ГКР супроводжується великими витратами енергії і значно зменшити їх можна на етапі перетворення електроенергії. Тому актуальною задачею є розробка енергоефективних перетворювачів, що входять до складу систем зберігання енергії ГКР. Резонансні перетворювачі є одним з найбільш перспективних напрямів підвищення енергоефективності систем накопичення та зберігання електроенергії. Ідея побудови різних за топологією резонансних перетворювачів складається в усуненні обмежень в реалізації принципів м'якої комутації ключів у всьому діапазоні регулювання і, як наслідок, низькому рівню комутаційних втрат.

На рис. 1 показана узагальнена структурна схема ГКР, яка містить канали з накопичувачами енергії літієвими батареями та каналами прямого розмагнічування для відносно невеликих струмів розмагнічування (до 0,15 кА). Літієві батареї дозволяють знизити вплив нестабільності параметрів малопотужних корабельних електроенергетичних систем на ефективну роботу ГКР. Резонансні перетворювачі дозволять забезпечити задані параметри струмів заряду батарей та струмів в обмотках розмагнічування корабля.

Враховуючи, що струм розмагнічування значною мірою визначається імпульсними перетворювачами, спектральний склад пульсацій може бути видно в магнітній сигнатурі корабля, що збільшує ймовірність його виявлення [3]. Експериментальними дослідженнями встановлено, що дані пульсації не достатньо послаблюються впливом корпусу корабля [4].

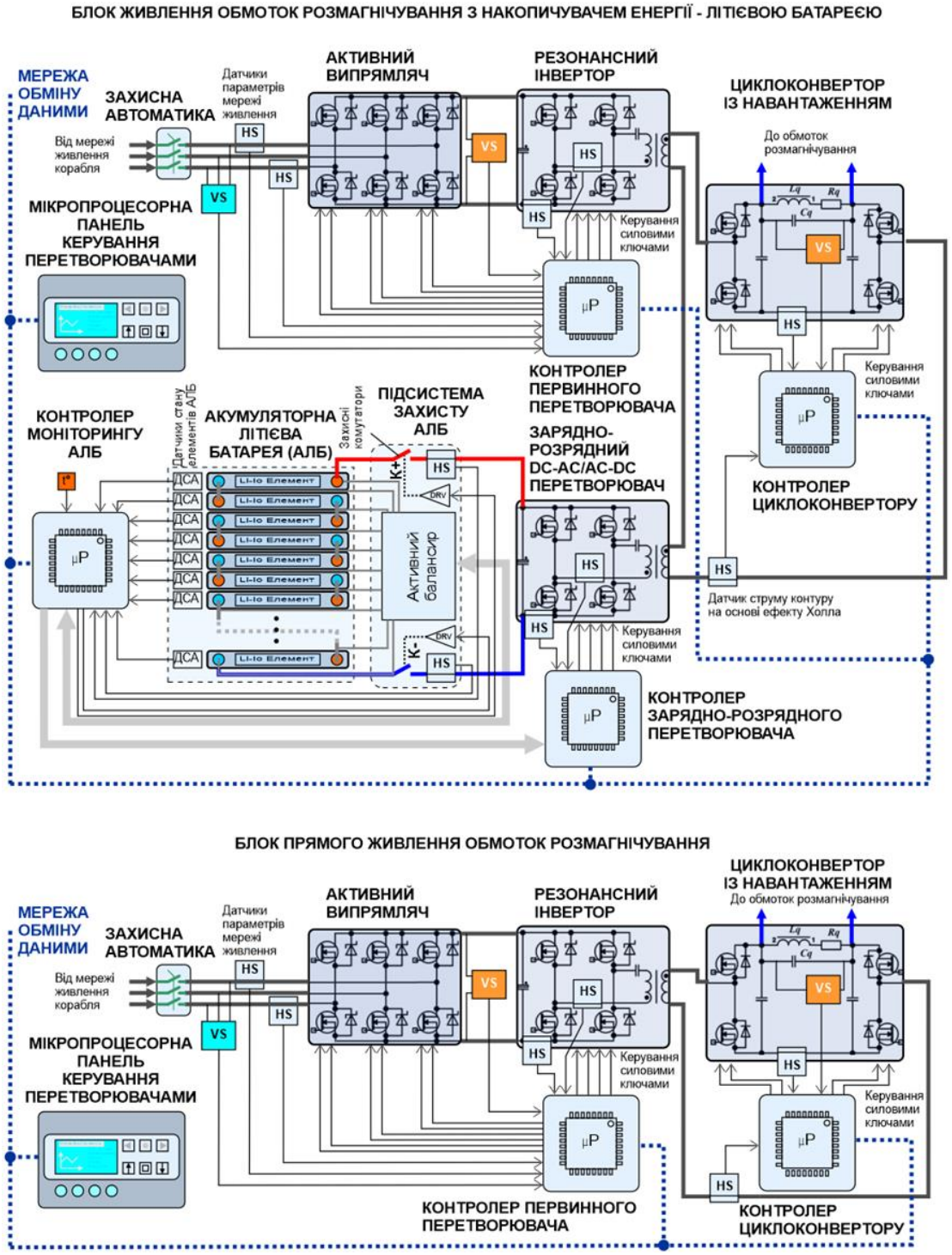


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема ГКР з літієвими батареями (зверху) та без них (знизу)

Найбільш ефективними є способи управління резонансними перетворювачами, що реалізують випадкові варіації параметрів, при яких не повинне змінюватися середнє значення струму розмагнічування. В цій роботі резонансний перетворювач розглядається як передавальна ланка, що має відповідну швидкодію регулювання струму та дозволяє компенсувати низькочастотні пульсації зі сторони живлення і забезпечує відповідну фільтруючу здатність для зниження високочастотних пульсацій з робочою частотою перетворення. Отже метою роботи є дослідження динамічних характеристик та створення динамічної моделі послідовно-резонансного перетворювача зі змінною полярністю вихідного струму для малих змін величин з навантажуванням, характерним для контурів систем розмагнічування суден.

Для отримання експериментальних характеристик будовано *Simulink*-модель резонансного перетворювача з циклоконвертором на рис. 2, яка містить кероване джерело напруги “Ug” та пропорційний елемент “Ugm”, що імітують інвертор, модулятор ширини і частоти імпульсів “Gamma-F_Gen” для керування інвертором, резонансні елементи “Series RLC-Branch”, трансформатор напруги “Linear

Transformer" та коло навантаження "CF-RL". Фільтруюча ємність "CF" може включатися і відключатися від схеми за допомогою перемикача "Cap Switch" та "Breaker". Навантаження "RL" представлено у вигляді котушки прямокутної форми з розрахованими параметрами [5]: висота та ширина прямокутного перетину a_c=0,1 m та r_c=0,2 m; ширина та довжина прямокутного контуру по середній лінії котушки b_c=10 m та c_c=50 m; кількість витків w_{dc}=20; площа перетину мідного проводу s_w=6,67 mm^2; діаметр проводу d_w=3 мм; активний опір котушки R_{dc}=6,3 Ohm; індуктивність котушки L_{dc}=46 mH; номінальний струм котушки I_{dc}=20 A (намагнічувальна сила i_w=400 ампер-витків, щільність струму 3 А/мм^2) відповідає активній потужності 2520 Вт.

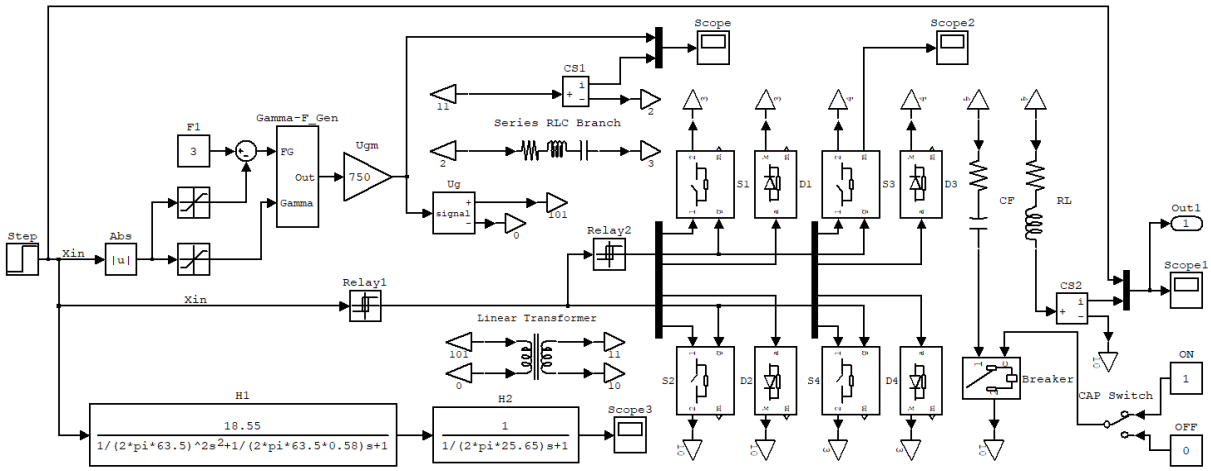


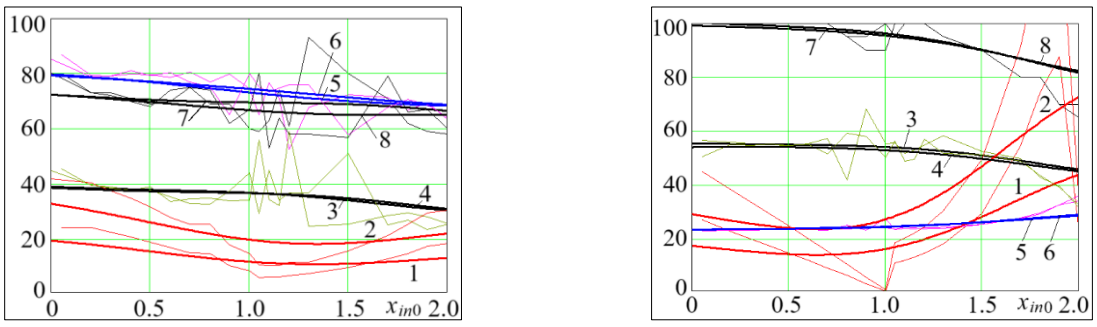
Рисунок 2 – Схема імітаційної моделі резонансного перетворювача з циклоконвертором

В ході експериментів з моделлю на рис. 2 для різних базових значень вхідної величини x_{in0} (сигналу керування вихідним струмом) визначалися узагальнені залежності параметрів від вхідної величини, що показано на рис. 3 товстими лініями 1-8, які було розраховано методом експоненційного згладжування даних у експериментальних вибірках

$$P(x_{in}) = \sum_{k=0}^{N} p_k \cdot e^{-\mu\cdot(x_{in}-x_{in0-k})^2} \Big/ \sum_{k=0}^{N} e^{-\mu\cdot(x_{in}-x_{in0-k})^2},$$

де позначено $P(x_{in})$ – функція одного із параметрів K_e, f_{1e}, f_{2e}, Q_e; N – розмір вибірки; p_k – значення параметру із вибірки; m – параметр згладжування (тут m =2); x_{in} – змінна вхідна величина перетворювача; x_{in0_k} – значення базової вхідної величини для k-того параметру з вибірки. Тонкими лініями показані окремі вибірки вказаних параметрів. Кожна вибірка містить по 20 значень кожного з підібраних параметрів на всьому діапазоні вхідної величини x_{in}=0…2.

Графіки на рис. 3 демонструють значну немонотонну залежність коефіцієнту передачі перетворювача K_e від вхідної керуючої величини: в зоні переходу від широтного до частотного регулювання (x_{in}≈1) його значення найменше і при підході до резонансної частоти (x_{in}≈2) стає максимальним. Залежність $K_e(x_{in})$ більш значна при *RLC*-навантаженні (рис. 3,б), оскільки резонансний контур перетворювача працює з більшою добротністю завдяки шунтуванню кола навантаження великою фільтруючою ємністю. Залежність K_e від напруги живлення практично пропорційна. Інші параметри f_{1e}, f_{2e}, Q_e очікувано демонструють незначну залежність від напруги живлення і помірні монотонні залежності від вхідного сигналу.



а *б*

Рисунок 3 – Залежності параметрів еквівалентної передавальної функції перетворювача від вхідної величини x_{in}: а – для RL-навантаження; б – для RLC-навантаження (криві: 1, 2 – K_e; криві: 3, 4 – f_{1e}; криві: 5, 6 – f_{2e}; криві: 7, 8 – 100·Q_e; криві: 1, 3, 5, 7 – для напруги живлення 450 В, криві: 2, 4, 6, 8 – для напруги живлення 750 В)

Висновки. Використання резонансних перетворювачів в ГКР дозволяє знизити рівень генерованих високочастотних електромагнітних перешкод при порівняно високому ККД перетворення, але резонансні перетворювачі мають коливальний характер перехідних процесів, обмежений діапазон регулювання частотним способом, нелінійні регулювальні характеристики та значну коливальність перехідних характеристик, що ускладнює регулювання вихідних величин і забезпечення стабільної роботи при перемиканнях в колі навантаження. Експериментально-аналітичний підхід дозволяє визначити ефективний закон керування резонансним перетворювачем, зниження пульсацій, точне і стійке регулювання вихідного струму в повному діапазоні від негативних до позитивних максимальних значень, включаючи близькі до нуля значення.

Література

[1] WU X, HE L. A review of research on energy storage ship degaussing main power supply system. Chinese Journal of Ship Research, 2023, 18 (5): 216-223.

[2] HU J X, LIN S L, SONG W J, et al. Energy storage for urban rail transportation[J]. Energy Storage Science and Technology, 2014, 3 (2): 106–116.

[3] Wikkerink, D., Mor, A. R., Polinder, H., & Ross, R. (2022). Magnetic Signature Reduction by Converter Switching Frequency Modulation in Degaussing Systems. IEEE Access, 10, 74103-74110. Article 9828034.

[4] Hanse, I., Wikkerink, D. P., Vermeer, C., Holland, H. J., Dhallé, M. M. J., & ter Brake, H. J. M. (2020). Cryogenics for an HTS degaussing system demonstrator. Paper presented at International Naval Engineering Conference, INEC 2020, Delft, Netherlands.

[5] Stojanović G, Živanov L, Damnjanović M (2006), "Novel efficient methods for inductance calculation of meander inductor". COMPEL, Vol. 25 No. 4P. 916–928, doi: https://doi.org/10.1108/03321640610684079

STUDY OF THE DYNAMICS OF THE RESONANT CONVERTER IN HYBRID DEMAGNETIZATION SYSTEMS

Gennadii Pavlov, Andrii Obrubov, Andrii Makhnov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This study investigates the dynamic characteristics of a series-type resonant converter with a cycloconverter – designed for hybrid degaussing systems for small vessels – under conditions of small input variations, within which the converter can be treated as a linear transfer element. A simulation model of the converter was developed, and its equivalent transfer function was determined. The dependencies of the equivalent transfer function parameters on the input control variable were established.

Keywords: hybrid degaussing system, dynamic model, resonant converter, cycloconverter, frequency response, transfer function.

УДК 681.5

ПИТАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ХВИЛЬОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ С ЕЛЕКТРИЧНОЮ МЕРЕЖЕЮ

Білюк І.С.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики
ivanbilyuk@gmail.com
Савченко О.В.,
PhD, доцент кафедри автоматики
savchenko1984@gmail.com
Львовкін В.С.,
аспірант кафедри автоматики
e-mail: proect2012@gmail.com
Рачинський А.В.,
аспірант кафедри автоматики
e-mail: greknovuj@ukr.net
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто питання взаємодії хвильових електростанцій з електричними мережами. Визначено характеристики електричної енергії, що генерується хвильовою електростанцією. Проаналізовано вплив коливань потужності на якість електричної енергії у мережі.

Ключові слова: хвильова електростанція, електрична мережа, електричний генератор, частота струму, потужність.

Тип хвильової електростанції (ХвЕС) має значний вплив на електроенергетичну систему з якою вона взаємодіє [1]. Крім того, генерована потужність залежить від місця розташування перетворювача енергії хвиль [2]. На рівні системи кожна ХвЕС повинна відповідати стандартам, що стосуються якості електроенергії, надійності, безпеки та стійкості. Однак хвильова енергетика має специфічні характеристики, які проаналізовано у даній роботі.

Динаміка та якість генерованої потужності залежать від типу пристрою для перетворення хвильової енергії [3]. Для перетворювача типу буй генерована потужність для максимального відбору потужності визначається як

$$P = P_{max} \cos^2(\omega_x t)$$

де $P_{\max}$ – пікова потужність, а ω_x частота хвилі, яка, у свою чергу, визначається як

$$\omega_x = \sqrt{\frac{\alpha}{M}}$$

M – еквівалентна маса, що включає плаваючу масу та масу прискореної води, α – стала пружності.

Цей результат справедливий для ідеальних умов з ідеально синусоїдальними хвилями. У реальних застосуваннях хвилі мають більш стохастичну поведінку. Пікова потужність, як і частота, пов'язані з місцем розташування. Тому потрібні індивідуальні дослідження відповідно до хвильових умов. На рисунку 1 зображено енергію згенеровану за ідеальних та реальних умов.

У роботі показано, що питання передачі згенерованої енергії хвиль ставить такі самі завдання, як і традиційні системи генерації, зокрема щодо стабільності, якості електроенергії та компенсації реактивної потужності.

Генерована потужність окремої ХвЕС характеризується низькочастотними коливаннями, зумовленими динамікою хвильового процесу. Скоординоване просторове розміщення групи хвильових перетворювачів із відповідним узгодженням їх фазових характеристик дає змогу здійснювати часткову компенсацію коливань та зменшувати варіативність сумарної генерованої потужності. У результаті форма результуючої потужності може наближатися до періодичного, зокрема квазігармонійного, сигналу.

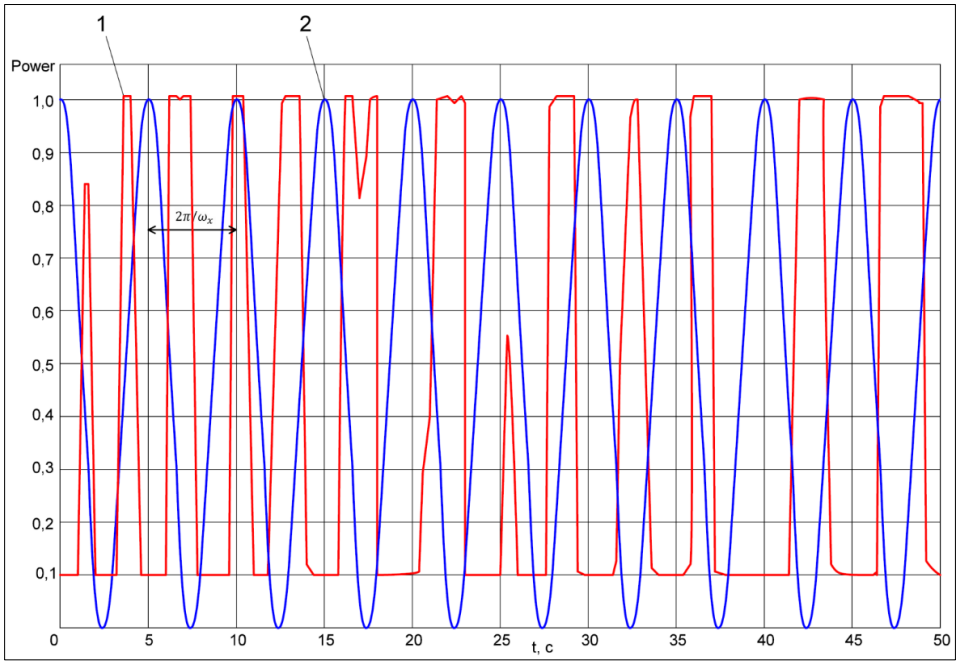


Рисунок 1 – Енергія, що генерується ХвЕС у вигляді буя з вбудованим лінійним генератором: 1 – ідеальні умови ; 2 – реальні умови

В роботі розглянуто питання впливу систем накопичення енергії на згладжування вихідної потужності ХвЕС (рисунок 2). Показано, що хвильової електростанції потрібно менше потужностей накопичення електроенергії в разі використання централізованого накопичувача, ніж при встановленні окремих накопичувачів для кожного пристрою ХвЕС.

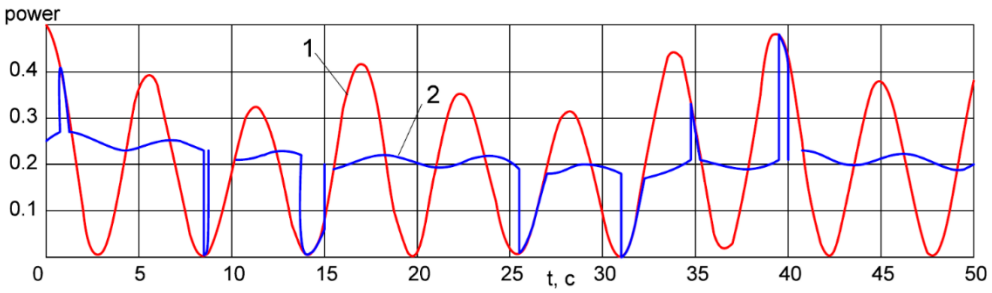


Рисунок 2 – Вплив систем накопичення енергії на згладжування вихідної потужності ХвЕС: 1 – потужність, що генерується ХвЕС ; 2 – вихідна потужність

Одним з способів підвищення якості енергії, що передається від ХвЕС до електричної мережі є використання PMU (Phasor Measurement Units). PMU можуть встановлюватися в кожному хвильовому енергетичному парку для вимірювання його характеристик. Ця інформація може використовуватися іншими генераторами, підключеними до системи передачі електроенергії, які можуть відповідним чином коригувати параметри своїх систем керування для підтримання електроенергетичної системи в межах заданого запасу стійкості.

Висновки. 1. ХвЕС мають специфічний характер генерування електроенергії, який визначається типом хвильового енергетичного перетворювача, параметрами хвильового ресурсу та місцем розташування установки. 2. Коливальний характер потужності може негативно впливати на параметри електричної мережі, зокрема на якість електричної енергії, профіль напруги, реактивну потужність, роботу систем захисту та стійкість електроенергетичної системи. 3. Ефективна інтеграція ХвЕС до електричної мережі потребує комплексного підходу, який має поєднувати оптимальне розміщення хвильових перетворювачів, системи згладжування потужності, накопичення енергії та сучасні засоби моніторингу й керування. Забезпечення стабільної та якісної передачі електроенергії від ХвЕС до мережі визначається не лише характеристиками окремого хвильового перетворювача, а й способом формування їх групи та організацією системи керування електроенергетичною системою в цілому.

Література

1. Joao Cruz Ocean Wave Energy: Current Status and Future Prespectives. – Springer, 2008. – 431 pages.
2. O'Sullivan D. L., Lewis T. Electrical machine options in offshore floating wave energy converter turbo-generators // Proceedings of the Tenth World Renewable Energy Congress (WREC X). Glasgow, 2008. P. 1102–1107.
3. Alcorn R., O'Sullivan D., eds. Electrical Design for Ocean Wave and Tidal Energy Systems. London: The Institution of Engineering and Technology (IET), 2013. 383 p.

Issues of Wave Power Plant Interaction with the Electrical Grid

I. Biliuk, O. Savchenko, V. Liovkin, A. Rachynskyi
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The issues of interaction between wave power plants and electrical grids are considered. The characteristics of the electrical energy generated by a wave power plant are determined. The impact of power fluctuations on the quality of electrical energy in the grid is analyzed.

Keywords: wave power plant, electrical grid, electrical generator, current frequency, power.

УДК 621.3

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ СИСТЕМ

Войтасик А.М.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри електричної інженерії суднових
та роботизованих комплексів
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
andrii.voitasyk@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто особливості побудови системи моніторингу технічного стану електромереж на основі мікроконтролерних засобів. Запропоновано структуру системи, яка забезпечує безперервний контроль основних параметрів електромережі, зокрема напруги, струму, частоти, температури обладнання та споживаної потужності. Розглянуто принципи функціонування мікроконтролерного модуля збору та обробки інформації, а також передачі даних до диспетчерського пункту. Особливу увагу приділено можливості раннього виявлення аварійних режимів роботи електромережі, що сприяє підвищенню надійності електропостачання та зменшенню експлуатаційних витрат.

Ключові слова: електромережа, мікроконтролер, моніторинг

Вступна частина. Підвищення надійності функціонування сучасних систем електропостачання є пріоритетним напрямком розвитку електричної інженерії. Зростання кількості електроспоживачів, підвищення вимог до якості електричної енергії та необхідність мінімізації аварійних відключень зумовлюють потребу у впровадженні сучасних засобів контролю технічного стану електричних мереж [1]. Традиційні методи діагностування електромереж здебільшого базуються на періодичних вимірюваннях параметрів обладнання, що не завжди дозволяє своєчасно виявити початкові ознаки несправностей. Використання мікроконтролерних систем відкриває можливість реалізації безперервного моніторингу технічного стану електромереж із автоматичним аналізом отриманої інформації та оперативним інформуванням персоналу про виникнення небезпечних режимів роботи [2]. У зв'язку з цим актуальною задачею є розроблення мікроконтролерних систем моніторингу, які забезпечують збір, обробку, зберігання та передачу інформації про параметри електромережі в режимі реального часу для підвищення ефективності її експлуатації [3].

Метою роботи є розробка структури системи моніторингу технічного стану електромережі із використанням мікроконтролерних засобів, яка забезпечує безперервний контроль основних електричних параметрів, своєчасне виявлення відхилень режимів роботи та передачу інформації до системи диспетчерського керування.

Основна частина. Надійність функціонування електричних мереж залежить від великої кількості взаємопов'язаних факторів. До основних контрольованих параметрів належать величина напруги, струму, частота мережі, активна та реактивна потужність, коефіцієнт потужності, температура силового обладнання та стан комутаційної апаратури. Відхилення хоча б одного із зазначених параметрів від допустимих значень може свідчити про розвиток аварійної ситуації або поступове погіршення технічного стану електрообладнання.

Основою запропонованої системи моніторингу є мікроконтролер, який виконує функції централізованого збору та обробки інформації (рис. 1). Структура системи містить вимірювальний модуль (до складу якого входять сенсори напруги, струму, температури та модулі вимірювання частоти), блок збору сигналів для попереднього узгодження та масштабування, а також модуль інформаційного обміну. Живлення системи забезпечується від досліджуваної мережі через відповідне джерело живлення.Аналогові сигнали після відповідного масштабування надходять на аналого-цифрові перетворювачі мікроконтролера, де здійснюється їх цифрова обробка.

Алгоритм роботи системи передбачає безперервне вимірювання контрольованих параметрів, їх фільтрацію та порівняння із допустимими значеннями. За результатами аналізу формується оцінка технічного стану електромережі. У випадку перевищення встановлених порогових значень система автоматично формує повідомлення про можливу несправність та передає його оператору або до автоматизованої системи диспетчерського керування.

Використання мікроконтролерної системи моніторингу дозволяє реалізацію алгоритмів цифрової обробки сигналів без застосування складних апаратних засобів. Програмне забезпечення може здійснювати усереднення результатів вимірювань, компенсацію випадкових завад, визначення швидкості зміни контрольованих параметрів та прогнозування розвитку аварійних режимів.

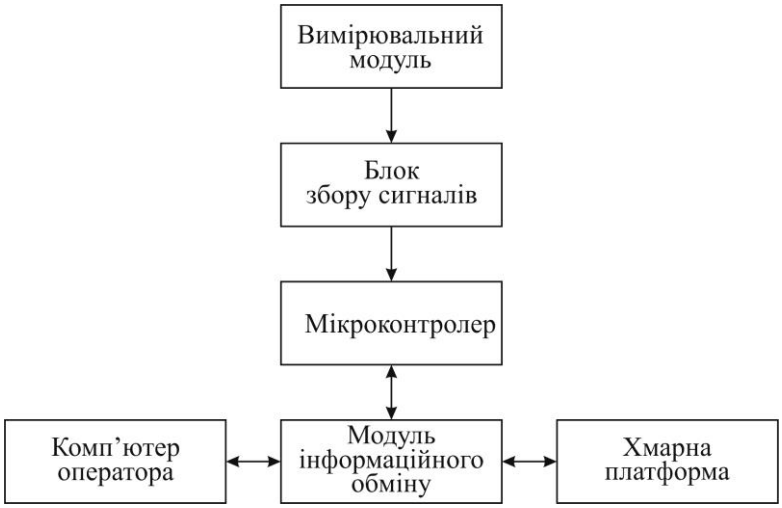


Рисунок 1 – Узагальнена структура системи моніторингу технічного стану електромережі

Передавання інформації здійснюється за допомогою промислового інтерфейсу RS-485 або бездротових технологій зв'язку через модуль інформаційного обміну на комп'ютер оператора та до хмарної платформи верхнього рівня системи для довготривалого збереження й аналізу. Можливість моніторингу параметрів електромережі дозволяє впровадити архівування результатів вимірювань. В результаті накопичення статистичних даних можливо аналізувати зміну технічного стану обладнання протягом тривалого часу, оцінювати ефективність проведених ремонтних робіт та прогнозувати терміни виникнення потенційних несправностей, що обумовлює перехід від планово-попереджувального обслуговування до обслуговування за фактичним технічним станом обладнання.

Висновки

1. Розглянуто особливості побудови системи моніторингу технічного стану електромережі на основі мікроконтролерних засобів, яка забезпечує безперервний контроль основних електричних параметрів, обробку вимірювальної інформації та своєчасне виявлення відхилень режимів роботи.
2. Запропонована структура системи моніторингу, яка дозволяє реалізувати оперативний збір, аналіз і передачу інформації про технічний стан електромережі до диспетчерського пункту, що сприяє підвищенню надійності електропостачання, скороченню часу реагування на аварійні ситуації та створює передумови для впровадження прогнозного технічного обслуговування електрообладнання.

Література

[1]. Odongo G., Musabe R., Hanyurwimfura D., Diwani A.B. An efficient lora-enabled smart fault detection and monitoring platform for the power distribution system using self-powered iot devices. *IEEE Access.* 2022. № 10. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3189002

[2]. Hafidz I., Priyadi A., Pujiantara M., Anggriawan D.O., Purnomo M.H. Development of IoT-Based Portable Power Quality Monitoring on Microgrids by Enhancing Protection Features. *IEEE Access.* 2023. № 11. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3276241

[3]. Cunha E.N., Kreutz M.E., Neto A.J.V. Development a low-cost wireless smart meter with power quality measurement for smart grid applications. *Sensors.* 2023. № 23 (16). DOI: 10.3390/s23167210

MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL NETWORKS USING MICROCONTROLLER SYSTEMS

Voitasyk Andrii Mykolayovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper examines the features of building a system for monitoring the technical condition of power grids based on microcontroller tools. The structure of the system is proposed, which provides continuous monitoring of the main parameters of the power grid, in particular voltage, current, frequency, equipment temperature and power consumption. The principles of operation of the microcontroller module for collecting and processing information, as well as transmitting data to the dispatching station, are considered. Particular attention is paid to the possibility of early detection of emergency modes of operation of the power grid, which contributes to increasing the reliability of power supply and reducing operating costs.

Keywords: power grid, microcontroller, monitoring.

УДК 629.12:629.56

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ МОРСЬКОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ВІДМОВАХ ОБЛАДНАННЯ

Волянський Ю.С.,
аспірант PhD
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
jzethar@gmail.com
Волянська Я.Б.,
доктор технічних наук, професор,
Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна
yanavolyanskaya@gmail.com
Мицик А.І.,
аспірант PhD
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
anmytsyk@gmail.com

Анотація. Розглянуто проблему підвищення відмовостійкості морських роботизованих комплексів (МРК) під час виконання місій у динамічному стохастичному середовищі. Запропоновано механізми міжплатформної ройової компенсації відмов (інформаційного заміщення та обчислювального розвантаження), що базуються на масштабуванні концепції багаторівневої передачі стійкості на міжплатформний рівень. Доведено, що використання емерджентних властивостей рою (динамічної реконфігурації та перерозподілу ресурсів) дозволяє зберегти необхідний рівень ефективності й успішно завершити місію навіть за умов деградації або виходу з ладу окремих елементів комплексу.

Ключові слова: відмовостійкість, місія, морський роботизований комплекс, ройова компенсація.

Вступна частина. Експлуатація автономних морських транспортних засобів (АМТЗ) у динамічному стохастичному середовищі неминуче супроводжується ризиками деградації технічних вузлів та відмов сенсорного обладнання. Для ізольованої платформи втрата критичних пристроїв контролю стану обладнання або навігаційних датчиків зазвичай призводить до екстреного переривання місії або переходу в критичний режим функціонування. Проте інтеграція судна до складу децентралізованої системи дозволяє розширити застосування структурно-сценарного підходу до моделювання режимів функціонування, запровадивши механізми ройової компенсації відмов [1, 2].

Метою роботи є розробка механізмів міжплатформної ройової компенсації (інформаційного заміщення та обчислювального розвантаження) для підвищення відмовостійкості автономних морських роботизованих комплексів у динамічному середовищі.

Основна частина. Концепція багаторівневої передачі стійкості, яка традиційно забезпечує компенсацію збурень між внутрішніми функціональними шарами одиничного судна, масштабується на міжплатформний (ройовий) рівень. У разі сценарної відмови обладнання на одному з агентів мережі ініціюється протокол адаптивного відмовостійкого керування [3, 4].

Ройова компенсація полягає у тому, що інформаційні або навігаційні втрати пошкодженої платформи компенсуються за рахунок надлишковості всієї системи:

– інформаційне заміщення, тут при виході з ладу локальних сенсорів просторового позиціонування, пошкоджений агент отримує екстрапольовані координати та телеметрію від сусідніх, повністю працездатних платформ;

– обчислювальне розвантаження, тут у разі часткової деградації бортових обчислювальних потужностей або енергетичних збоїв, складні задачі з оптимізації маршруту та обробки масивів даних переносяться на цифрові двійники сусідніх вузлів, які функціонують у штатному режимі.

Алгоритмічне забезпечення та інтеграція даних при компенсації є окремим і важливим завданням. Відновлення достовірного вектору стану пошкодженого агенту на основі зовнішніх даних потребує глибокої інтеграції неоднорідних інформаційних потоків. Оскільки дані, які транслюються від інших суден флотилії (рою), містять алгоритмічну та інформаційну невизначеність (через затримки в каналах зв'язку та просторове рознесення об'єктів), система управління застосовує розширені методи згладжування та просторово-часової фільтрації сигналів.

Федеративна мережа цифрових двійників генерує віртуальні (*proxy*) показники для деградованого вузла [5]. Завдяки застосуванню нечітких контролерів та механізмів самоналаштування параметрів системи, локальний автопілот пошкодженої платформи отримує змогу продовжувати стабілізацію курсу та

утримувати безпечну дистанцію ордера, спираючись виключно на синтезований інформаційний простір МРК. Саме тут затребуваною є оцінка місійної результативності та оптимізація ризиків.

Висновки. В умовах деградації окремих елементів комплексу, динамічна модель сценарної трансформації структури ризиків забезпечує глобальне перепланування місії. Система підтримки прийняття рішень адаптивно коригує параметри управління всією групою, наприклад, знижує загальну швидкість руху флотилії, змінює геометричну конфігурацію ордера для фізичного прикриття пошкодженого судна від хвильових збурень, або перерозподіляє енергоємні маневри. У результаті такої кооперації інтегральний показник ефективності експлуатації утримується на рівні, достатньому для успішного завершення місії. Результативність досягається не за рахунок виснаження локальних резервів аварійного судна, а завдяки емерджентній властивості рою – здатності до динамічної реконфігурації та передачі стійкості. Це доводить, що перехід до багатоагентної парадигми якісно підвищує експлуатаційну надійність та гарантує виконання тривалих місій навіть у критичних сценарних умовах непередбачуваного морського середовища.

Література

[1]. Flammini, F. Digital twins as runtime predictive resilience models. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physica land / F. Flammini // Engineering Sciences. – 2021. – Vol. 379 (2207). – Article 20200369.

[2]. Vychuzhanin, V. V. Integration of the dynamic state classification model into the digital twin architecture of complex technical systems / V. V. Vychuzhanin, A. V. Vychuzhanin // Informatics and Mathematical Methods in Simulation. – 2026. – Vol. 16 (2026). – № 3. – P. 439–456.

[3]. Berg, H. S. B. Digital twin syncing for autonomous surface vessels / Berg H. S. B., Menges D., Tengesdal T., Rasheed A. // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Article 9344.

[4]. Bulgakov, M. Intelligent digital twin utilization for real-time forecasting and optimization of the ship's power system / M. Bulgakov, O. Melnyk // Transport Systems and Technologies. – 2025. – Vol. 45. – P. 121–131.

[5]. Bilka, M. Digital Twin-Based Assessment and Forecasting of Marine Plate Heat Exchanger Performance Under Variable Operating Conditions / Bilka M., Gritsuk I., Holovan A., Volska O., Honcharuk I., Kohutiar M., Krbaťa M. // Machines. – 2026. – Vol. 14 (487).

ADAPTIVE CONTROL OF THE PERFORMANCE OF A MARINE ROBOTIC SYSTEM UNDER EQUIPMENT FAILURES

Volianskyi J., Mytsyk A.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine
Volianska Ya.
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. This paper addresses the problem of improving the fault tolerance of marine robotic systems (MRS) while performing missions in a dynamic stochastic environment. Mechanisms for cross-platform swarm failure compensation (information substitution and computational offloading) are proposed, based on scaling the concept of multilevel stability transfer to the cross-platform level. It is proven that the use of swarm emergent properties (dynamic reconfiguration and resource redistribution) allows maintaining the required level of efficiency and successfully completing the mission even under conditions of degradation or failure of individual system components.

Keywords: fault tolerance, mission, marine robotic system, swarm compensation.

УДК 621.314

ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ З БАГАТОГРАННИМИ УТВОРЮЮЧИМИ КОНТУРАМИ

Ставинський Р.А.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри суднових електроенергетичних систем,
rostyslav.stavynskyi@nuos.edu.ua
Савченко О.В.,
PhD, доцент кафедри автоматики.
savchenko1984@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Показано можливість підвищення електромагнітної стійкості обмоток трансформаторів зі зниженими питомою та технологічною матеріалоємністю на основі використання нетрадиційних електромагнітних систем з багатогранними утворюючими контурами.

Ключові слова: трансформатор, електромагнітна система, електрична міцність, стійкість короткого замикання.

В останні роки основним напрямком розвитку трансформаторобудування є комплексне енергоресурсозбереження, у межах якого значно збільшилася інтерес до просторових електромагнітних систем (ЕМС) [1]. Вказані системи існували з самого початку виробництва статичних електромагнітних пристрої, однак завдяки більш складної конструкції і технології виробництва отримали менше розповсюдження порівняно з планарними конструкціями, наприклад, стрижневими. Перевагою деяких просторових ЕМС є менші масогабаритні показники та відповідно більша компактність [2].

Перевагами планарних ЕМС з паралельними утворюючими контурами (УК) є можливість збирання магнітопроводів з пластин електротехнічної сталі (ЕТС) однакової ширини і максимальні заповнення обмоткових вікон і внутрішніх контурів котушок відповідно фазними витками і ЕТС стрижнів. Суттєвим недоліком вказаних ЕМС являється знижена електрична міцність ізоляції у місцях згинання провідників на 90° і невисока стійкість короткого замикання (СКЗ) обмотки. Кільцева форма котушок ЕМС з циліндричними УК при мінімальної середньої довжині витка суттєво ускладнює технологію виробництва магнітопроводів, так як круговий утворюючих контур стрижня заповнюється пакетами листів ЕТС різноманітної ширини. Також деформації вигину, що виникають при намотуванні кільцевих витків котушок призводять до значного зниження жорсткості і СКЗ обмотки.

Підвищення СКЗ обмоток трансформаторів можливо заміною традиційних УК на багатоплощинні як в планарних ЕСМ (рис. 1, а), так і в варіантах просторових ЕМС (рис. 1, б, рис. 1, в).

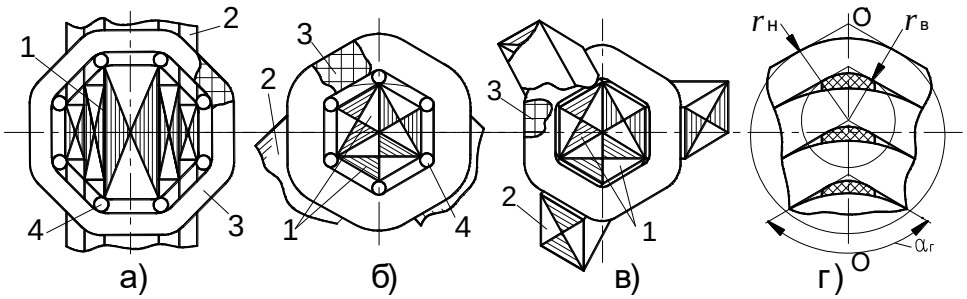


Рисунок 1 – Конструктивні схеми (в поперечному перерізі) варіантів електромагнітних систем з планарним (а), просторовим стиковим (б) і просторовим броневим (в) магнітопроводами, а також особливості конструкції обмотки (г) з багатогранними утворюючими контурами

В ЕМС з багатоплощинними УК контури виткових котушок обмоток и перерізів стрижнів магнітопроводів утворені прямими лініями [2]. Ці лінії перетинаються під тупими кутами $\alpha_г$ (рис. 1, г). В технічних рішеннях ЕМС (рис. 1) зона деформації ізоляції при вигинанні провідника на $\alpha_г \geq 120^\circ$ знижується відносно аналогічної зони вигинання с $\alpha_г = 90^\circ$ провідників обмоток планарних ЕМС з паралельними УК. Також усуваються (виникаючі по всій довжині витків ЕМС з циліндричними УК)

деформації вигинання і остаткові механічні напруження волокон провідників на прямих ділянках витків, які відповідають сторонам $n \geq 6$ -гранника. В конструкціях (рис. 1) можливі пошкодження ізоляції і зони деформації провідників концентруються в місцях вигинання витків на осях ОО' вершин багатогранника (рис. 1, г). Однак в цих зонах електрична і механічна міцність котушок підсилюється опорно-ізоляційними елементами. Для максимального підвищення електричної міцності і СКЗ обмотки прошивні рейки повинні виконувати з формою поперечного перерізу, яка відповідає внутрішньому $r_{в}$ і зовнішньому $r_{н}$ радіусам скруглення витків.

Окрім підвищення СКЗ обмоток представлені структури ЕМС (рис. 1) мають інші переваги, а саме зменшення числа типорозмірів листів ЕТС стрижнів в планарних магнітопроводах або забезпечення виконання стрижнів стикових і просторових магнітопроводах з ідентичних листів ЕТС, а також можливості зниження основних втрат і матеріалоємності трансформаторів. В стрижні (рис. 1, а) утвореному симетричним восьмигранником з співвідношенням сторін, що складає 1,3, забезпечується контурний коефіцієнт заповнення $K_{к} \approx 0,93$ з використанням усього трьох розмірів ширини листів ЕТС. В традиційному кільцевому контурі таких високий коефіцієнт заповнення створюється 15 – 16 пакетами ЕТС різноманітної ширини в половині кола. В стрижнях (рис. 1, б і в) з рівносторонніми шестигранними УК величина $K_{к} = 0,995...0,999$.

За допомогою шестигранних контурів котушок обмоток і стрижнів магнітопроводів (рис. 1, б) можливо удосконалення трифазних статичних індукційних пристроїв з варіантами просторових стикових комбінованих (шихтовані стрижні, навиті ярма) і трифазних навитих двоконтурних магнітопроводів. Крім того, можливо удосконалення однофазних трансформаторів на основі броневих навитих або шихтованих магнітопроводів, а також трифазних трансформаторів на основі броневих шихтованих магнітопроводів конфігурації (рис. 1, в).

В цілому структурні перетворення ЕМС на основі багатогранних УК створюють нові можливості удосконалення трансформаторів різноманітного призначення. Доцільні постановка та вирішення комплексу задач структурної оптимізації і практичних розробок вказаних ЕМС.

Висновок. Таким чином, на основі викладеного можна зробити висновок, що використання просторової ЕМС з багатогранними утворюючими контурами дозволяє, окрім зниження масогабаритних показників, підвищити електродинамічну стійкість обмоток.

Література

[1]. Ставинский А.А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики // Електротехніка і електромеханіка. – 2004. – № 1.– С. 56 – 61.

[2]. Ставинський Р.А. Особливості конструкції, технології та електромагнетних процесів трифазних трансформаторів малої потужності з просторовим магнетопровідом // Технічні вісті. – 2000. – № 1 (10), 2 (11). – С. 107–108.

ENHANCING THE ELECTRODYNAMIC STABILITY OF TRANSFORMER WINDINGS USING ELECTROMAGNETIC SYSTEMS WITH POLYGONAL GENERATING CONTOURS

Stavynskyi Rostislav, Savchenko Oleh

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The possibility of enhancing the electromagnetic stability of transformer windings characterized by reduced specific and manufacturing material intensity is demonstrated through the use of unconventional electromagnetic systems featuring polygonal generating contours.

Keywords: transformer, electromagnetic system, dielectric strength, short-circuit withstand capability.

УДК 537.6

ПЕРЕХОД ВІД ПРОСТОРОВИХ ДО ПЛОЩІННИХ ПОЛЬОВИХ ЗАДАЧ

Шарейко Д.Ю.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики
dshareyko.mk@gmail.com
Тодосієнко А.М.,
Аспірант кафедри автоматики
atodosienko123@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Пропонується зменшення числових масивів у розв'язку інтегральних рівнянь задач магнітометрії. Розгляд задач із застосуванням потенціалів простого та подвійного шару потребує багатовимірних масивів і як наслідок пам'яті у обчислювальної техніці. В подібних задачах доцільно переходити від просторових задач до задач на площині. Це значно зменшить вимоги щодо машинної пам'яті та скоротить час розрахунків.

Ключові слова: математична модель, феромагнітний об'єкт, потенціал простого шару, потенціал подвійного шару, вторинні джерела, магнітне поле, векторне поле, скалярне поле, індукція, замкнений контур, вимірювальна сітка.

У основі методів магнітометрії лежить можливість апроксимувати магнітне поле феромагнітних порід або локальних об'єктів за деякими апріорі обраними системами функцій, які прямо або не посередньо характеризують розподіл відповідних магнітних збурюючих джерел. При цьому самі джерела в принципі можуть бути фіктивними, а основна вимога полягає у забезпеченні належної точності апроксимації поля. У магнітометрії моделювання головного і аномального магнітного поля Землі і магнітного поля локальних об'єктів (затонулих кораблів, трубопроводу і т. д.) поділяються на три класи [1]: дипольний аналіз, мультипольний аналіз та сферичний гармонічний аналіз (СГА). Особливу значимість ці моделі набули в останнє десятиліття в зв'язку з інтенсивним розвитком методів обробки вимірювань на ЕОМ, створення автоматизованих банків і баз даних, що прийшли на зміну традиційним способам представлення інформації у формі каталогів і світових магнітних карт. Дипольний аналіз – апроксимація аномального магнітного поля Землі або магнітного поля локальних об'єктів, полями центрального та кінцевого числа ексцентричних диполів – в геометричному відношенні найбільш наочний і дозволяє ототожнювати магнітні збурюючи джерела з полями кільцевих струмів, які при відповідному виборі параметрів мало відрізняються від дипольних полів. Зазвичай використовуються моделі, що містять обмежене число ексцентричних диполів [2–5].

Мультипольний аналіз заснований на поданні магнітного поля феромагнітних порід або локальних об'єктів сукупністю диполя, квадруполя, октуполя і мультиполів більш високих порядків. В аналітичних моделях головного магнітного поля мультипольний аналіз застосовується головним чином для вивчення SV-варіацій. Це відтворюється у формі поворотів осей мультиполів і змін їх моментів. Синтез мультипольних моделей здійснюється на основі моделей СГА – найбільш універсального і зручного з практичної точки зору методу апроксимації головного магнітного поля. В основі СГА лежить можливість представлення рішення рівняння Лапласа, що переписано в сферичних координатах, до виду розкладання за сферичними функціями. У розрахунках задача приводить до лінійних рівнянь відносно коефіцієнтів та розв'язується методом найменших квадратів, або інтегральними методами, заснованими на властивості ортогональності сферичних функцій. В сучасних моделях СГА статистично значущими є перші 8-12 членів сферичного гармонічного ряду. Різниця в кількості та якості вихідного експериментального матеріалу, різна довжина синтезованих рядів, а також неоднакова методика розрахунку призводить до великого розкиду значень коефіцієнтів для сучасних моделей СГА. Між тим потреби практичної магнітометрії вимагають використання уніфікованої моделі головного магнітного поля, що забезпечує сумісність результатів супутникових, аеромагнітних і морських магнітних зйомок. Отже потрібно створити математичну модель за допомогою якої можна значно зменшувати обчислювальні масиви. Це в свою чергу призведе до суттєвого скорочення машинного часу. Для обмеженої сітки вимірів справедливо:

$$div\,\vec{B} = 0,$$

або

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0, \qquad (1)$$

де B_x, B_y, B_z проекції вектора B на відповідний осі декартової системи координат. Оскільки вихідними даними є розподіл індукції, на необмеженій сітці в площині ХОУ, має сенс для зручності і простоти

розрахунку перейти від просторової задачі до площинної. Це дозволить не лише зберегти машинну пам'ять, а і значно скоротити час обчислень[6]. Тоді:

$$div\ \vec{B}_n = \rho,$$

де $\vec{B}_n$ – магнітна індукція в площині ХОУ, ρ- поверхнева густина заряду вторинних джерел, у вузлах сітки.

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} = \rho,$$

де B_x, B_y – проекції вектора $\vec{B}_n$ на відповідні осі декартової системи координат.

Запишемо (1) у вигляді:

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} = -\frac{\partial B_z}{\partial z}.$$

У роботі [6] доведено, що $-\frac{\partial B_z}{\partial z} = \rho$.

Використання цього зв'язку між просторовими й площинними задачами дозволяє досягти наступних результатів:

1. Значно зменшити масиви коефіцієнтів у інтегральних рівняннях складених відносно потенціалів простого та подвійного шару зарядів;
2. Прискорити час розрахунків;
3. Як наслідок зменшити вимоги щодо машинної пам'яті.

Література

[1] Gordin V.M. Marine magnetometry / V. M. Gordin, E. N. Rose, B. D. Uglov. – M.: Nedra, 1986. 231p.

[2] Demirchan K.S., Chechurin V.L. Machine calculations of electromagnetic fields. – M .: Higher school, 1986. – 239p.

[3] Stratton J. A. Theory of electromagnetism. OGIZ // State Publishing House of Technical and Theoretical References. – ML, 1948. – 540 p.

[4] Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. Equations of mathematical physics. –M.: Nauka, 1972. –735p.

[5] Tozoni O.V., Maergois M.D. Calculation of three-dimensional electromagnetic fields. – K: Tehnika, 1974.– 352p.

[6]. Шарейко Д. Ю., Тодосієнко А. М., Мардзявко В. А. & Руденко, А. Ю. Зменшення числових масивів у розрахунках задач магнітометрії. Методи та прилади контролю якості, 1 (56), 23–32. doi: 10.31471/1993-9981-2026-1 (56)-23-32, https://mpky.nung.edu.ua/index.php/mpky/article/view/756/697

TRANSITION FROM SPATIAL TO PLANAR FIELD PROBLEMS

Shareiko D. Yu., Todosiienko A. M.

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine

A method is proposed to reduce the size of numerical arrays when solving integral equations for magnetometry problems. Addressing problems that involve single- and double-layer potentials requires multidimensional arrays, thereby placing significant demands on computer memory. In such cases, it is advantageous to reformulate spatial problems as planar ones; this approach substantially reduces memory requirements and shortens computation time.

Keywords: mathematical model, ferromagnetic object, simple layer potential, double layer potential, secondary sources, magnetic field, vector field, scalar field, induction, closed loop, measuring grid.

УДК 62-752

ДОСЛІЖДЕННЯ ДВОХКАСКАДНОЇ СИСТЕМИ ВІБРОІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ

Шарейко Д.Ю.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики
dshareyko.mk@gmail.com
Карпов В.Д.,
аспірант кафедри автоматики,
moryak.prod@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Наведено результати дослідження двокаскадної системи віброізоляції електричної машини. А саме вплив маси проміжної платформи на ефективність віброізоляції. Встановлено, що масу та габаритні розміри її обирають згідно вимог розташування її у комірках судна та з урахуванням міцності устаткування.

Ключові слова: віброізоляція, електрична машина, проміжна платформа, жорсткість підвісу, маса об'єкту, вібрація, резонанс.

З аналізу вібрацій суднових електричних машин випливає, що вібрації виникають завдяки резонансним режимам, на які впливають знос елементів обладнання та системи допусків та посадок котрі використовують у виробництві [1-5]. Об'єкт дослідження – віброізольована структура електричної машини яка дозволить усунути резонансні режими та позбутися небезпечної вібрації. Аналіз літератури вказує, що основна гармоніка вібрацій виникає на частоті обертів незбалансованих мас [2]. Впливати на зсув резонансних режимів можливо у два способи. Перший – змінювати маси об'єктів, другий – змінювати жорсткість підвіску. Маси об'єктів, та масу фундаменту на суднах змінювати неможливо. Є єдиний спосіб – змінювати жорсткість підвіску. Проте і тут виникають проблеми, які пов'язані з статичною просадкою віброізоляторів. Тому у низці випадків рекомендована двокаскадна система віброізоляції. Де об'єкт встановлюється не безпосередньо на фундаменті, а на проміжної платформі. Природно у цієї структурі також е переваги і недоліки. Один з недоліків це масогабаритні показники. Проте навіть на підводних човнах, де місце розташування об'єктів дуже обмежене головна енергетична установка розташована у двокаскадній системі віброізоляції. Розрахунки проводяться на основі принципу роботи двокакскадної віброізоляції електричної машини 5АМН 200 L4 ОМ5, рис. 1.

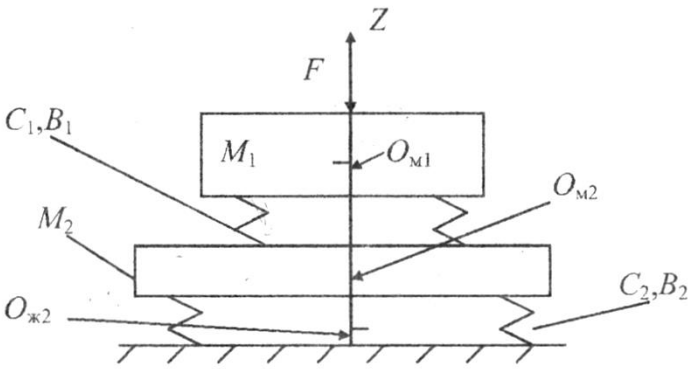


Рисунок 1– Динамічна модель двокаскадної віброізоляції

Запишемо рівняння руху що описуютьдинамічну структуру наведену на рис. 1.

$$M_1 \frac{d^2 \cdot Z_1}{dt} + B_1(\frac{dZ_1}{dt} - \frac{dZ_2}{dt}) + C_1(Z_1 - Z_2) = f(t)\,,$$

$$M_2 \frac{d^2 \cdot Z_2}{dt} + B_2 \frac{dZ_2}{dt} + C_2 Z_2 + B_1(\frac{dZ_2}{dt} - \frac{dZ_1}{dt}) + C_1(Z_2 - Z_1) = 0\,.$$

Після перетворення за Лапласом й групування коефіцієнтів одержимо:

$$Z_1(M_1 p^2 + B_1 p + C_1) - Z_2(B_1 p + C_1) = F\,,$$

$$Z_2(M_2 p^2 + B_\Sigma p + C_\Sigma) - Z_1(B_1 p + C_1) = 0,$$

де C_1 та C_2. – жорсткості пружного зв'язку; $C_\Sigma = C_1 + C_2$; M_1 – маса робочого органа вібростолу з максимальним навантаженням; M_2 – маса проміжної платформи; $\xi = 0.1$ – безрозмірний коефіцієнт демпфірування пружнього зв'язку; $\omega_{0i} = \sqrt{\frac{C_i}{M_i}}$ – парціальна частота; $B_i = 2 \cdot \xi \cdot M_i \cdot \omega_{0i}$; $B_\Sigma = B_1 + B_2$.

Є багато робот які присвячені вибору параметрів двокаскадної системи віброізоляції машин та механізмів, розрахунку її віброакустичних характеристик. Існують поради для вибору маси проміжної платформи, яка має бути не більше за 20 % маси об'єкту захисту. Проте немає чіткого обґрунтування цього вибору. Для дослідження цього питання отримуємо просторові характеристики у середовищі MathCad. Результати викладені у виді просторових графіків де до висей амплітуди та частоти додається вісь маси проміжної платформи M (рис. 3). З рисунка видно, що маса проміжної платформи не впливає суттєво на амплітудно-частотні характеристики пружного підвіску двигуна. Порада брати її масу не більше 20 % від маси об'єкту скоріше випливає з компромісного розв'язку питань міцності та габаритів.

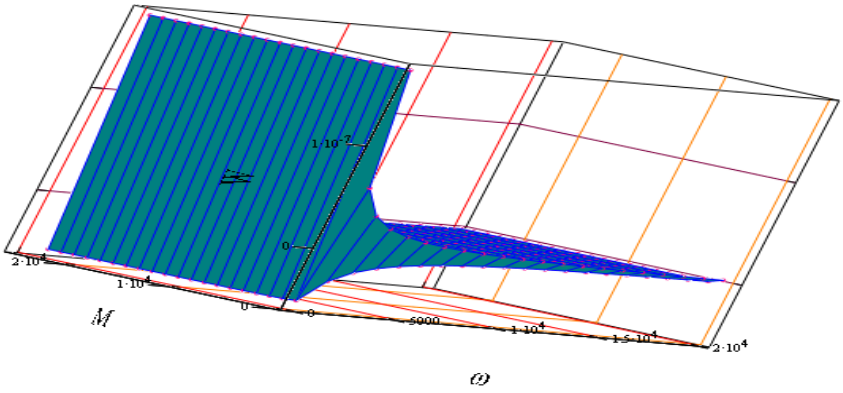


Рисунок 2– Поверхні залежностей амплітудно-частотних характеристик підвіску двигуна від маси проміжної платформи

Проведені дослідження дозволяють стверждувати, що маса проміжної платформи обирається проєктувальником виходячи з початкових умов розташування машин і механізмів у комірках судна.

Література

[1] Шарейко, Д. Ю. Комплектні електроприводи у вібромашині / Д. Ю. Шарейко, В. Д. Карпов, О. А. Єжова // Scientific Collection "InterConf+», 65 (279): with the Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "Scientific Trends and Trends in the Context of Globalization" (January 19-20, 2026; Umeå, Kingdom of Sweden) / comp. by LLC SPC "InterConf". Umeå: Mondial, 2026. – Pp. 142–163. DOI 10.51582/interconf.19-20.01.2026.013,https://archive.interconf.center/index.php/2709-4685/article/view/7377

[2] Гуров А. П. Вібродіагностика [Текст] : навч. посібник / А. П. Гуров, Д. Ю. Шарейко ; Український держ. морський технічний ун-т ім. адмірала Макарова. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 11 с.: рис. – Бібліогр.: с. 114

[3] Chang, J. Dynamic response prediction of rolling stays / J. Chang, W. Wang, R. Shyu,W. Yeih // Journal of the Society of Naval Arhitects and Marine Engineers. –2017.–V.16. – № 4. –P.51–61.

[5] Fisher, G. Von HaupmotorerregtsSchiffsschwinungen / G. Fisher // Schiff und Hafen. – 2018, – 29. – № 12. – P.1129–1132.

[5]. Ochi, Y. Prevention of Engine Room Vibration and Engine Room Bottom. Report 1 / OchiY., K. Tanida, R.Fujii // Ishikawajima-Harima Eng. Rev. – 2018. – V.16. № 6. – P. 655–666.

ADVANCED DOUBLE-STAGE SYSTEM OF VIBRATION INSULATION ELECTRICAL MACHINE

Shareiko D. Yu., Karpov V. D.

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine

The results of the investigation of the double-stage vibration insulation system of an electrical machine have been reported. And the infusion of the mass of the intermediate platform on the effectiveness of vibration insulation. It has been established that the mass and overall dimensions can be easily accommodated in the compartments of the vessel and according to the installation requirements.

Keywords: vibration insulation, electric machine, intermediate platform, suspension stiffness, object weight, vibration, resonance.

УДК 681.5

ЕЛЕКТРОПРИВОД З НЕЛІНІЙНИМ КОРИГУВАЛЬНИМ СИГНАЛОМ

Шарейко Д.Ю.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики
dshareyko.mk@gmail.com
Єжова О.А.,
фахівець 1 категорії кафедри автоматики
olena.didenko@nuos.edu.ua
Національний університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Наведено результати динамічного синтезу електроприводів перемиканням сигналів. Лінеаризацію здійснено за допомогою методу гармонійної лінеаризації. Висновки зроблено на підставі отриманих залежностей між динамічними коефіцієнтами електропривода та показниками якості системи керування.

Ключові слова: гармонійна лінеаризація, перемикання сигналів, корегуючий сигнал, нелінійна ланка, стала часу, коефіцієнт передачі.

Коефіцієнти гармонійної лінеалізаціі нелінійності яка формує нелінійні перемикаючі сигнали типу $[0_{\psi_1}^{\psi_2}]$ і $[-1_{\psi_1}^{\psi_2}]$:

$$q = 1 - \frac{2\psi}{\pi} + \frac{1}{\pi}\sin 2\psi \quad q' = \frac{2}{\pi} - \frac{2}{\pi}\sin 2\psi ,$$

де $\boldsymbol{\psi}$=arctgω$T_д$, а $T_д$ –стала часу виконавчого двигуна.

Задаючись різними значеннями знаходимо залежності q=f_1(ω) і q'=f_2(ω) (рисунок 1).

Порівнюючи залежності q=f(ω) і q'=f(ω) для випадків корегуючих сигналів типу $[0_{\psi_1}^{\psi_2}]$ і $[-1_{\psi_1}^{\psi_2}]$ бачимо, що при корегуючому сигналі $[-1_{\psi_1}^{\psi_2}]$ з зростанням частоти ω q(ω) зменшується більш різко; але q(ω) являє собою коефіцієнт передачі нелінійної ланки, отже, у другому випадку буде більша розбіжність між коефіцієнтами передачі розімкнутої системи і більш різке приборкання коливань. У той же час при коригуючому сигналі $[0_{\psi_1}^{\psi_2}]$ Коефіцієнт q'=f(ω) має в два рази більше значення, ніж при коригуючому сигналі $[-1_{\psi_1}^{\psi_2}]$ отже, і вплив похідної в законі регулювання буде більше. Так як амплітудно-фазова характеристика нелінійної ланки не виходить за межі першого квадранта комплексної площини (q'(ω)> 0), передавальну функцію ланки необхідно представивши у вигляді:

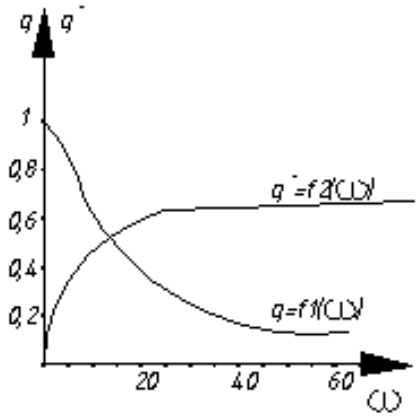


Рисунок 1– Залежності q=f_1(ω) і q'=f_2(ω)

$$W(p) = q(\omega) + \frac{q'(\omega)}{\omega} p = q(\omega)\left(1 + \frac{q'(p)}{\omega q(\omega)} p\right) = k_э(1 + r_э p),$$

де $k_э$=q(ω); $r_э = \dfrac{q'(\omega)}{\omega q(\omega)}$.

Визначимо залежність $r_э$ = f(ω) для обох випадків (рисунок 2) з порівняння кривих $r_э$ = f(ω) при коригувальних сигналах $[0_{\psi_1}^{\psi_2}]$ та $[-1_{\psi_1}^{\psi_2}]$ видно, що при сигналі $[0_{\psi_1}^{\psi_2}]$ з збільшенням частоти ω еквівалентний коефіцієнт передачі по першій похідній $r_э$ спочатку різко зростає, а потім починає зменшуватися. У той же час $r_э$ при коригуючому сігналі $[-1_{\psi_1}^{\psi_2}]$ із збільшенням частоти спочатку зростає, а потім залишається постійним і в три рази перевищує значення $r_э$ при коригуючому сигналі $[0_{\psi_1}^{\psi_2}]$.

Таким чином, введення коригуючого сигналу $[-1_{\psi_1}^{\psi_2}]$ дає більший ефект, ніж введення коригуючого сигналу $[0_{\psi_1}^{\psi_2}]$. Для оцінки параметрів системи з нелінійною корекцією побідуємо перехідну характеристику (рис. 3), де $Q_{вих}$– кут оберту електропривода, t–час регулювання. Залежності систем лінійної і нелінійної корекції від коефіцієнту зворотнього зв'язку наведені на рис. 4 [1, 2].

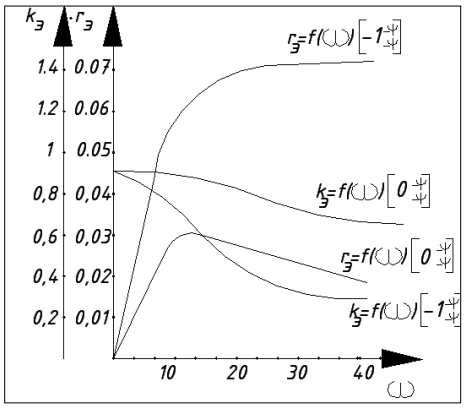


Рисунок 2 – Залежності $r_э = f(\omega)$ при різних типах корегуючих сигналів

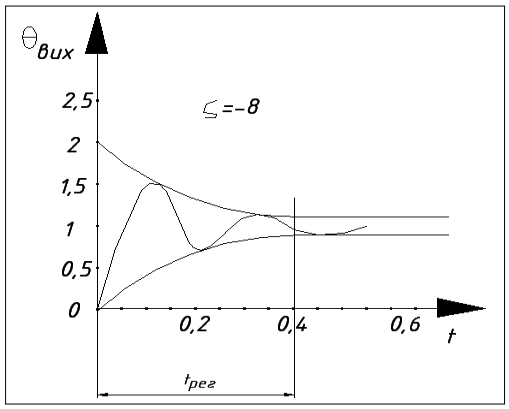


Рисунок 3– Перехідна характеристика системи з нелінійною корекцією

Розглядаючи результати проведеного аналізу конкретної системи можна зробити висновки:

1.Застосування одного коригуючого сигналу типу $[0^{\psi_2}_{\psi_1}]$ не дозволяє отримати істотного виграшу по відношенню до лінійної корекції зворотного зв'язку за швидкістю.

2. Застосування спільної лінійної і нелінійної корекції при коригуючому сигналі $[0^{\psi_2}_{\psi_1}]$. дозволяє зменшити синусну і швидкісну помилки в порівнянні з лінійною системою, приблизно, вдвічі.

3. Застосування спільної лінійної і нелінійної корекції при коригуючому сигналі $[-1^{\psi_2}_{\psi_1}]$ дозволяє зменшити синусну і швидкісну помилки в порівнянні з лінійною системою при однаковій якості перехідного процесу на 2-3 порядки (синусну на 2 порядки, швидкісну – на 3).

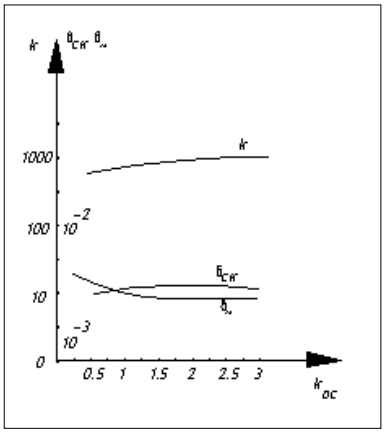


Рисунок 4 – Залежності систем нелінійної корекції від коефіцієнту зворотнього зв'язку

Література

[1] Шарейко, Д. Ю. Комплектні електроприводи у вібромашині / Д. Ю. Шарейко, В. Д. Карпов, О. А. Єжова // Scientific Collection "InterConf+», 65 (279): with the Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "Scientific Trends and Trends in the Context of Globalization" (January 19–20, 2026; Umeå, Kingdom of Sweden) / comp. by LLC SPC "InterConf". Umeå: Mondial, 2026. – Pp. 142–163. DOI 10.51582/interconf.19-20.01.2026.013,https://archive.interconf.center/index.php/2709-4685/article/view/7377

[2] Савченко О. В. Оптимізація систем автоматичного керування електроприводом постійного струму із використанням нелінійних коригувальних пристроїв / О. В. Савченко, Д. Ю. Шарейко, І. С. Білюк, В. А. Мардзявко // «Електротехніка та електроенергетика» № 4 (2025) – С. 21–30. DOI: https://doi.org/10.15588/1607-6761-2025-4-3

ELECTRIC DRIVE WITH A NON-LINEAR CORRECTIVE SIGNAL

Shareiko D. Yu. Yezhova O. A.

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine

The results of the dynamic synthesis of electric drives via signal switching are presented. Linearization was performed using the harmonic linearization method. Conclusions are drawn based on the established relationships between the electric drive's dynamic coefficients and the control system's performance indicators.

Keywords: harmonious linearization, signal re-micking, adjusting signal, non-linear line, time, transmission coefficient.

УДК 681.5

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСА БАГАТООПОРНОЇ ДОЩУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Білюк І.С.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики,
Савченко О.В.,
PhD, доцент кафедри автоматики.
savchenko1984@gmail.com
Іванов А.В.,
PhD, асистент кафедри автоматики,
Козлов А.Ю.,
PhD, асистент кафедри автоматики
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розглянуто особливості застосування багатоопорних дощувальних машин у системах зрошувального землеробства. Проаналізовано основні способи переміщення машин, принципи синхронізації колісних опор та стабілізації напряму руху. Розглянуто типи приводів, що застосовуються, та обґрунтовано перспективність використання регульованого електроприводу. Показано необхідність модернізації систем керування електроприводом, спрямованої на підвищення якості регулювання, надійності та довговічності роботи дощувальної машини.

Ключові слова: автоматизований електропривод, керуюча програма, моделювання, дощувальна машина, система керування, автоматизація.

Багатоопорні дощувальні машини широко застосовуються у різних зонах зрошуваного землеробства щодо переважно вегетаційних поливів сільськогосподарських культур. Крім безпосередньо зрошення, вони можуть використовуватися для внесення мінеральних та органічних добрив із поливною водою, а також при виконанні окремих заходів щодо захисту рослин від шкідників [1]. Найбільш ефективне застосування таких машин на ділянках з вирівняним або слабохвилястим рельєфом, що не потребує капітального планування території.

Удосконалення дощувальних машин обумовлює необхідність модернізації електроприводу насосного агрегату, що забезпечує подачу води з потрібними параметрами. Застосування сучасного асинхронного двигуна та перетворювача частоти дозволяє забезпечити регульований режим роботи насоса, покращити динамічні характеристики електроприводу та підвищити якість керування. В результаті модернізації підвищуються надійність та енергоефективність насосної установки, а також ефективність експлуатації дощувальної машини загалом.

Потужність базового електронасосу БШМ 50 складає 0,55 кВт, число обертів 1000 об/хв, робочий тиск 2 кгс/см2. Такий насос працює на змінному струмі і забезпечує номінальну продуктивність 50 л/хв. Обираємо електронасос НД1,0 160/25 Д14А потужністю 0,55 кВт.

За номінальними даними двигуна, оберемо перетворювач частоти MOELER (380 В, 0,75 кВт, 3,3 А) серії M-MAX. Перетворювачі частоти даної серії забезпечують економічне рішення для деяких застосувань, пов’язаних з насосами. Інтегрований ПІ регулятор і функції захисту двигуна забезпечують високий рівень експлуатаційної надійності та істотну економію електроенергії у підключених процесах.

Скалярний принцип частотного керування є найпоширенішим в асинхронному електроприводі [2,3]. Йому властива технічна простота виміру й регулювання змінних асинхронного двигуна, а також можливість побудови розімкнутих систем керування швидкістю. Система частотно-керованого електропривода нелінійна, тому аналітичний розрахунок регуляторів може бути виконаний досить наближено.

Після розрахунку параметрів елементів було отримано результати, які наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку структурної схеми

$M_к$	β	$T_м$	$k_{ПЧ}$	T_{02}	T_{01}	$T_{РШ}$	$k_{РШ}$	$T_μ$
12,63	0,774	0,015	30	0,091	0,091	1,311	0,294	0,092

Підставивши отримані дані розрахунку, було отримано характеристики[4], які показано на рис. 1.

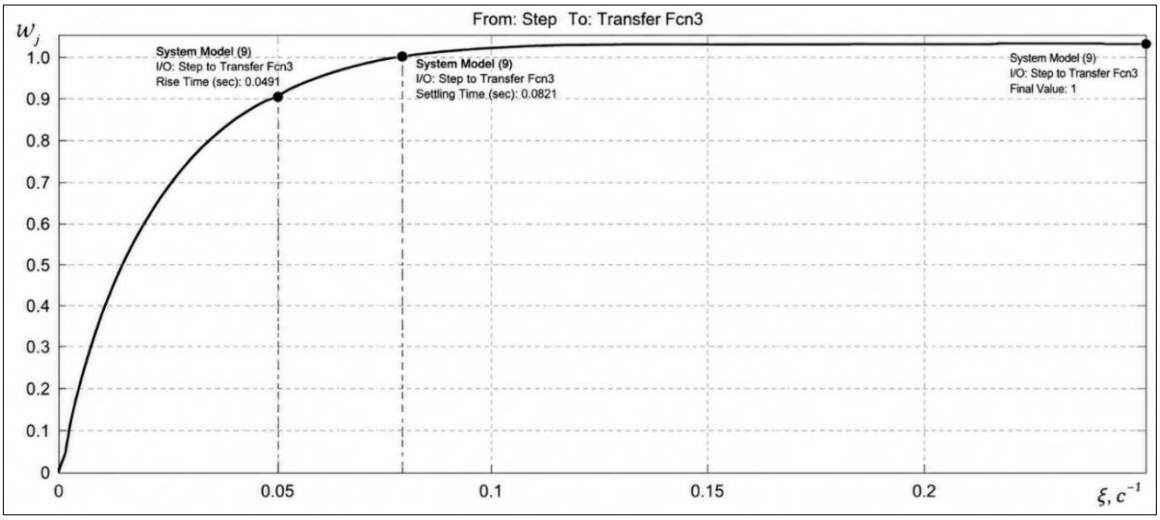


Рисунок 1 – Графік перехідного процесу за швидкістю при $k_{\text{РШ}} = 0.294$

З графіка перехідної характеристики видно, що перехідний процес має аперіодичний характер з наступними показниками:

– Перерегулювання 0 %;
– Час наростання 0.05 с;
– Час перехідного процесу 0.2 с.

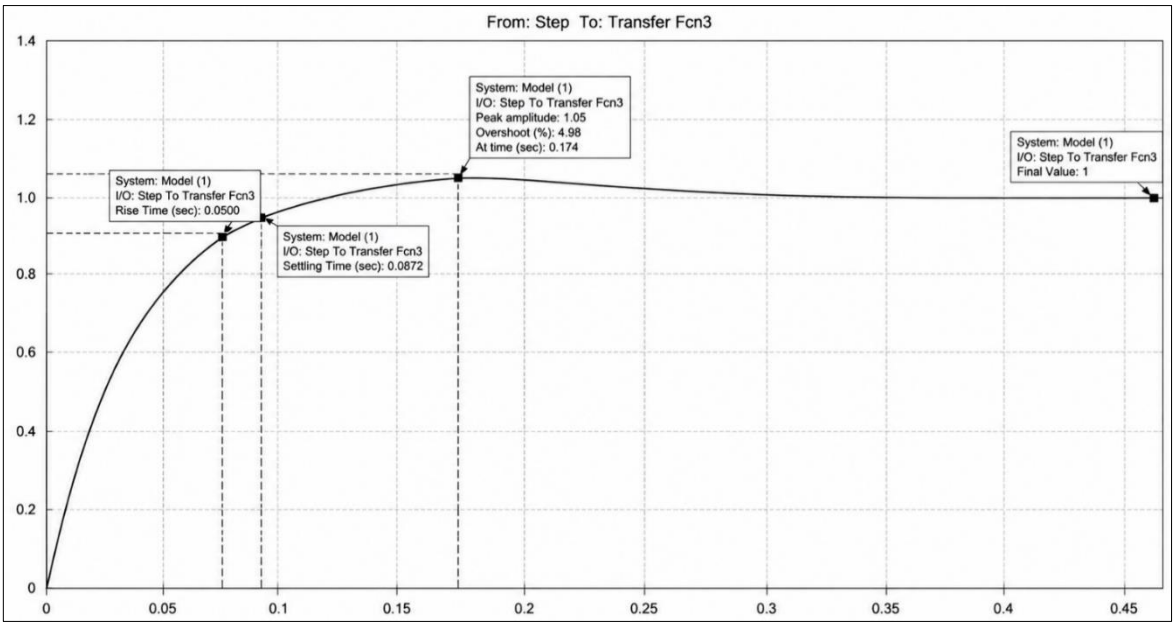


Рисунок 2 – Графік перехідного процесу за швидкістю при $k_{\text{РШ}} = 0.15$

Розглянемо вплив зміни коефіцієнта підсилення регулятора швидкості на характер перехідного процесу системи. Для дослідження приймемо значення коефіцієнта $k_{\text{РШ}} = 0.15$. Отриману в результаті моделювання перехідну характеристику за швидкістю наведено на рис. 2.

Аналіз графіка показує, що перехідний процес має слабко коливальний характер із незначним перерегулюванням. Основні показники якості регулювання становлять:

– Перерегулювання 4.65 %;
– Час наростання 0.08 с;
– Час перехідного процесу 0.4 с.

Порівняння перехідних характеристик за різних значень коефіцієнта $k_{\text{РШ}}$ свідчить, що його зміна суттєво впливає на динамічні властивості системи, зокрема на час наростання та встановлення, тривалість перехідного процесу і величину перерегулювання.

За результатами моделювання встановлено, що при $k_{\text{РШ}} = 0.294$ система ПЧ–АД демонструє більш сприятливий характер перехідного процесу та кращі показники якості регулювання порівняно з варіантом $k_{\text{РШ}} = 0.15$.

Висновок. У роботі виконано модернізацію електроприводу насоса багатоопорної дощувальної машини із застосуванням частотного скалярного регулювання. Розроблено математичну модель системи електроприводу та проведено дослідження її динамічних характеристик.

За результатами моделювання встановлено, що система має високі показники якості регулювання: перерегулювання становить 0 %, час наростання – 0,05 с, а тривалість перехідного процесу – 0,2 с. Отримані результати свідчать про достатню швидкодію, стійкість та якість регулювання електроприводу.

Застосування асинхронного двигуна з перетворювачем частоти забезпечує плавне регулювання швидкості та покращення динамічних характеристик системи. Таким чином, запропонована модернізація електроприводу дощувальної машини технічно обґрунтована та доцільна.

Література

[1]. Уманський національний університет садівництва. (б. д.). Методичні рекомендації з сільськогосподарських машин: Дощувальна машина ДКШ-64 «Волжанка».

[2]. Master-A. (б. д.). Перетворювач частоти MMX34AA2D4F0-0 (скалярний/векторний), 0,75 кВт, 3-ф, 380 В Moeller. Master-A.

[3]. Білюк, І. С., Шарейко, Д. Ю., Фоменко, А. М., & Савченко, О. В. (2018). Комплектні електроприводи.

[4]. Білюк, І. С., Савченко, О. В., Васильєв, О. Г., Бугрім, Л. І., & Перевозчиков, П. К. (2024). Автоматизований електропривод насоса для охолодження води. AT International.

AUTOMATED ELECTRIC DRIVE FOR A MULTI-SUPPORT SPRINKLER MACHINE PUMP

I. Biliuk, O. Savchenko, A. Ivanov, A. Kozlov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper examines the specifics of using multi-span sprinkler machines in irrigated agriculture systems. It analyzes the primary methods of machine movement, as well as the principles of synchronizing wheel supports and stabilizing the direction of travel. The types of drive systems employed are reviewed, and the potential of using adjustable electric drives is substantiated. The study highlights the need to modernize electric drive control systems to improve regulation quality, reliability, and the operational longevity of the sprinkler machine.

Keywords: automated electric drive, control program, modeling, sprinkler machine, control system, automation.

УДК 621.38:621.3.011.3/.4

РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Рябенький В.М.,
д.т.н., проф.
Зав. каф. програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
optron2@gmail.com
Худякова І.М.,
к.пед.н., доц.
доцент кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Iryna.Khudiakova@nuos.edu.ua
Трибулькевич С.Л.,
ст. викладач кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
sergiy.trybulkevich@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Робота присвячена розв’язанню актуальної задачі регулювання параметрів реактивних елементів при налагодженні частотних властивостей резонансних фільтрів та генераторів синусоїдальної напруги. Розглянуто обмеження традиційних методів (використання варікапів, механічних конденсаторів та підмагнічування осердь дроселів). Запропоновано метод зміни еквівалентної ємності конденсатора шляхом подачі на його обкладку протифазної напруги з виходу підсилювача, охопленого від’ємним зворотним зв’язком.

Ключові слова: Підсилювач, регульована ємність, частотні властивості, частота зрізу, від’ємний зворотний зв’язок, еквівалентна ємність, коефіцієнт перекриття, генератор синусоїдальних коливань.

Мета. Розробка та дослідження електронного способу регулювання еквівалентних параметрів реактивних елементів (зокрема ємності конденсаторів) шляхом охоплення їх від'ємним зворотним зв'язком за допомогою підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення.

Вступ. Регулювання параметрів реактивних елементів – ємкості в конденсаторах, або індуктивності в дроселях є задачею, яку часто необхідно розв'язувати при налагодженні частотних властивостей фільтрів різного функціонального призначення, особливо таких, що мають резонансні властивості. Такі задачі виникають і при необхідності зміни частоти генераторів синусоїдальної напруги. В радіотехніці такі задачі розв'язуються шляхом використання кварцових генераторів, частота яких перетворюється шляхом використання пристроїв множення та ділення з наступною високоякісною фільтрацією бокових гармонік [1]. Такі пристрої досить складні і складають базові блоки сучасних професійних радіопередавачів та приймачів.

Для регулювання ємкостей конденсаторів пікофарадного рівня (в межах 1000 пФ) найчастіше використовують варікапи [2], або конденсатори з механічною зміною ємності. Регулювання індуктивності дроселів забезпечуються шляхом підмагнічування осердь, але така процедура використовується досить обмежено. В наведених випадках діапазон регулювання параметра досить обмежений і коефіцієнт перекриття, як відношення максимального значення параметра до мінімального не перевищує 10, а точність регулювання у більшості випадків низька.

В електронних системах низькочастотного рівня для налагодження частотних властивостей фільтрів використовують генератори змінюємої частоти. Такі генератори реально мають коефіцієнт перекриття по частоті в межах 5–7 раз, а для розширення частотного діапазону використовують перемикачі конденсаторів, що суттєво ускладнює проведення аналізу амплітудно – частотних характеристик пристроїв.

Основна частина. Пропонується варіант зміни параметрів реактивних елементів за рахунок охоплення їх від'ємним зворотним зв'язком. На рис. 1 наведена спрощена схема, за допомогою якої демонструється ефективність такого підходу. Типова R-C ланка використовується для оцінки її частотних властивостей за допомогою аналізатора XBP1 з програми моделювання електронних схем Мультисім. В такій ланці конденсатор C1 нижньою обкладкою повинен бути заземленим. Таке заземлення досягається тим, що підсилювач A1 живиться від віртуального джерела живлення з середньою заземленою точкою і має вихідний опір близький до нуля. Вихідна напруга підсилювача, будучи пртифазною напрузі на позитивній обкладці конденсатора приводить до зменшення результуючої напруги на ньому, що еквівалентно збільшенню ємності C1.

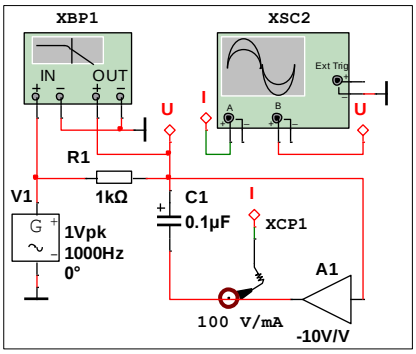


Рисунок 1

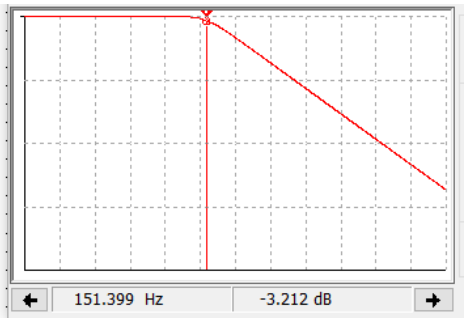


Рисунок 2

Еквівалентну ємність ланки можна визначити по частоті зрізу її частотної характеристики (Рис.2) при затуханні амплітуди вихідного сигналу біля -3 дБ., або по напрузі на конденсаторі.

В табл. 1 наведені залежності зміни ємності конденсатора від коефіцієнта підсилення A1, які демонструють можливість наведеної схеми.

На рис. 3 представлена залежність ємності C (мкФ) від коефіцієнта підсилення K. Експериментальні точки на графіку відображають отримані значення ємності для різних коефіцієнтів підсилення в діапазоні K = 0…100. Суцільна лінія демонструє результати аппроксимації (лінійної регресії), яка показує прямо пропорційну залежність між досліджуваними параметрами: зі зростанням коефіцієнта підсилення спостерігається систематичне та практично лінійне збільшення ємності C.

Таблиця 1 – Залежності зміни ємності конденсатора від коефіцієнта підсилення

K	**0**	**1**	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**60**	**75**	**100**
f (Гц)	1536	709.4	276	165	76.2	58	38.4	29.6	21.04	17.7
C (мкФ)	0.1	0.22	1.8	10.7	21	25.6	41	54	76	90

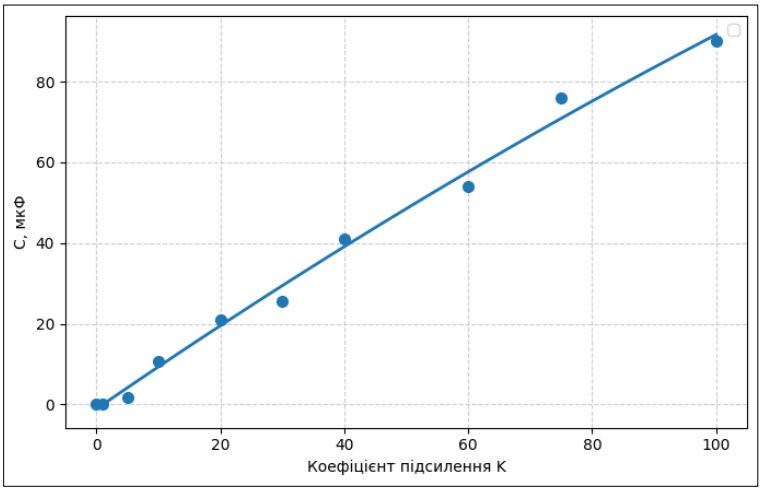
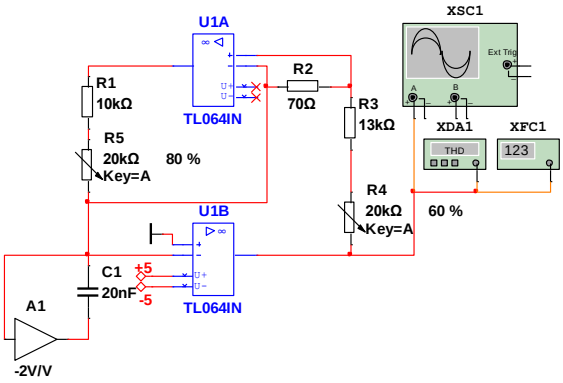


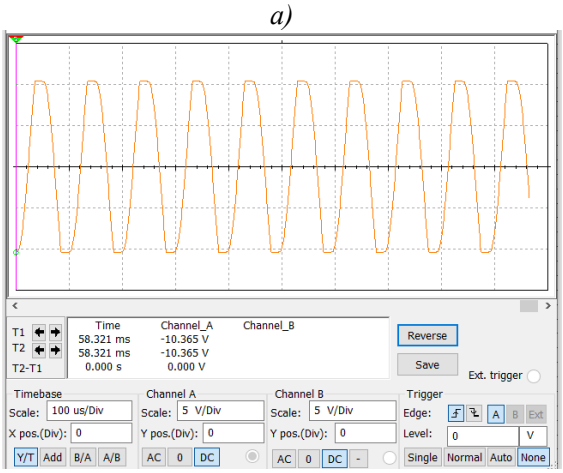
Рисунок 3

З таблиці витікає, що шляхом зміни коефіцієнта підсилення підсилювача є можливість змінювати ємність конденсатора в 900 раз, що значно перевищує відомі способи регулювання.

Як приклад використання змінюємої ємності на рис. 3 наведено приклад генератора з одним часозадаючим конденсатором, ємність якого задається коефіцієнтом підсилення підсилювача.



а)



б)

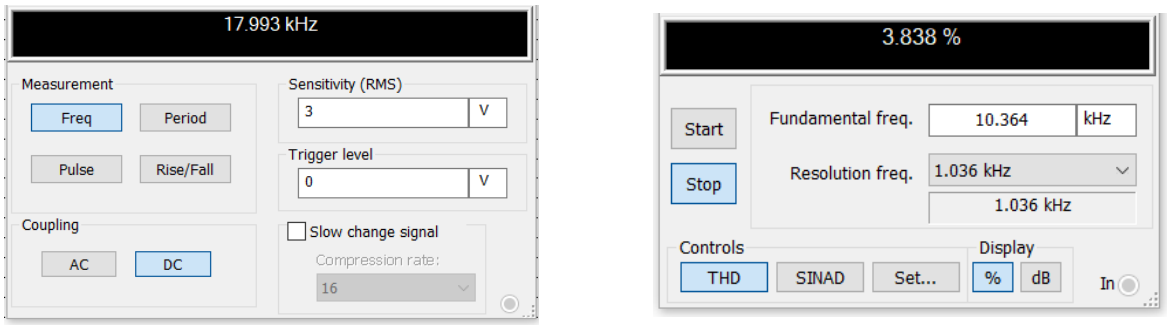
Рисунок 4

Генератор виготовлений на двох операційних підсилювачах з використанням позитивного зворотного звязку по колу « вхід – вихід». Конденсатор С з опорами R1, R5 є часозадаючим, тому зміна його ємності пропорційно приводить до зміни частоти генерування коливань. З ростом коефіцієнта підсилення підсилювача ємність конденсатора буде пропорційно збільшуватись, а частота коливань , відповідно, зменшуватись. В наведеній схемі при зміні коефіцієнта підсилення від 0 до 50 частота коливань змінювалась в діапазоні від майже 18 до 2 кГц. Показник якості напруги (коефіцієнт гармонік) дещо

перевищує практичні значення, але його величина може бути налаштованою резистором R2. Детально робота генератора не досліджувалась.

На рис. 5 наведено результати комп'ютерного моделювання генератора синусоїдальних коливань у середовищі Multisim. Показання частотоміра (рис. 5, а) відображають значення згенерованої частоти синусоїдальних коливань (зокрема значення верхньої межі діапазону близько 17,993 кГц) при мінімальному рівні підсилення. Рис. 5, б відображає показання аналізатора гармонік (XDA1), де зафіксовано коефіцієнт нелінійних спотворень (THD = 3,838 %) на основній частоті 10,364 кГц.

Висновки. Запропонований метод електронного регулювання параметрів реактивних елементів шляхом їх охоплення від'ємним зворотним зв'язком дозволяє подолати обмеження традиційних механічних і напівпровідникових засобів. Подача протифазної напруги з виходу підсилювача на обкладку конденсатора сприяє зменшенню результуючої напруги, що еквівалентно значному збільшенню його ємності та забезпечує широкий діапазон перебудови параметрів. Комп'ютерне моделювання підтвердило високу ефективність підходу для гнучкого налаштування частоти зрізу фільтрів та плавного керування частотою генерації синусоїдальних коливань без застосування складних перемикальних систем.



а). *б).*

Рисунок 5

Література

[1] Мамчев, Г. В. (2006). Основи радіозв'язку та телебачення. Радіо і зв'язок.

[2] Рябенький, В. М., & Співак, В. М. (2018). Моделювання пристроїв обробки аналогових сигналів. НУК.

[3] Van Rij, C. Sweep generator with marker. RadioLocman. https://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=673373

[4] Shustov, M. A., & Shustov, A. M. (2017). Electronic circuits for all. Elektor International Media BV. (Сербське видання): Shustov, M. A., & Shustov, A. M. (2017). Elektronika za sve: Priručnik praktične elektronike. Agencija EHO.

REGULATION OF REACTIVE ELEMENT PARAMETERS

Volodymyr Riabenkyi, Iryna Khudiakova, Serhii Trybulkevych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Keywords: Amplifier, adjustable capacitance, frequency properties, cutoff frequency, negative feedback, equivalent capacitance, overlap ratio, sinusoidal oscillator.

Abstract. The paper is devoted to solving the relevant problem of regulating the parameters of reactive elements when tuning the frequency properties of resonant filters and sinusoidal voltage generators. The limitations of traditional methods (such as the use of varicaps, mechanical variable capacitors, and magnetic bias of inductor cores) are examined. A method is proposed for changing the equivalent capacitance of a capacitor by applying an antiphase voltage from the output of an amplifier with negative feedback to one of its plates.

УДК 681.5

РОЗРОБКА РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА НА БАЗІ ARDUINO

Білюк І.С.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики
Савченко О.В.,
PhD, доцент кафедри автоматики,
savchenko1984@gmail.com
Тимченко А.С.,
студент кафедри автоматики
Федоров А.Д.,
студент кафедри автоматики
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі представлено розробку робота-маніпулятора на базі апаратної платформи Arduino з можливістю дистанційного керування за допомогою мобільного застосунку Android. Розроблено конструкцію робота-маніпулятора, побудовано просторову модель його основних елементів і сформовано електричну схему системи керування. Розроблено програмне забезпечення для керування рухами маніпулятора та забезпечення взаємодії з мобільним застосунком Android. Запропонована система дає змогу здійснювати дистанційне керування положенням виконавчих ланок робота та може бути використана як навчально-дослідна платформа для вивчення робототехніки, мікроконтролерних систем і принципів програмного керування електромеханічними приводами [1, 2].

Ключові слова: 3D креслення, керуюча програма, мобільний застосунок, платформа Arduino, робот-маніпулятор, система керування, електропривод.

Сучасний розвиток промислової автоматизації та робототехніки супроводжується широким впровадженням роботизованих систем у виробничі та навчально-дослідні процеси. Особливе місце серед них займають роботи-маніпулятори, призначені для виконання операцій переміщення, позиціонування та орієнтації об’єктів. Їх застосування дозволяє автоматизувати технологічні процеси, підвищити точність виконання операцій та зменшити безпосередню участь людини.

Роботи-маніпулятори розрізняються за конструктивним виконанням, принципами управління, кількістю ступенів свободи та конфігурацією робочого простору. Найбільш поширені декартові, циліндричні, сферичні, шарнірні та SCARA-маніпулятори. Можливості таких систем визначаються геометрією та кінематикою конструкції, робочою зоною, кількістю ступенів свободи та характеристиками приводів, що використовуються.

Функціонування робота забезпечується спільною роботою механічних елементів, приводів, датчиків, контролера та програмного забезпечення. Система управління формує необхідні на виконавчі механізми, забезпечує задані переміщення і взаємодія робота з оператором.

Застосування сучасних мікроконтролерних платформ, зокрема Arduino, дозволяє створювати компактні та доступні робототехнічні системи, що реалізують керування сервоприводами, обробку сигналів датчиків та обмін даними із зовнішніми пристроями. Використання бездротового зв’язку та мобільних програм додатково розширює можливості дистанційного керування такими системами.

Метою даної роботи є розробка робота-маніпулятора на базі платформи Arduino з можливістю дистанційного керування за допомогою мобільного додатка Android.

Спочатку було розроблено електричну схему робота-маніпулятора, яка наведена на рисунку 1.

За основу було взято плату Arduino UNO3, яка в зв’язці з 16 канальним ШІМ контролером PCA9685 через інтерфейс I2C керує шістьма сервоприводами, а за допомогою Bluetooth модуля здійснюється зв’язок з мобільним додатком Android.

Будова робота була здійснена за допомогою програмного забезпечення для 3D-моделювання Solidworks. Рука має 5 ступенів свободи. Для перших 3 осей: основи, плеча та передпліччя використано сервоприводи MG996R, а для інших 2 осей – повороту зап’ястя та зап’ястя, а також захват, використано менші сервоприводи SG90.

Фото робочої руки зображено на рисунку 2.

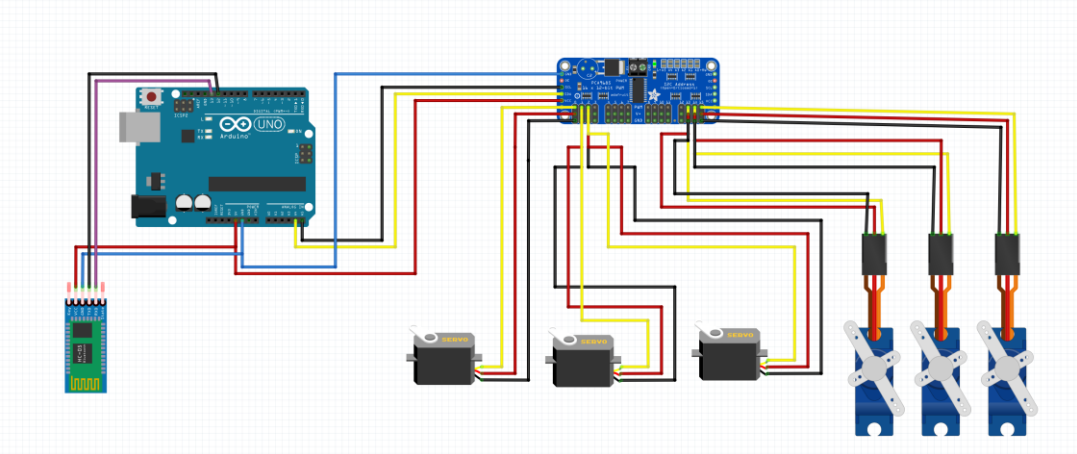


Рисунок 1 – Принципова схема робота-маніпулятора



Рисунок 2 – Загальний вигляд робота-маніпулятора

Далі було розроблено програму керування роботом-маніпулятором, блок схема якої наведена на рисунку 3. Блок-схема показує головний цикл прошивки маніпулятора: після увімкнення контролер відкриває канали Bluetooth і USB та виводить усі шість кінематичних суглобів маніпулятора в середнє положення. Далі він безперервно повторює три дії – плавно зсуває кожен кінематичний суглоб на один крок до заданого йому кута, виконує команду, якщо вона надійшла, і, якщо триває відтворення записаної послідовності, переходить до наступної позиції після того, як усі шість кінематичних суглобів доїхали до поточної позиції. Цикл повторюється, доки не буде вимкнено живлення.

На рисунку 4 представлено розроблений мобільний застосунок для керування роботом-маніпулятором. Програма призначена для дистанційного керування роботом та забезпечує зручну взаємодію оператора з його механізмами. За допомогою застосунку можна задавати положення та керувати основними рухами маніпулятора, що дозволяє виконувати необхідні дії з більшою точністю та зручністю. Також передбачена можливість збереження заданих положень і подальшого відтворення послідовності рухів. Розроблений інтерфейс є простим та зрозумілим для користувача і дозволяє здійснювати керування роботом у режимі реального часу.

Висновок. В результаті виконаної роботи розроблено робот-маніпулятор на базі мікроконтролерної платформи Arduino з можливістю дистанційного керування за допомогою мобільного додатка Android. Для проєктування складових елементів конструкції та побудови їх просторових моделей використано програмний комплекс SolidWorks. Як основа обрана конструкція DIY Arduino Robot Arm [1], адаптована до поставлених завдань. Розроблено електричну схему системи управління на базі Arduino Uno, що включає шість сервоприводів і модуль Bluetooth HC-05, що забезпечує бездротовий зв'язок робота зі смартфоном. Розроблено програмні алгоритми та скетчі для управління сервоприводами робота-маніпулятора, а також мобільний додаток для Android, що дозволяє дистанційно керувати положенням його виконавчих ланок.

Створений робот-маніпулятор може бути використаний як навчально-дослідницька платформа при проведенні лабораторних та практичних занять з робототехніки, мікропроцесорної техніки та автоматизації. Його застосування дозволяє поєднати вивчення основ 3D-проєктування, мікроконтролерного управління, програмування та бездротової взаємодії пристроїв. Впровадження розробленої системи у навчальний процес сприяє формуванню практичних навичок проєктування та програмування робототехнічних комплексів та підвищенню якості підготовки фахівців у галузі автоматизації та робототехніки [3, 4].

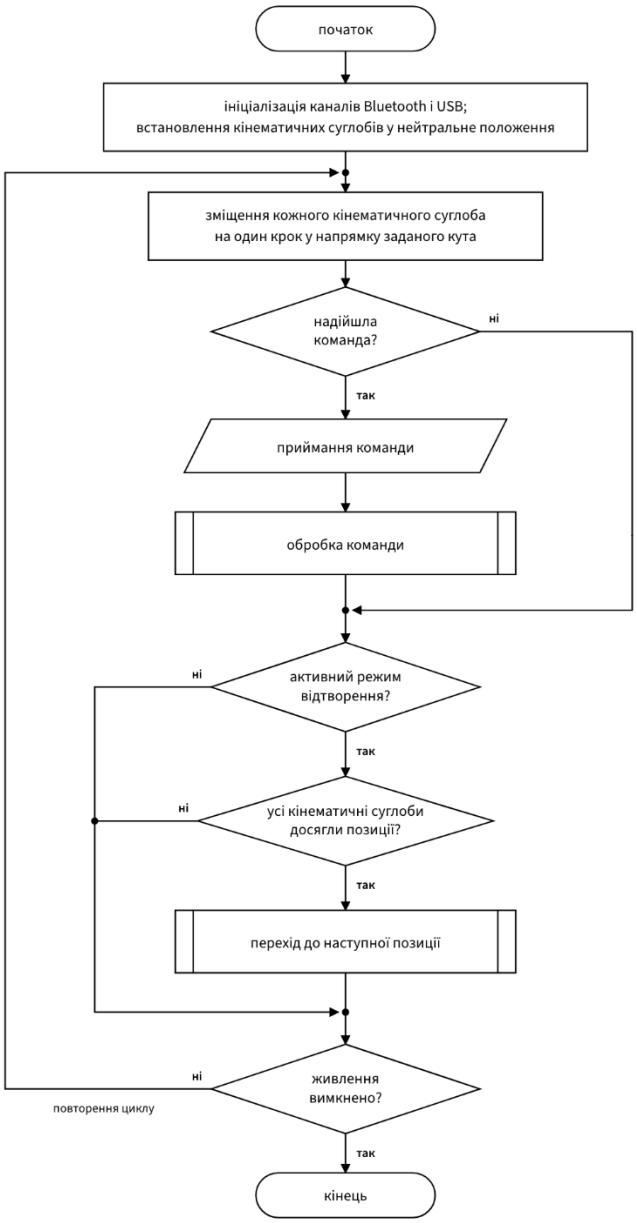


Рисунок 3 – Блок-схема програми керування роботом

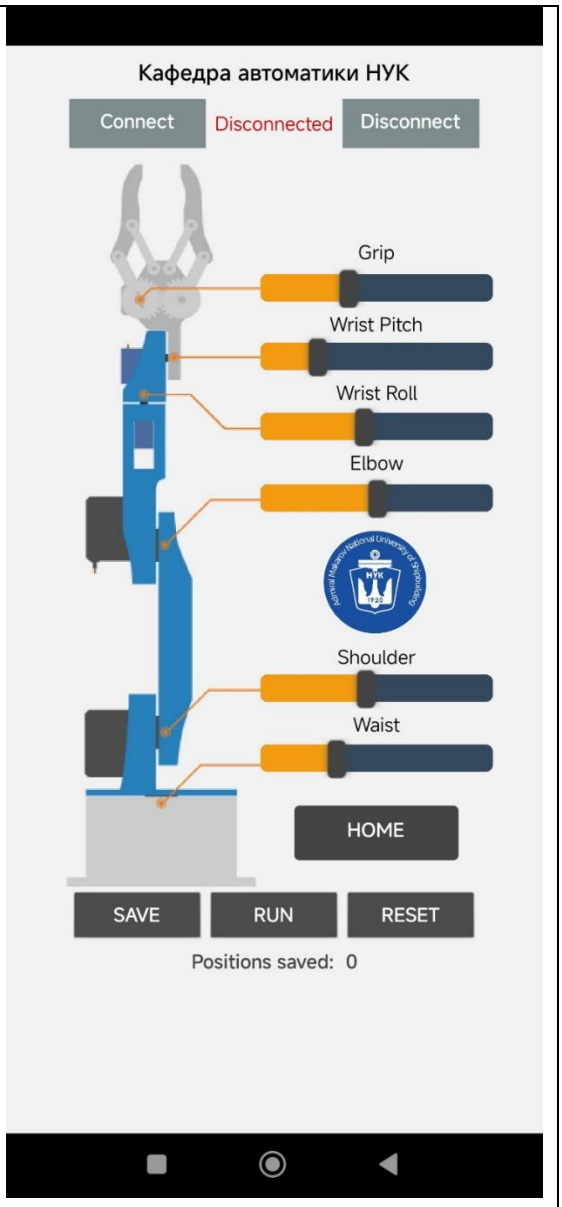


Рисунок 4 – Вікно мобільного застосунку керування роботом

Література

[1]. Diy-Arduino-Robot-ARM-with-smartphone-control. – Режим доступу: https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-withsmartphone-control/.

[2]. Saeed Benjamin Niku “Introduction to Robotics Analysis, Control, Applications” [Текст], 2010. – 46 с.

[3]. Шарейко, Д. Ю., Білюк, І. С., Садовий, О. С., Савченко, О. В., Фоменко, А. М., & Козаченко, А. В. (2020). Модернізація промислових роботів. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, (41), 99-108.

[4]. Васильєв, О. Г., Савченко, О. В., & Заворотний, А. О. (2025). Модернізація системи керування електропривода маніпулятора у складі РТК механообробки.

DEVELOPMENT OF AN ARDUINO-BASED ROBOTIC MANIPULATOR

I. Biliuk, O. Savchenko, A. Tymchenko, A. Fedorov
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper presents the development of a robotic manipulator based on the Arduino hardware platform, featuring remote control capabilities via both an Android mobile application and a computer. The manipulator’s mechanical structure was designed, a spatial model of its key components was created, and the control system’s electrical schematic was developed. Software was developed to control the manipulator’s

movements and facilitate interaction with the Android mobile application and the computer. The proposed system enables remote control of the robot's actuating links' positioning and can serve as an educational and research platform for studying robotics, microcontroller systems, and the principles of software-based control for electromechanical drives.

Keywords: 3D drawing, control program, mobile application, Arduino platform, robotic manipulator, control system, electric drive.

УДК 621.314.58.001

АНАЛІЗ РОБОТИ СУДНОВИХ СИСТЕМ ПРИ ЖИВЛЕННІ ВІД ДЖЕРЕЛА СТРУМУ

Чекунов В.К.,
старший викладач кафедри суднових електроенергетичних систем
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна,
cheka756@gmail.com

Анотація. У доповіді розглядаються питання аналізу роботи суднових систем при живленні від джерела струму в колах зі змінною структурою. Аналіз роботи пропонується за допомогою формалізованого методу використання розривних функцій у сполученні із застосуванням традиційних законів електротехніки. Порівняння результатів аналізу пропонується з даними формалізованих методів та універсальних пакетів програм, які дозволяють зробити висновок про якість використаної методики.

Ключові слова: джерело струму, суднові електроприводи, суднові електричні стреми, моделювання, розривні функції.

У суднових електричних установках використовуються схеми постійного струму, де струм навантаження повинен підтримуватись практично постійним при зміні напруги або опору навантаження. Для суднових електроенергетичних систем можна виділити три найбільш характерні приклади:

1. Електрохімічна установка одержання гіпохлориту натрію для обробки забортної води. У судновій електрохлоринаційній установці струм DC для електролізерів повинен підтримуватися постійним для забезпечення концентрації гіпохлориту.
2. Системи заряджання акумуляторних батарей. У деяких режимах заряджання зарядний пристрій працює в режимі стабілізації струму. Наприклад, при глибоко розрядженій акумуляторній батареї задається обмежений струм заряду: *I*зар = const. У міру збільшення ЕРС батареї напруга зарядного пристрою змінюється так, щоб струм залишався заданим.
3. Електроприводи постійного струму – спеціальні режими. У деяких системах керування електроприводом треба використовувати режим обмеження якірного струму: *Ia*=const. Це особливо важливо при пуску двигуна та при роботі з великим навантаженням. Йдеться не про підтримку струму незмінним у всьому діапазоні потужності, а про обмеження/стабілізацію струму в певному режимі.

Для всіх цих випадків пропонується використання джерела струму – індуктивно-ємнісний перетворювач із випрямлячем (рис.1).

Для аналізу перехідних процесів, які можуть впливати на роботу систем істотно розширилося застосування чисельних методів моделювання для складних пристроїв перетворювальної техніки з використанням формалізованих методів та універсальних пакетів програм PSpice, MicroCap, DesignLab, Electronic Workbench та ін. В основу роботи цих програмних продуктів покладено різні методи чисельного рішення систем. У такому програмному забезпеченні має одночасно враховуватися низка факторів, що впливають на точність рішення. До таких факторів слід віднести необхідність автоматичного вибору величини кроку сітки різниці за часом, контролю помилки інтегрування, виявлення можливих розривів і особливостей рішення. Задоволення цих вимог навіть у разі вирішення нежорстких завдань призводить до суттєвого збільшення кількості арифметичних операцій, що виконуються програмою на кожному часовому інтервалі. Разом з тим схеми на основі напівпровідникових перетворювачів відносяться до жорстких систем, які описуються жорсткою моделлю. Сутність жорстких моделей, як відомо [2,3], визначається необхідністю одночасного залучення для адекватного опису процесів у точках часового інтервалу як швидкозмінних функцій з великими значеннями похідних (що викликано комутаціями напівпровідникових приладів), так і малих похідних, що відповідають відносно повільним перехідним процесам в RLC-колах. При цьому до вирішення систем жорстких диференціальних рівнянь пред'являються високі вимоги точності на кожному кроці інтегрування. Досвід моделювання свідчить про те, що застосування навіть

спеціальних методів їх чисельного інтегрування, включаючи методи апроксимації диференціальних рівнянь різницевими схемами високих порядків точності та багатокрокові методи, виявляється неефективним при аналізі характеристик процесів, що накопичуються в процесі рахунку помилок. Таке накопичення помилок зумовлено похибкою різницевої апроксимації чисельними методами вихідної диференціальної задачі.

У зв'язку з цим особливо зростає актуальність розробки спеціалізованих методів чисельного аналізу процесів, що забезпечують достатню точність розрахунку протягом усього часу та економічність у сенсі витрат машинного часу та інших ресурсів.

Один з застосованих методів моделювання процесів, що протікають у них – метод розривних функцій [1,4].

Розривні (комутаційні, релейні, східчасті та ін.) функції приймають значення "1" при замиканні кола та протіканні по ньому струму і "0" – при його розмиканні. Використання методу розривних функцій не формалізовано, тому його застосування вимагає значних витрат праці і часу. У доповіді розглядається методика формалізованого застосування розривних функцій для опису роботи ІЄП з випрямлячем (рис. 1), на базі використання положень [1].

Для кіл із змінною структурою необхідно враховувати особливості використання законів Кірхгофа, математичний запис яких матиме вигляд [1]:

для першого закону Кірхгофа $\sum_{j=1}^{k} P_j i_j = 0;\ \sum_{j=1}^{k} P_j \frac{di_j}{dt} = 0;$

для другого закону Кірхгофа $P_K \sum_{i=1}^{n} U_i = 0,$

де i_j, P_j – струм і розривна функція простого чи складного кола (розривна функція P_j приймає значення «1» для замкнутої гілки та «0» для розімкнутої гілки);

P_K – розривна функція контуру, що приймає значення «1» для замкнутого контуру та «0» для розімкнутого контуру;

u_i – напруга простої чи складної гілки контуру.

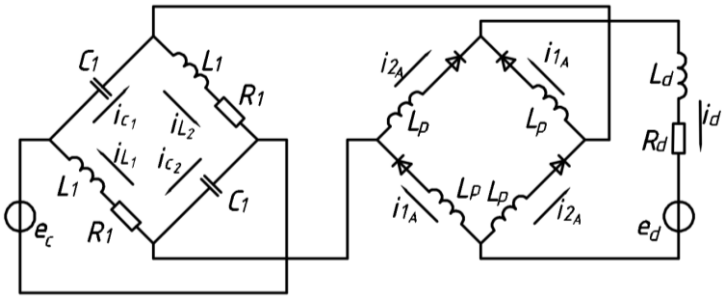


Рисунок 1 – Джерело струму при підключенні споживача постійного струму

При цьому процеси в схемі (рис. 1) описуються наступними рівняннями:

$$P_{1A}\left[\frac{q_{c2}}{C_1} + R_1 i_{L2} + L_1 \frac{di_{L2}}{dt} - R_p i_{1A} - L_p \frac{di_{1A}}{dt} - L_d \frac{d}{dt}(i_{1A} + i_{2A}) - e_d - R_d(i_{1A} + i_{2A}) - R_p i_{1A} - L_p \frac{di_{1A}}{dt}\right] = 0; \quad (1)$$

$$P_{12}\left(\frac{q_{C2}}{C_1} + R_1 i_{L2} + L_1 \frac{di_{L2}}{dt} - R_p i_{1A} - L_p \frac{di_{1A}}{dt} + R_p i_{2A} - L_p \frac{di_{2A}}{dt}\right) = 0; \quad (2)$$

$$P_{2A}\left[\frac{q_{C2}}{C_1} + R_1 i_{L2} + L_1 \frac{di_{L2}}{dt} + R_p i_{2A} + L_p \frac{di_{2A}}{dt} + L_d \frac{d}{dt}(i_{1A} + i_{2A}) + e_d + R_d(i_{1A} + i_{2A}) + R_p i_{2A} - L_p \frac{di_{2A}}{dt}\right] = 0; \quad (3)$$

$$P_{12}\left[e_d + R_d(i_{1A} + i_{2A}) + L_d \frac{d}{dt}(i_{1A} + i_{2A}) + R_p i_{2A} + L_p \frac{di_{2A}}{dt} + R_p i_{1A} + L_p \frac{di_{1A}}{dt}\right] = 0; \quad (4)$$

$$e_c + L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + R_1 i_{L1} + \frac{q_{C2}}{C_1} = 0;$$

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + R_1 i_{L1} + \frac{q_{C2}}{C_1} + L_1 \frac{di_{L2}}{dt} + R_1 i_{L2} + \frac{q_{C1}}{C_1} = 0;$$

$$\frac{dq_{C1}}{dt} = i_{L2} + P_{1A} i_{1A} - P_{2A} i_{2A}; \quad \frac{dq_{C2}}{dt} = i_{L1} - P_{1A} i_{1A} + P_{2A} i_{2A};$$

$$i_{C1} - P_{1A} i_{1A} + P_{2A} i_{2A} - i_{L2} = 0;$$

Де $e_c = E_M \sin(\omega t + \varphi_0)$; $P_{1A} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{i_{1A} + i_{1N}}{|i_{1A} + i_{1N}|}\right)$; $P_{2A} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{i_{2A} + i_{2N}}{|i_{2A} + i_{2N}|}\right)$; $P_{12} = P_{1A} \times P_{2A}$;

$$i_{1N} = \frac{1 - P_{1A}}{R_N}\left(U_{L2} + \frac{q_{C2}}{C_1} + R_p i_{2A}\right); \quad i_{2N} = \frac{P_{2A} - 1}{R_N}\left(U_{L2} + \frac{q_{C2}}{C_1} - R_p i_{1A}\right); \quad U_{L2} = R_1 i_{L2} + L_1 \frac{di_{L2}}{dt};$$

P_{1A}, P_{2A} – розривні функції вентилів; i_{1A}, i_{2A} – струми відкритих вентилів; i_{1N}, i_{2N} – струми закритих вентилів; R_p – активний опір відкритого вентиля; L_p – індуктивність, введена штучно для одержання невиродженої матриці (L_p=10-6 Гн); q_{C1}, q_{C2} – величина заряду ємності C_1 і C_2; $E_м$, f, φ_0 – амплітуда, частота і початкова фаза ЕРС живильної мережі; e_c – миттєве значення ЕРС живильної мережі; P_{12} – розривна функція для режиму комутації вентилів; R_N – активний опір закритого вентиля.

Струми закритих вентилів i_{1N} і i_{2N} обчислюються для визначення розривних функцій. Рівняння (2), (4) описують режим комутації вентилів.

Для використання чисельних методів рішення системи диференціальних рівнянь приведемо її до вигляду

$$\left[L_p + L_1 + (1 - P_{12})(L_p + L_d)\right]\frac{di_{1A}}{dt} + P_{1A}\left[-P_{2a}L_1 - P_{12}L_p + (1 - P_{12})L_d\right]\frac{i_{2A}}{dt} - P_{1A}L_1\frac{di_{C1}}{dt} =$$

$$= -P_{1A}(1 - P_{12})e_d - P_{1A}\left[R_p + (1 - P_{12})(R_d + R_p)\right]i_{1A} - P_{1A}\left[-P_{12}R_p + (1 - P_{12})R_d\right]i_{2A} + P_{1A}R_1 i_{L2} + P_{1A}\frac{q_{C2}}{C_1};$$

$$P_{2A}(P_{12}L_p + L_d)\frac{i_{1A}}{dt} + \left[L_p + L_d + (1 - P_{12})L_p\right]\frac{i_{2A}}{dt} + P_{2A}(1 - P_{12})L_1\frac{di_{L2}}{dt} =$$

$$= -P_{2A}e_d - P_{2A}(R_d + P_{12}R_p)i_{1A} - P_{2A}\left[R_d + R_p + (1 - P_{12})R_p\right]i_{2A} - P_{2A}(1 - P_{12})R_1 i_{L2} - P_{2A}(1 - P_{12})\frac{q_{C2}}{C_1};$$

$$L_1\frac{di_{L1}}{dt} = -e_c - R_1 i_{L1} - \frac{q_{C2}}{C_1}; \quad L_1\frac{di_{L1}}{dt} + L_1\frac{di_{L12}}{dt} = -R_1 i_{L1} - \frac{q_{C1}}{C_1} - \frac{q_{C2}}{C_1};$$

$$\frac{dq_{C1}}{dt} = i_{L2} + P_{1A} i_{1A} - P_{2A} i_{2A}; \quad \frac{dq_{C2}}{dt} = i_{L1} - P_{1A} i_{1A} + P_{2A} i_{2A};$$

$$P_{1A}\frac{di_{1A}}{dt} - P_{2A}\frac{di_{2A}}{dt} + \frac{di_{L2}}{dt} - \frac{di_{C1}}{dt} = 0.$$

Розрахунок перехідних і статичних процесів по наведених рівняннях виконаний у матричній формі.

Використовуючи запропоновану методику суднових систем з випрямлячем можна оцінити динаміку роботи схеми в нормальних і аварійних режимах роботи без безпосереднього створення зразка.

Література

[1] Кутковецький В.Я. Закони аналізу електротехнічних мереж // Електротехніка і електромеханіка. 2014, № 1. С. 58–61.

[2] Моделювання електромеханічних систем / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.І., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Кременчук, 2001. 41 с.

[3] Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. Київ, НТУУ «КПІ», 2016. 15 с.

[4] Моделювання роботи суднових споживачів при живленні від джерела струму. Чекунов В.К. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, 2022. С. 417–420.

[5] Особливості розрахунку перехідних процесів у гребній електричній установці змінного струму. Чекунов В.К., Новогрецький С.М. *Сучасні проблеми автоматики та електротехніки* : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, 2024. С. 45-47.

ANALYSIS OF THE OPERATION OF SHIP SYSTEMS WHEN POWERED BY A POWER SOURCE

Chekunov Volodymir

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. The report considers the issues of analyzing the operation of ship systems when powered from a current source in circuits with a variable structure. The analysis of the work is proposed using a formalized method of using discontinuous functions in combination with the application of traditional laws of electrical engineering. A comparison of the analysis results is proposed with the data of formalized methods and universal software packages, which allows us to draw a conclusion about the quality of the used methodology.

Keywords: current source, ship electric drives, ship electric currents, modeling, discontinuous functions.

УДК 621.314.621

ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СУДНОВИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Бабкін Г.В.,
кандидат технічних наук, доцент НУК
Овсянников В.М.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Анотація: координація всіх засобів навігації в єдину систему вирішує проблему забезпечення даних про обстановку навколо судна.

Ключові слова: комунікаційна система; інформаційно-ідентифікаційна система; навігаційна система; радар.

Вступна частина. Сучасні суднові комунікаційні системи (СКС) – це дуже складний комплекс пристроїв навігації й ці пристрої виявилися основними елементами на навігаційному містку. Вони є об'єднуючим елементом окремих засобів навігації, таких як GPS, радар, ARPA, електронна карта та інформаційна система (ECDIS), комплекс рульового управління, ехолот, централізований дисплей навігаційних даних для команди судна, журнал, анемометр тощо. Інформація з усіх датчиків збирається та обробляється блоком обробки IBS і може відображатися на дисплеї за допомогою окремих меню. Таким чином, штурман отримує дані про розташування небезпек для судноплавства, як підводних, так і надводних, їх характеристики та рух відносно судна [1, 2].

Основна частина. Комунікаційна система, до якої спочатку була застосована теорія інформації, загалом складається з таких елементів (сигналів) [2]: передане повідомлення – будь-який об'єкт (малюнки, текст, мова, зображення тощо), який можна передати; джерело сигналу – пристрій, який перетворює передане повідомлення в сигнал; канал зв'язку – здійснює передачу сигналу; приймач – перетворює отриманий сигнал у повідомлення; отримане повідомлення – передане повідомлення, яке відтворюється з певним ступенем точності.

Особливості роботу інформаційно-ідентифікаційної системи (IBS).

Інформаційна модель IBS містить блоки від переданого повідомлення до кінця. У цьому сенсі модель можна ідентифікувати як судна в цілому в системі «судно-небезпека для навігації», оскільки вона виконує всі функції з виявлення небезпеки, кодування та декодування сигналу та відображення інформації [2]. Перетворення цільових параметрів у сигналі, тобто кодування, виконує сама ціль. Це трансформація параметрів стану цілі – відстані, швидкості, напрямку руху, глибини тощо. Обсяг інформації, яку несе сигнал, повинен бути не менше кількості інформації, що міститься в повідомленні для вибору району.

Приймальний блок отримує сигнал з виходу каналу, перетворює його в прийняте повідомлення і відображає його у вигляді об'єкта або цифр, що характеризують параметри цілі (дисплей ARPA, ECDIS, ехолот).

Поки що з інформаційної точки зору робота IBS аналогічна системі зв'язку. Однак існують деякі особливості експлуатації. Основні з них характеризуються тим, що передача та обробка інформації

здійснюються в умовах обмеженого часу, який спостерігається як шум у каналі. Ці особливості визначаються обмеженою видимістю, поганими гідрологічними та гідрометеорологічними умовами, особливостями сигналу, що відбивається ціллю, тощо.

Визначення цілі як небезпечної – це процес, який проходить через фази виявлення, визначення (якщо це рухома ціль) напрямку руху, визначення її розташування відносно судна, визначення можливостей відхилення відповідно до зони навколо ціль, відокремлення цілі від інших і класифікація її як найнебезпечнішої. Тут можна зробити висновок, що кількість інформації, будь-якої конкретної ситуації, безпосередньо залежить від завадостійкості системи. Ця залежність визначає ефективність IBS у вирішенні проблеми безпеки судноплавства.

Інтегрована навігаційна система Synapsis NX

Synapsis NX представляє модульну архітектуру системи на основі локальної мережі для більшої гнучкості в проєктуванні та інтеграції мостів, а також нові інтерфейси користувача для полегшення роботи.

У центрі інтегрованого мосту Synapsis NX містить багатофункціональні робочі станції для навігаційних додатків і керування даними, які об’єднують різні датчики для виявлення цілей, напряму, позиції та подальших навігаційних даних, а також системи керування кермом.

Synapsis NX сумісний із новим стандартом керування сповіщеннями про місток (IMO.302 (87), IEC62923-1i-2, а також IEC61162-450ред.2). Він також має схвалення типу відповідно до стандартів тестування IMO та стандартів IEC MSC.252 (83)/IEC 61924-2 для інтегрованих навігаційних систем.

Відповідність цим стандартам означає вищу безпеку, а також явні експлуатаційні переваги перед невідповідними системами:

– INS автоматично відстежує «стан готовності» всіх підключених робочих станцій і датчиків і миттєво інформує оператора на центральному дисплеї;

– послідовна загальна довідкова система (CCRS) постійно контролює цілісність даних датчиків до найкращого набору даних датчиків у всій системі моста;

– центральне управління цілями зв’язує вистежуванні цілі з окремих радарів і датчиків AIS для створення нових цілей на системному рівні, які далі обробляються в усій навігаційній мережі, щоб узгоджено відображатися на будь- якому радарі або дисплеї ECDIS;

– централізована інтелектуальна обробка та представлення сигналів тривоги на мосту зменшує робоче навантаження, але також привертає увагу до критичних сповіщень і таким чином значно підвищує безпеку.

Переваги від користування такої системи:

– користувачі взаємодіють з єдиною узгодженою системою (послідовні дані, позначення, сповіщення);

– кращий огляд ситуації покращує оцінку ситуації та прийняття рішень;

– сучасні, інтуїтивно зрозумілі інтерфейси користувача, прості операції (менший ризик людської помилки);

– комфорт, ефективність і безпека завдяки багато функціональним робочим станціям;

– вбудоване резервування, максимальна доступність даних і функцій;

– архітектура системи підтримує гнучкість проєктування системи (дизайн мосту, модифікація системи);

– функції переміщені з панелей на дисплеї, можлива установка обладнання в стійку;

– інтеграція сторонніх систем (на вибір власника);

– Synapsis постачається з інтелектуальною системною архітектурою «нового покоління» – це те, що означає “NX”. Робочі станції Synapsis NX можна легко налаштувати відповідно до індивідуальних вимог замовника.

Synapsis NX складається з багатофункціональних робочих станцій, які використовують надкомпактні, потужні малі морські комп’ютери (SMC) із твердо тільним диском і пасивним охолодженням для підвищення надійності та терміну служби. Клієнти можуть вирішити запускати програми Radar NX, ECDIS NX і Conning NX або будь-яку комбінацію паралельно на кожному комп’ютері.

Інтеграційна платформа Bridge (BIP)

Платформа інтеграції Bridge (BIP) – це інноваційна центральна програмна основа системи мосту. Віна є частиною кожної робочої станції та контролює всі центральні служби навігаційної системи, такі як розподіл даних, моніторинг стану системи та датчиків, резервування та керування резервним копіюванням, інтелектуальне керування оповіщеннями та налаштування.

BIP забезпечує цілісність даних, а також доступність і послідовну обробку даних і сповіщень у всій системі мосту.

Високоефективні радари

Радіолокаційні трансивери Nauto Scan NX створюють необроблене радарне відео високої точності, яке поширюється на міст через резервну мережу Gigabit LAN. Обробка необроблених даних на рівні

робочої станції забезпечує високу гнучкість і оптимізовану продуктивність для уникнення зіткнень або будь-якої іншої програми кінцевого користувача.

Радар також підтримує розширене злиття радіолокаційного відео без втрати якості та перешкод.

Висновки

1. Наведені приклади суднових комунікаційних систем дають можливість створення математичних виразів для інформаційної моделі для оцінки ефективності роботи IBS. 2. Результати порівняння можуть зорієнтувати навігатора, який використовує IBS, чи потрібно шукати додаткову інформацію для вирішення тієї чи іншої проблеми.

Література

[1] PantevN., Automation of Navigation, Varna, 2002, pp. 134–152.

[2] Kossekova, G. Course Generator – On-Line Web-Based System with Dynamic Database for Problem-Solving Oriented Distance Learning in Biochemistry, In Proceedings of the International Conference “Computer Systems and Technologies’ 2002. Sofia, ACMBUL, IV. 15, 1–6.

GENERAL ANALYSIS OF OPERATING MODES OF MARINE COMMUNICATION SYSTEMS

Babkin H.V., Ovsiannykov V.M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Abstract. Coordinating all navigation aids into a unified system solves the problem of providing data on the situation around the vessel.

Keywords: communication system; information and identification system; navigation system; radar.

УДК 621.311:629.423

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Бондар О.І.,
кандидат технічних наук, доцент
докторант кафедри «Електротехніка та електромеханіка»
bondardiit@gmail.com
Большак А.В.,
аспірант кафедри «Електротехніка та електромеханіка»
bolshak.ab@ukr.net
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Аннотація. Проаналізовано специфіку процесу передачі енергетичних потоків у системі електропостачання електрифікованої залізниці. Запропонована концепція підвищення енергетичної ефективності електричних систем і мереж АТ «Укрзалізниця» шляхом поетапного впровадження уніфікованих накопичувачів електричної енергії на основі блоків суперконденсаторів. Визначено раціональний спосіб приєднання накопичувача через систему відокремлених шин постійного струму та типи об’єктів пріоритетного встановлення.

Ключові слова: електрична мережа, енергоефективність, втрати електроенергії, ємнісний накопичувач, відновлювані джерела енергії, рекуперативне гальмування.

Вступна частина. Як у довоєнні роки, так і станом на зараз електричні мережі Акціонерного товариства «Українська залізниця» були і залишаються важливою складовою частиною енергетичної системи України. Зокрема за наявною на сьогодні відкритою інформацією, у 2019 споживання електроенергії по АТ «Укрзалізниця» було на рівні 4631, млн. кВт·год або близько 4 % від загального споживання електроенергії в державі [1]. Варто додати, що Укрзалізницею експлуатується розгалужена мережа від якої отримують живлення не тільки нетягові споживачі залізничного транспорту але і сторонні споживачі населених пунктів і підприємств розташованих у районах проходження залізничних ліній. Отже огляду на великі обсяги електроспоживання питання підвищення енергетичної ефективності є актуальними для залізниць України.

Метою роботи є визначення можливостей зниження втрат електроенергії, тому передусім варто охарактезувати особливості розподілу потоків електричної енергії у внутрішній мережі електрифікованих

залізниць. На рис.1 представлено структурну схему електричної системи ділянки електрифікованої залізниці за системою тяги постійного струму. Усі тягові підстанції ділянки отримують живлення від енергосистеми України через 2 окремі вводи. В сучасних умовах у межах ділянки можуть бути присутні і додаткові джерела живлення, наприклад сонячні електростанції (СЕС) або вітрові електростанції (ВЕС), як це реалізовано на тягових підстанціях Самбір та Старий Самбір Львівської залізниці, а також локальні сонячні електростанції малої потужності встановлені на окремих об'єктах та підприємствах які відносяться до інфраструктури залізничного транспорту. Для електростанцій зазначеного типу характерним є нерівномірне вироблення електроенергії протягом доби та по порах року. Різкозмінним за своєю природою є і тягове навантаження [2] (див. рис. 2). У якості ще одного джерела живлення для системи тягового електропостачання є електрорухомий склад у режимі рекуперативного гальмування. Наразі потенціал цього джерела використовується у незначній мірі (до 3 % від споживання на тягу [3] при граничних можливостях не менше ніж 12–15 % [1].

Основна частина. На основі охарактеризованих вище особливостей представляється доцільним запропонувати впровадження накопичувачів електроенергії. На нашу думку на сьогоднішній час в умовах електрифікованих залізниць України у якості уніфікованого елемента накопичувача перспективним є передусім використання ємнісних накопичувачів на основі суперконденсаторів, які поєднують в собі високі рівні питомої потужності і енергії, достатньо низьку вартість, високий ККД і великий ресурс роботи. При цьому постають питання як про раціональну структуру накопичувача так і про вибір пріоритетних точок його приєднання до елементів системи.

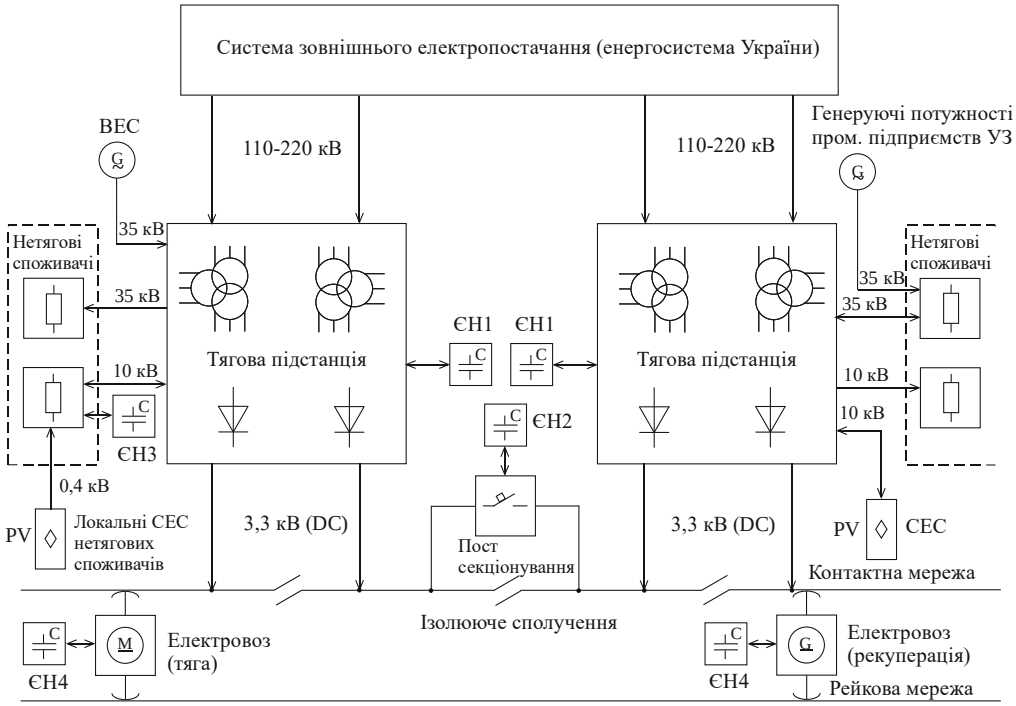


Рисунок 1 – Структурна схема живлення електрифікованої ділянки

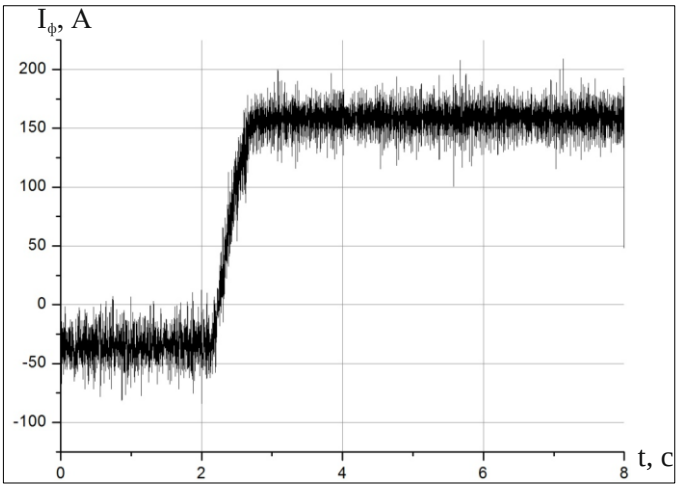


Рисунок 2 – Часова залежність ефективного струму фідера тягової підстанції

На рис. 1 показано 4 варіанти приєднання ємнісного накопичувача (ЄН) до наявної системи електропостачання. Зокрема накопичувачі ЄН1 встановлено безпосередньо. Накопичувач ЄН2 встановлено на посту секціонування контактної мережі, різновидом цього варіанту може бути розташування накопичувача на пунктах паралельного з'єднання контактної мережі, приміщеннях будівель роздільних пунктів. Можливі варіанти приєднання накопичувача ЄН3 безпосередньо до нетягового споживача обладнаного локальною сонячною електростанцією або встановлення безпосередньо на електрорухомому складі (ЄН4). Вважаємо, що з точки зору поетапності впровадження саме останньому варіанту (ЄН4) варто віддати перевагу, оскільки саме таке розташування накопичувача у максимальній мірі забезпечує ефективне використання енергії рекуперативного гальмування.

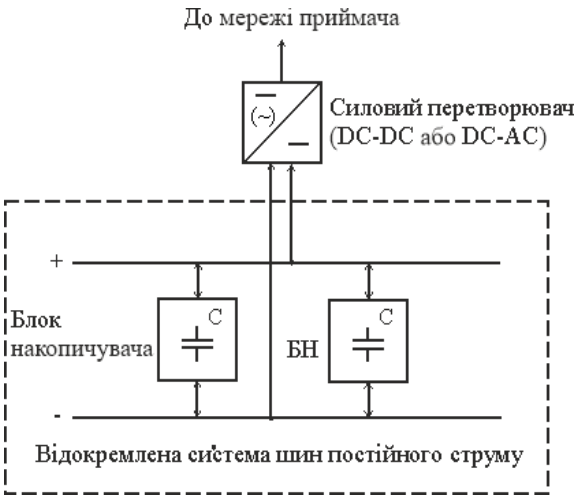


Рисунок 3 – Структурна схема уніфікованого ємнісного накопичувача

Наступним пріоритетом, з нашої точки зору, є варіант показаний на рис. 1 як ЄН3 оскільки він безумовно важливий в умовах бойових дій для використання потужності локальної СЕС у якості резервного джерела живлення. Подальший крок – розташування накопичувачів уздовж шляхової інфраструктури (ЄН4) має покращити режим напруги на міжпідстанційній зоні. Підключення накопичувача по варіанту ЄН1 вважаємо найменш пріоритетним зважаючи на переваги інших варіантів, хоча очевидними перевагами такого способу підключення є достатній обсяг вільного простору для розташування накопичувача великої потужності і постійна наявність оперативного персоналу на об'єкті розташування.

Висновки. Визначена пріоритетність щодо об'єктів розташування визначає загальну структуру згаданого вище накопичувача (див. рис 3). Зокрема пропонується здійснювати приєднання до споживача за допомогою силового перетворювача, який відокремлює систему ізольованих шин постійного струму до яких безпосередньо приєднані блоки суперконденсаторів. При цьому відкритим для подальших досліджень лишається широке коло питань щодо доцільного рівня напруги ізольованої системи шин, взаємодії накопичувача з існуючими елементами системи в нормальних та аварійних режимах роботи а також техніко-економічного обґрунтування впровадження зазначених накопичувачів.

Література

[1]. Анатолій Сидоренко, Сергій Яцько Оцінка впливу режимів роботи системи електричної тяги на втрати від нерівномірності споживання електроенергії та заходи щодо їх зниження. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». 2022. Вип.39. С. 115–127.

[2]. Аналіз існуючого стану використання та обліку рекуперативної енергії електрорухомого складу на ділянках ДП «Придніпровська залізниця»: звіт про НДР (закл.) / НВП Укртрансакад ; кер. Муха А. М. № ДР 0115U000029. Дніпро, 2015. 9 с.

[3]. Саблін О. І. Розвиток методів і засобів підвищення ефективності використання енергії рекуперації в системі електричного транспорту : дис. … докт. техн. наук : 05.22.09. Дніпро, 2018. 36 с.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF RAILWAY TRANSPORT ELECTRICAL SYSTEMS USING CAPACITIVE ENERGY STORAGE DEVICES

Bondar O. I., Bolshak A. V.

Ukrainian state university of science and technologies, Dnipro, Ukraine

Abatract. The specifics of energy flow transmission within the power supply system of an electrified railway have been analyzed. A concept is proposed for enhancing the energy efficiency of the electrical systems and networks of JSC Ukrzaliznytsia through the phased implementation of standardized electrical energy storage units based on supercapacitor modules. A rational method for connecting the storage unit via a system of isolated DC buses has been determined, along with the types of facilities prioritized for installation.

Keywords: electrical grid, energy efficiency, electricity losses, capacitive storage, renewable energy sources, regenerative braking.

УДК 004.056:621.3:681.8

ГЕНЕРАТОР АКУСТИЧНОГО ШУМУ З РЕГУЛЬОВАНИМ СПЕКТРОМ

Касьянов Ю.І.,
ст. викладач кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
yukas.nik.ua@gmail.com

Анотація: Розглянуто актуальні питання створення та використання засобів активного захисту мовної інформації у виділених приміщеннях. Описано створений лабораторний генератор акустичного шуму з типовими та довільними спектрами.

Ключові слова: захист мовної інформації, генератор акустичного шуму, спектр сигналу завади, оцінювання захищеності, виділене приміщення.

Генератори акустичного шуму є основними засобами активного захисту мовної інформації з обмеженим доступом, що циркулює у виділених приміщеннях на об'єктах інформаційної діяльності, в тому числі на суднах та об'єктах портової інфраструктури. Найбільш ефективним було би використання генераторів реальних мовоподібних завад, які формують заваду з фрагментів мовленнєвих сигналів [1–3]. Однак, сертифікація та практичне застосування таких генераторів пов'язані з низкою проблем, зокрема з використанням критерію відношення сигнал/завада для оцінювання та нормування рівня захищеності мовної інформації, який є неінваріантним до виду завади.

З огляду на зазначені обставини, а також беручи до уваги, що в методиках оцінювання захищеності мовної інформації за критерієм розбірливості мови, який використовується у передових країнах світу, тестовий сигнал є шумовим сигналом зі спектром довготривалої мови [4], актуальною задачею є розробка та створення генераторів акустичного шуму з можливістю регулювання спектру шумової завади.

Метою даної роботи є створення генератора акустичного шуму з можливістю плавного регулювання спектру та фіксованими настройками на типові види шуму, орієнтованого як на використання в навчальному процесі, так і в якості несертифікованого засобу активного захисту мовної інформації.

Слід вказати, що генератор є складовою частиною лабораторного комплексу для акустичних досліджень в області технічного захисту інформації.

Структура генератора представлена на рис.1.

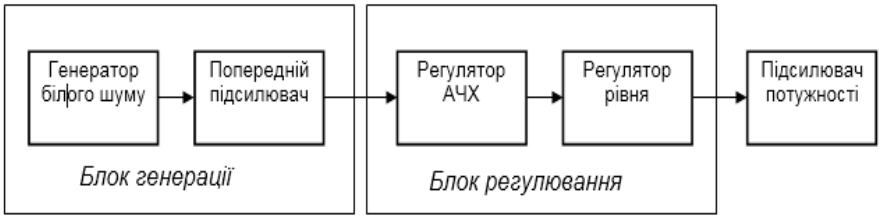


Рисунок 1 – Структурна схема лабораторного генератора акустичного шуму

Джерелом сигналу є цифровий генератор білого шуму (ГБШ), побудований на мікроконтролері PIC12F629, що програмно генерує в часі М-послідовність псевдовипадкових чисел з рівномірним законом розподілу. Це забезпечує високу стабільність шумових характеристик та рівномірність розподілу спектральної щільності шуму за частотою.

Інші види шуму створюються в результаті перетворення сигналу білого шуму регулятором АЧХ.

Регулятор АЧХ (рис.2) представляє собою набір активних фільтрів низької та високої частоти і 7-смуговий еквалайзер, що комутуються певним чином. Фільтри фіксованої настройки, побудовані на базі 4-канального універсального підсилювача TL084CN. 7-смуговий еквалайзер виконаний на мікросхемі LA3607 з відповідно розрахованими смуговими фільтрами і забезпечує плавне регулювання спектру у 7-ми октавних смугах мовного діапазону.

В режимі контролю можна проводити окремі дослідження та налагодження вузлів генератора, що важливо для використання в навчальному процесі.

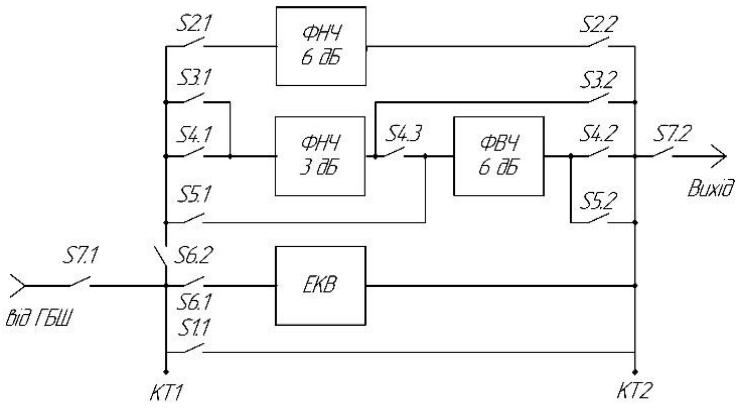


Рисунок 2 – Функціональна схема регулятора АЧХ

Основні технічні характеристики генератора:

- робочий діапазон частот – 50…12000Гц;
- фіксовані налаштування на типові види шуму: білий, рожевий, червоний (brown), синій (blue), фіолетовий;
- налаштування шуму з довільним спектром за допомогою еквалайзера плавним регулюванням АЧХ в 7-ми октавних смугах мовного діапазону з середньогеометричними частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 та 8000 Гц;
- глибина регулювання в кожній смузі – ± 12 дБ;
- вихідна напруга – 0,1…5 В;
- вихідна потужність – 10 Вт;
- габаритні розміри генератора: 350x220x100мм.

В процесі розробки, виготовлення та налагодження генератора було проведено дослідження частотних характеристик фільтрів, глибини регулювання еквалайзера на середньогеометричних частотах октавних смуг мовного діапазону та АЧХ підсилювача потужності.

З використанням персонального комп'ютера та спектроаналізатора програми Sound Forge досліджувались спектри створюваних шумів на виході генератора. При цьому для швидкого перетворення Фур'є було вибрано алгоритм Блекмена-Харріса. Аналіз спектрів проводився в режимі запису звукової доріжки та в режимі реального часу. Нерівномірність АЧХ звукової карти в робочому діапазоні частот генератора шуму не перевищувала 0,3 дБ, що визначалось програмою RightMark Audio Analyzer, що практично не впливає на результат.

Отримані спектрограми білого та червоного шуму приведено на рис. 3.

Наразі генератор впроваджується в навчальний процес, розробляється лабораторна робота з дисципліни «Захист аудіо та відеоінформації».

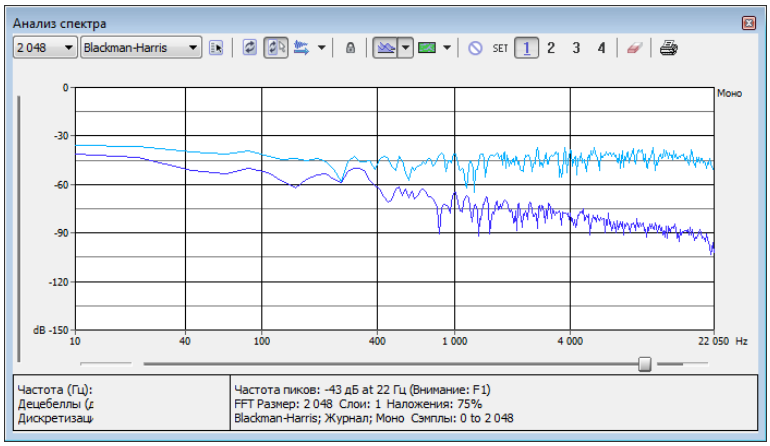


Рисунок 3 – Спектрограми білого та червоного шуму на виході генератора

Висновок. Створений лабораторний генератор акустичного шуму за своїми технічними характеристиками може бути використаний в навчальному процесі для вивчення методів та засобів технічного захисту акустичної (мовної) інформації, засвоєння методик і набуття практичних навичок експериментальної оцінки її захищеності та ефективності звукоізоляційних огороджувальних конструкцій

і різних типів шумових завад, а також інших акустичних досліджень. Це дозволить підвищити рівень підготовки спеціалістів в області технічного захисту інформації за спеціальністю 125 «Кібербезпека».

Генератор також може бути використаний безпосередньо як несертифікований засіб активного захисту мовної інформації

Література

[1] Касьянов Ю.І. Оцінювання ефективності генератора реальної мовоподібної завади за критерієм розбірливості мови / Ю.І. Касьянов, С.М. Нужний. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»: Автоматика вимірювання та керування*. 2016. №.852. С. 105–110.

[2] Blintsov, V.S. Development of a mathematical model of scrambler-type speech-like interference generator for system of prevent speech information from leaking via acoustic and vibration channels / *Volodymyr Blintsov, Sergey Nuzhniy, Yurii Kasianov, Viktor Korytskyi* // Technology audit and production reserves – 2019. № 5/2 (49). P. 19–26. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.85133.

[3] Blintsov, V., Nuzhniy, S., Kasianov, Y., Korytskyi, V. (2020). Mathematical model of the system of active protection against eavesdropping of speech information on the scrambler generator. "EUREKA: Physics and Engineering", Computer Sciences, 3, 11–22. doi: https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001241. http://journal.eu-jr.eu/engineering/article/view/9/7.

[4] Blintsov, V., Nuzhniy, S., Parkhuts, L., Kasianov, Y. (2018). The objectified procedure and a technology for assessing the state of complex noise speech information protection. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 5 (9 (95)), 26–34. doi: http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144146.

ACOUSTIC NOISE GENERATOR WITH ADJUSTABLE SPECTRUM

Kasianov Yurii Ivanovitch

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Current issues regarding the development and use of active protection systems for speech information in secure premises are examined. A laboratory acoustic noise generator capable of producing both standard and arbitrary spectra is described.

Keywords: speech information protection, acoustic noise generator, jamming signal spectrum, security assessment, secure premises.

УДК 621.314.26

ВИСОКОЧАСТОТНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЗАВАДИ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ З ПРОПУЛЬСИВНИМИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Жук О.К.,
канд.техн. наук, професор кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій
oleksandr.zhuk@nuos.edu.ua
Жук Д.О.,
докт.техн. наук, доцент кафедри суднових електроенергетичних систем
dmytro.zhuk@nuos.edu.ua
Козлов М.О.,
PhD, викладач кафедри морського приладобудування
maksym.kozlov@nuos.edu.ua
Єременко А.П.,
викладач кафедри морського приладобудування
andrii.yerememko@nuos.edu.ua
Лінченко В.В,
аспірант кафедри суднових електроенергетичних систем
linchenko_v@meta.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. На основі експериментальних та модельних досліджень розглянуто деякі напрями удосконалення методології оцінки впливу високочастотних електромагнітних завад (ВЧ ЕМЗ), створюваних перетворювачами частоти (ПЧ) з ШІМ у складі частотно-регульованих асинхронних

електроприводів (ЧРАЕП) на показники якості електроенергії (ЯЕ) та електромагнітної сумісності (ЕМС) суднової електроенергетичної системи за наявності паразитних параметрів, насамперед ємностей фаза-корпус кабельних ліній та електричних машин. Досліджено спектри ВЧ ЕМЗ у складі фазної напруги СЕЕС та частотний діапазон охоплення гармонік, необхідний для коректного визначення загального коефіцієнта гармонічних спотворень напруги (THDu). Запропоновано удосконалений спосіб вимірювання THDu, що забезпечує врахування завад з частотою до 25 кГц (до 500-ї гармоніки). Виконано аналіз синфазних і диференційних ВЧ ЕМЗ і доведено , що саме синфазна складова справляє основний вплив на результуючий THDu. Обґрунтовано використання на вході ПЧ ефективного П- подібного завадозахисного фільтра для забезпечення ЕМС у високочастотній області. Комплексне дослідження енергетичних показників системи з урахуванням ВЧ ЕМЗ на верифікованій імітаційній моделі дозволило рекомендувати вибір частоти комутації ШІМ-перетворювачів у складі ПЧ.

Ключові слова: суднова електроенергетична система, частотно-регульовані електроприводи, перетворювачі частоти з ШІМ, якість електроенергії, електромагнітна сумісність, методологія оцінювання впливу високочастотних електромагнітних завад, синфазна напруга, коефіцієнт гармонічних спотворень напруги (THDu), MATLAB-модель.

Вступ. Сучасні тенденції розвитку суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) характеризуються широким впровадженням пропульсивних частотно-регульованих асинхронних електроприводів (ЧРАЕП) з активними вхідними випрямлячами (AFE), безпосередньо підключеними до головного розподільчого щита мережі розподілу електроенергії змінного струму [1, 2]. AFE мають деякі переваги порівняно з традиційними 12-пульсними або 24-пульсними діодними мостами в системах з ЧРАЕП. До них належать зниження рівня гармонічних спотворень до існуючих норм в діапазоні до 2500 Гц, відсутність необхідності в трансформаторі, зменшення потреби в просторі тощо. Використання напівпровідникових перетворювачів частоти (ПЧ) на базі IGBT підвищує енергоефективність і зручність керування приводними механізмами [3], проте для безпечної експлуатації суден необхідно вирішити дві головні специфічні проблеми якості електроенергії (ЯЕ) та електромагнітної сумісності (ЕМС), які при цьому виникають в СЕЕС з синхронними генераторами (СГ) та ЧРАЕП сумірної потужності [1, 2, 4, 5].

Перша з них стосується показників якості електроенергії (ПЯЕ) і полягає в обмеженні загального коефіцієнта гармонічних спотворень напруги THDu на головних шинах СЕЕС для визначеного діапазона гармонік. Нещодавно IACS запровадила нову вимогу UR E24 [3] для суден з електричною рушійною установкою щодо рівнія THDu в СЕЕС, який не повинен перевищувати 8 % при врахуванні порівняно низькочастотних гармонік до 50-го порядку (до 2,5 кГц), які утворюють диференційні завади у складі лінійних напруг і струмів (Differential Mode Voltage and Current). Ці вимога формально досить легко виконується при використанні активних випрямлячів замість діодних, але разам з тим відбувається зсув спотворень в область високих частот і виникають синфазні завади, які суттєво впливають на загальну величину THDu і породжують **другу** проблему успішної експлуатації ЧРАЕП. Вона належить до сфери електромагнітної сумісності (ЕМС) і полягає в тому, що ПЧ, які використовують IGBT, генерують гармоніки у високочастотній області (приблизно до 50 МГц), причому найбільш проблематична ділянка зазвичай знаходяться в діапазоні 10 кГц-10 МГц, хоча питання можуть виникати і на більш низьких частотах перемикання ПЧ. Таким чином, через недосконалу нормативну базу ПЯЕ високочастотні гармоніки залишаються неврахованими при визначенні загального THDu попри їхні згубні наслідки. На високих частотах через наявність паразитних ємнісних зв'язків між корпусом та силовими ключами, обмотками АД [6] і кабельними лініями [7] виникають синфазні завади у вигляді гармонік напруг між кожною фазою і корпусом судна (Common Mode Voltage – CMV) та супутнього синфазного струму (Common Mode Current – CMI). CMV є причиною постійних відмов ЧРАЕП, навігаційних, контрольних, кранових та пожежних систем, а CMI руйнують підшипники асинхронних двигунів та викликають старіння ізоляції [8].

Метою роботи є розвиток методології оцінювання та забезпечення показників ЯЕ та ЕМС в СЕЕС з ЧРАЕП за наявності ВЧ ЕМЗ шляхом: удосконалення способу визначення загального THDu завад з урахуванням диференційної та синфазної складових в НЧ та ВЧ областях за результатами експерименту та моделювання; додаткового дослідження відповідних спектрів; розробки ефективних засобів послаблення високочастотних кондуктивних завад, створюваних ПЧ, насамперед синфазних; дослідження впливу ВЧ ЕМЗ на загальні енергетичні характеристики СЕЕС в залежності від обраної частоти перемикання ключів ШІМ-перетворювачів у складі ПЧ.

Принципова схема стенду для експериментального визначення спектрів та THD фазної напруги та її синфазної і диференціальної складових в автономній СЕЕС з ПЧ у складі ЧРЕП показана на рис. 1.

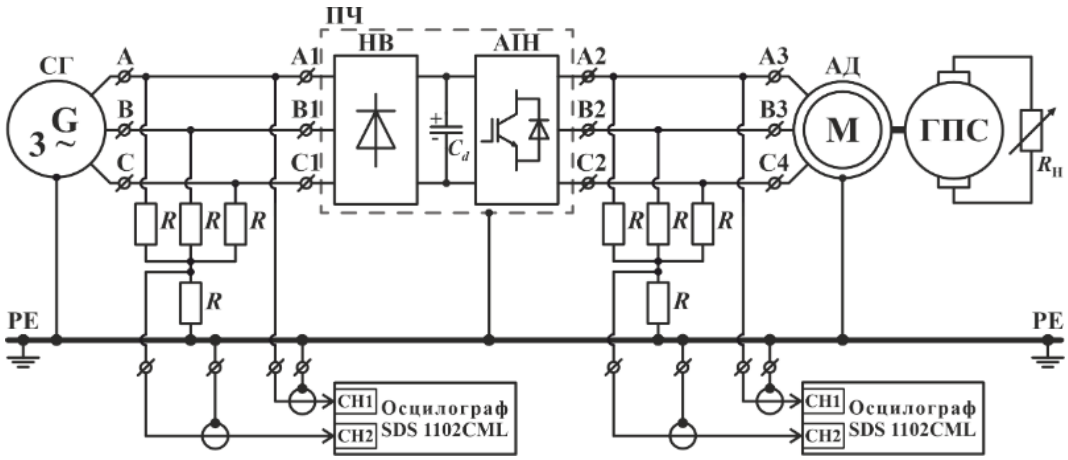
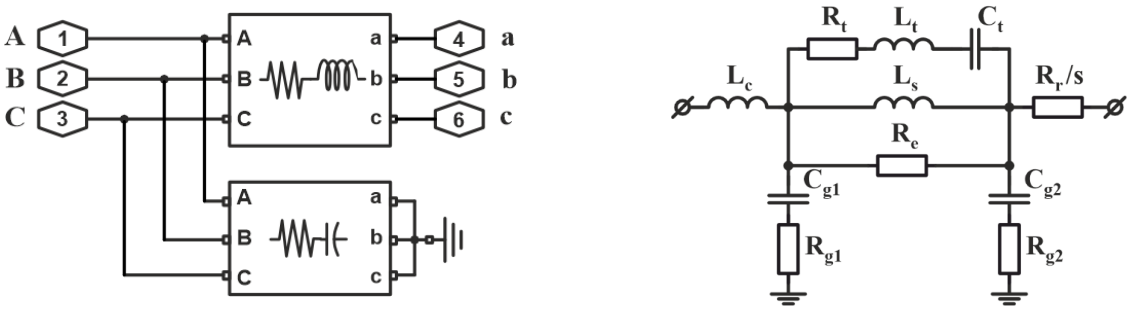


Рисунок 1 – Схема стенду для вимірювання спотворень напруги в автономній системі з ЧРЕП

На рис.2 наведено прилади для моніторингу параметрів якості електроенергії.



а *б*

Рисунок 2 – Моніторинг параметрів якості електроенергії на імітаційному стенді: на аналізаторі Metrel MI 2893 (а); на осцилографі Siglent SDS1102CML (б)

Оскільки загальновживані аналізатори ПЯЕ, зокрема MI 2893, враховують тільки НЧ гармоніки до 2,5 кГц і дають занижені значення THDu, в експерименті для оцінки впливу «супергармонік» (від 2,5 кГц до 25 кГц) на загальну величину THDu замість удосконаленого і дорогого широкополосного аналізатора-реєстратора використовувався цифровий осцилограф (ЦО) SDS1102CML, який зберігає сигнали у вигляді масиву точок (X, Y) на флеш-пам'яті. Імпорт цих даних у MATLAB Simulink дозволив відтворити сигнал і провести його гармонічний аналіз за допомогою блоку PowerGUI. Обсяг у 20480 точок за період з запасом забезпечив аналіз до 25 кГц (до 500-ї гармоніки), що перевершує існуючі спектроаналізатори і відкриває доступ до дослідження ВЧ-компонентів спектрів і відповідних складових THDu. За результатами проведеного авторами натурного експерименту на імітаційному стенді СЕЕС (рис. 1) встановлено, що загальний THD_U являє собою квадратурну суму складових низькочастотного НЧ та ВЧ діапазонів [9], та визначається за формулою:

$$THD_U = (THD_{U\,НЧ}^2 + THD_{U\,ВЧ}^2)^{1/2},$$

$$\text{де } THD_{U\,НЧ} = \left(\sum_{\nu=1}^{49} U_\nu^2 - U_1^2\right)^{1/2} \Big/ U_1;\ THD_{U\,ВЧ} = \left(\sum_{\nu=50}^{500} U_\nu^2\right)^{1/2} \Big/ U_1.$$

Одержано представлені на рис. 3 осцилограми фазної напруги на виході ПЧ та її диференціальної і синфазної складових, а також відповідні спектри з визначенням THDu. В таблиці 1 показані порівняння складових. Отже, запропонований спосіб експериментального визначення коефіцієнта гармонічних спотворень напруги дозволяє врахувати високочастотну область спектра і позбутися майже трикратної похибки в сторону заниження дійсної загальної величини THDu .

Зазначимо, що у всіх представлених спектрах спостерігаються максимуми околі частот, що кратні частоті перемикання ПЧ f_k = 4000 Гц (ν_k = 80). У спектрах фазної напруги та її диференційної складової найбільшу амплітуду має гармоніка основної частоти. У спектрі синфазної складової найбільшу амплітуду має третя гармоніка, а основна відсутня.

Щоб достатньо зменшити синфазні завади на виводах генератора і двигуна та уникнути екранування відповідних кабелів [11] рекомендує використовувати вбудовані в корпус ПЧ синусоїдні фільтри EMC (SineFormer). Схема подібного вихідного фільтра показана на рис.4.

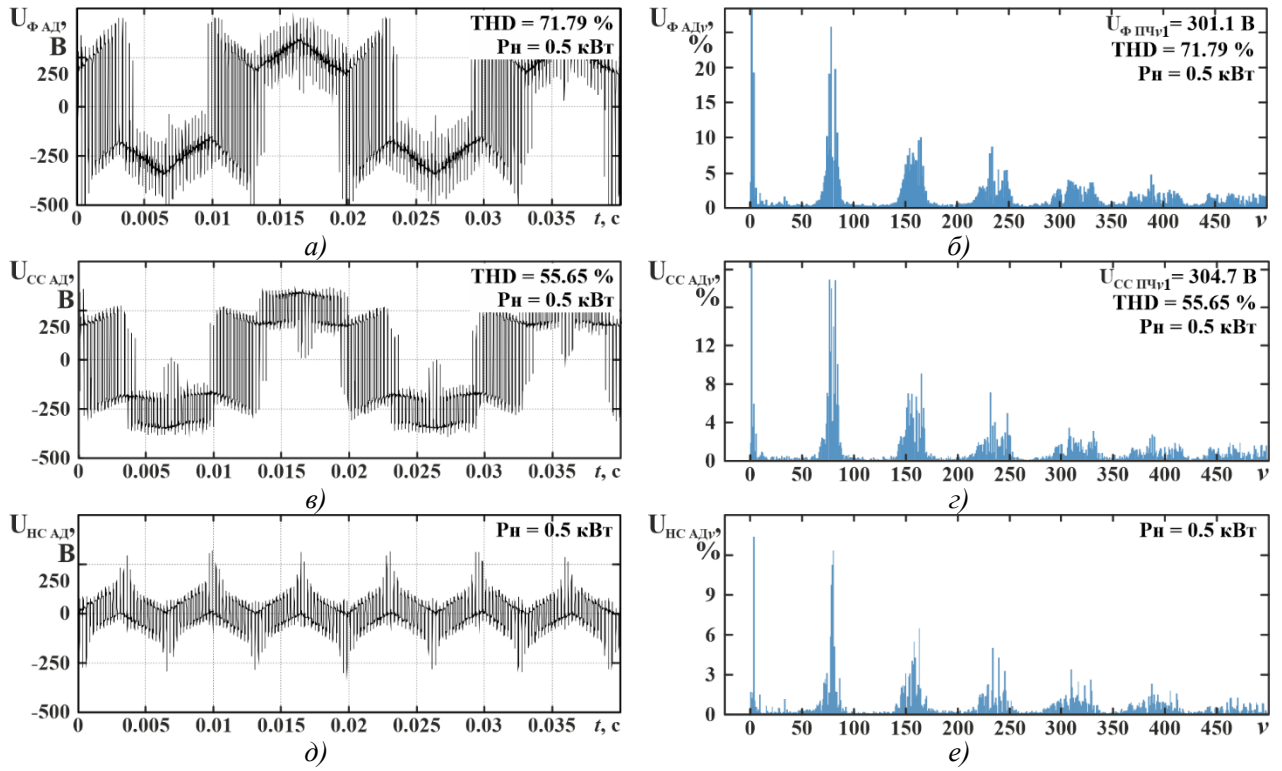


Рисунок 3 – Осцилограми і спектри: фазної напруги на виході ПЧ (а, б) та її складових : диференційної (симетричної) (в, г) та синфазної (несиметричної) (д, е) напруги

Таблиця 1 – Порівняння результатів визначення загального THDu та його НЧ та ВЧ складових

Спосіб вимірювання	THD_U **, %**	$THD_{U\,НЧ}$ **,%**	$THD_{U\,ВЧ}$ **, %**
Аналізатор MI 2893	25	25	-
Цифровий осцилограф + MATLAB	71,8	20,4	68,8

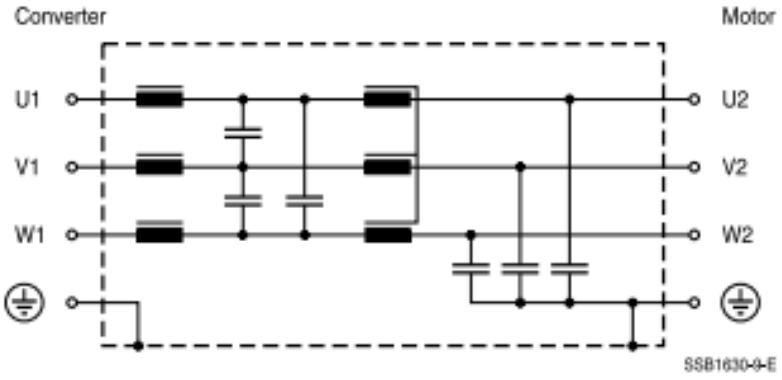


Рисунок 4 – Блок-схема синусоїдального фільтра EMC SineFormer

Схема складається з синусоїдального LC фільтрадля послаблення диференційних завад . Його фільтр для послаблення синфазних завад, що складаєься з дроселя з компенсацією струму та конденсаторів, підключених до землі. Подібну архітектуру має також і вхідний синусоїдальний фільтр EMC SineFormer. Бажані конфігурації фільтрів передбачають підключення індуктивностей до сторони з нижчим послідовним імпедансом, а конденсаторів до сторони з вищим паралельним імпедансом [11] Можливість відмовитися від екранованих проводів є особливою перевагою, оскільки залежно від поперечного перерізу та довжини проводу, використання SineFormer є більш економічно ефективним, ніж використання екранованих проводів. Вартість фільтра в багатьох випадках вже компенсується довжиною проводу близько 10 м при використанні неекранованого кабелю. Просте порівняння вартості SineFormer та неекранованих проводів з порівнянням вартості синусоїдального фільтра та екранованих проводів показує, що беззбитковість може бути досягнута вже для проводів коротших за 5 м, з урахуванням збільшення вартості монтажу екранованих проводів.

Для послаблення ВЧ CMV-завад на уточнених MATLAB-моделях СЕЕС з некерованими вхідними випрямлячами [10] перевірено ефективний демпферний пристрій синфазної напруги, утворений вхідним реактором ПЧ із паралельними RC-ланками (рис. 5).

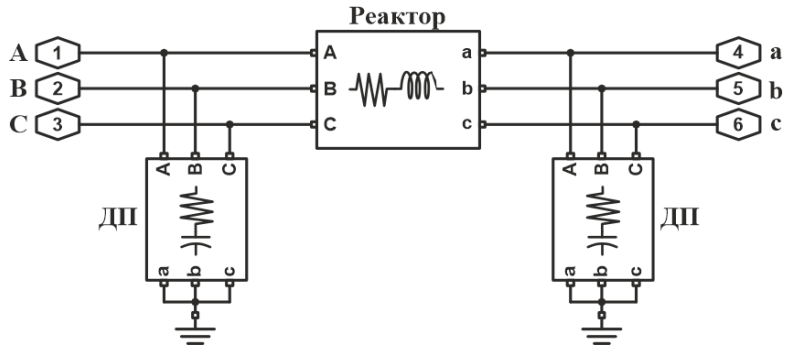


Рисунок 5 – Демпферний пристрій синфазної напруги

За результатами модельного дослідження отримано форми фазної напруги та відповідні їм гармонічні спектри в НЧ та ВЧ області в системі з НВ без демпфування, та з використанням запропонованого демпферного пристрою (рис. 6).

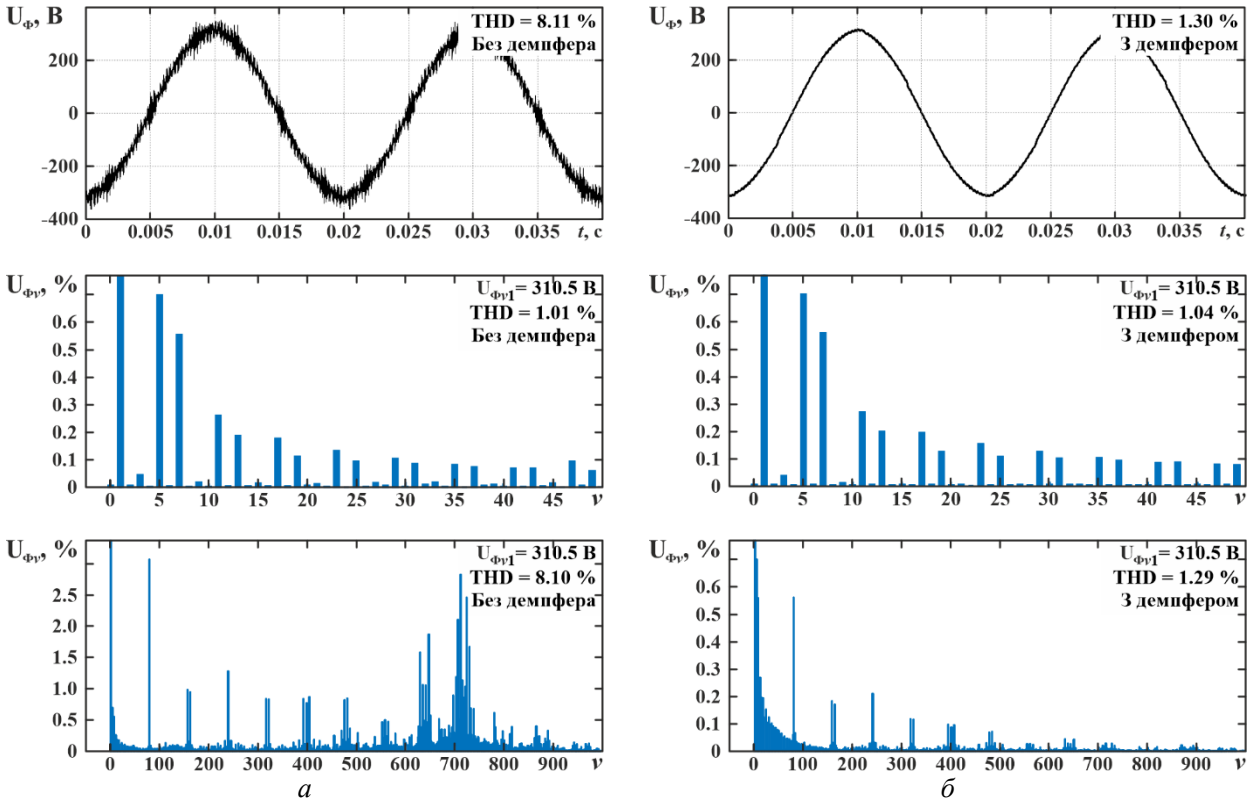


Рисунок 6 – Фазна напруга та її спектри в системі з НВ: без демпфування синфазної напруги (а), з демпфуванням (б)

Зведені числові результати в таблиці 2 показують, що нехтування гармоніками порядків ν > 50 призводить до заниження фактичного THDu у 8 разів для систем з НВ. Запропонований демпфер забезпечує зниження загального THDu у 6–10 разів, причому найбільший вплив на ВЧ складову чинять гармоніки саме синфазної напруги зі спектральними максимумами на порядках, кратних порядку частоти перемикання.

Таблиця 2 – Результати визначення коефіцієнта гармонічних спотворень THD_U

Фазна напруга	THD_{TOTAL}	$THD_{0...50}$	$THD_{0...100}$	$THD_{0...500}$	$THD_{0...1000}$	$THD_{50...100}$	$THD_{100...500}$	$THD_{500...1000}$
Без демпферу	8,11 %	1,01 %	3,24 %	4,50 %	8,10 %	3,078 %	3,122 %	6,734 %
З демпфером	1,30 %	1,04 %	1,20 %	1,29 %	1,29 %	0,598 %	0,473 %	0 %

ВЧ ЕМЗ впливають не лише на умови ЕМС, але й на загальні енергетичні показники СЕЕС з ЧРАЕП. Визначення енергетичних показників базувалося на стандарті IEEE 1459, який визначає алгоритми розрахунку потужності для несинусоїдальних систем. Отримані закономірності представлені у вигляді оригінальних тривимірних (3D) поверхонь залежностей складових потужності (повної, активної, реактивної та спотворення) та коефіцієнтів ефективності (коефіцієнта потужності, коефіцієнта зсуву та коефіцієнта спотворення) (рис. 4). Аналіз залежностей повної та реактивної потужностей (Рис. 7,а,б), а також потужності спотворення (Рис. 7,в) демонструють лінійний зв'язок між зазначеними величинами з активною потужністю у всьому діапазоні навантажень при незначному впливі зміни опорної частоти ШІМ. Реактивна потужність (Рис. 7,б) сягає піку у 2 кВАр, тоді як потужність спотворень демонструє значне зростання до 7 кВА. Це свідчить про те, що основний внесок у неактивну складову повної потужності автономної системи на вході ПЧ справляють саме спотворення струму, викликані роботою 6-пульсового некерованого випрямляча.

Коефіцієнт потужності (рис. 7,г) при збільшенні навантаження у повному діапазоні поступово зростає.

У режимі малих навантажень зміна опорної частоти ШІМ суттєво впливає на коефіцієнт потужності: її збільшення дозволяє помітно покращити цей показник. Проте, зі зростанням навантаження зазначений вплив зменшується і в номінальному режимі стає несуттєвим.

Коефіцієнт зсуву (Рис. 7,д) залишається стабільно високим (0.975-0.995) у всьому діапазоні, що показує, що низький загальний коефіцієнт потужності зумовлений не фазовим зсувом (реактивною потужністю), а виключно спотворенням форми струму (потужністю спотворення). Вплив зміни опорної частоти комутації загалом є незначним, проте при частоті 10 кГц спостерігаються чітко виражені відхилення від загальної гладкої поверхні коефіцієнта потужності. Ці відхилення можуть бути обумовлені паразитними ємнісними зв'язками між вхідними і вихідними колами ПЧ, а також резонансними явищами, що виникають у них саме за такої частоти комутації.

Форма поверхні коефіцієнта спотворення (рис. 7,е) майже ідентично повторює поверхню коефіцієнта потужності. Це підтверджує висунуту тезу про те, що саме спотворення струму є головним фактором зниження енергоефективності досліджуваної системи, а також доводить тісну кореляцію між розглянутими залежностями.

На 3D-поверхнях виявлено чітко виражені відхилення на частоті 10 кГц та менш помітні аномалії на частотах 5, 15 і 20 кГц, що свідчить про резонансні явища на частотах кратних опорній частоті 5 кГц. За таких умов виникають значні відхилення усіх енергетичних характеристик системи – як споживаної потужності, так і гармонічних спотворень напруги та струму, що найбільш критично проявляється у вихідному колі ПЧ. Це обумовлює критичну необхідність уникати зазначених частот при проєктуванні СЕЕС з ЧРАЕП. Крім того, на частотах нижче 8 кГц фіксуються критичні значення гармонічних спотворень фазного струму, що може спричинити передчасне старіння ізоляції та руйнування підшипникових вузлів двигуна, а на частотах понад 18 кГц суттєво зростає амплітуда синфазної напруги з підвищенням ризику електрокорозії валу.

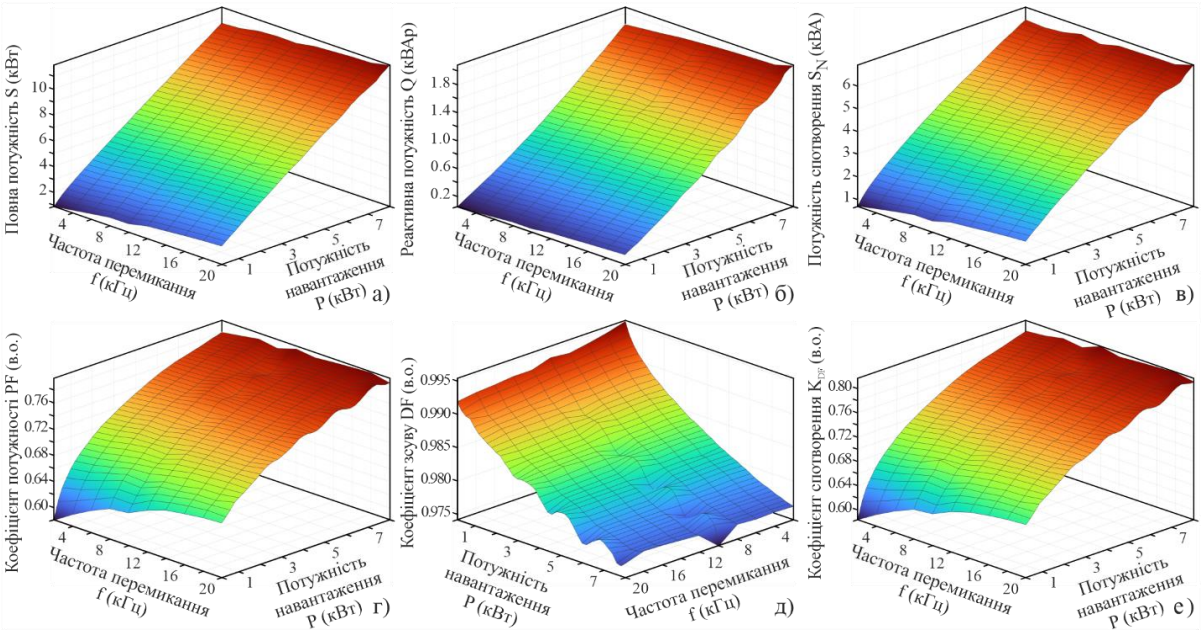


Рисунок 7 – Тривимірні поверхні залежностей складових потужності та коефіцієнтів ефективності від потужності навантаження і частоти комутації ШІМ-інвертора на вході перетворювача частоти

Висновки. Проведені дослідження доводять, що ВЧ електромагнітні завади від ПЧ у складі ЧРАЕП є суттєвим фактором, який впливає як на ЕМС, так і на загальні енергетичні характеристики СЕЕС. Запропонована методологія комплексного врахування ВЧ складових спотворень вирішує проблему «прихованих» завад та може бути застосована при проєктуванні надійних автономних електроенергетичних систем для морських суден і платформ. Результати дослідження обґрунтовують вибір раціональної частоти комутації ШІМ-інвертора у діапазоні 12–16 кГц для досягнення оптимального балансу між енергоефективністю та ЯЕ, а демпферний пристрій синфазної напруги, утворений вхідним реактором ПЧ із заземлюючими RC-ланцюжками, забезпечує ефективне зниження ВЧ завад у 6–10 разів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку адаптивних алгоритмів керування частотою комутації залежно від поточного рівня навантаження та на оцінку ефективності комплексного застосування активних і пасивних фільтрів для придушення гармонічних спотворень та синфазних струмів витоку в реальних СЕЕС.

Література

[1] Reusser C.A., Young H.A., Perez Osses J.R., Perez M.A., Simmonds O.J. Power Electronics and Drives: Applications to Modern Ship Propulsion Systems. IEEE Industrial Electronics Magazine. 2020. Vol. 14, No 4. Pp. 106–122.

[2] Ginn H., Cuzner R. The Shipboard Integrated Power System. IEEE Electrification Magazine. 2015. Vol. 3, No 2. Pp. 2–3.

[3] Markowska K., Zhuk D., Zhuk O., Kozlov M., Stepenko S., Voskoboenko V., Stecuła K., Miroshnyk O., Shchur T. Analysis and improvement of power quality in the onboard electrical power systems within a self-propelled floating crane. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2024. Vol. 161.

[4] Zhuk D., Zhuk O., Kozlov M., Stepenko S. Evaluation of Electric Power Quality in the Ship-Integrated Electrical Power System with a Main DC Bus and Power Semiconductor Electric Drives as Part of the Electric Propulsion Complex. Energies. 2023. Vol. 16 (7). 2961.

[5] Harmonic Distortion for Ship Electrical Distribution System including Harmonic Filters. IACS UR E24.

[6] Kozlov M., Zhuk D., Zhuk O., Linchenko V. High-Frequency Model of the Ship System "Voltage Source Inverter with Pulse Width Modulation – Asynchronous Motor". 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, 2024. Pp. 1–6.

[7] Brovont A.D., Lemmon A.N. Utilization of Power Module Baseplate Capacitance for Common-Mode EMI Filter Reduction. IEEE Electrification Ship Technology Symposium (ESTS). 2019. Pp. 403–408.

[8] Zhang Z., Hu Y., Chen X. et al. A Review on Conductive Common-Mode EMI Suppression Methods in Inverter Fed Motor Drives. IEEE Access. 2021. Vol. 9. Pp. 18345–18360.

[9] Жук Д.О., Жук О.К., Дьяконов О.С., Козлов М.О. Дослідження спотворень напруги в автономній системі з частотно-регульованим електроприводом. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 22–23 травня 2025. Т. 2. С. 220–222.

[10] Жук Д.О., Жук О.К., Козлов М.О., Al-Suod M.M.S. Аналіз впливу пропульсивних електроприводів з частотним регулюванням на якість електроенергії в судновій мережі. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. XVI Міжнародна науково-технічна конференція. Миколаїв, НУК, 2025.

[11] TDK EPCOS. EMC Filters – Application Notes. TDK Electronics AG, 2014. 40 p.

HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IN SHIPBOARD ELECTRICAL POWER SYSTEMS WITH VARIABLE-FREQUENCY PROPULSION DRIVES

Zhuk O.K., Zhuk D.O., Kozlov M.O., Yeremenko A.P., Linchenko V.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. Based on experimental and simulation studies, this paper explores approaches to improving the methodology for assessing the impact of high-frequency electromagnetic interference (HF EMI). This interference is generated by pulse-width modulated (PWM) frequency converters within variable-frequency induction motor drives and affects the power quality (PQ) and electromagnetic compatibility (EMC) of shipboard electrical power systems (SEPS). The study specifically accounts for parasitic parameters, primarily the phase-to-hull capacitances of cable lines and electrical machines. The HF EMI spectra within the SEPS phase voltage and the harmonic frequency range required for the accurate determination of the total harmonic voltage distortion (THDu) are investigated. An improved THDu measurement method is proposed, enabling the consideration of interference at frequencies up to 25 kHz (up to the 500th harmonic). An analysis of common-mode and differential-mode HF EMI is performed, demonstrating that the common-mode component exerts the primary influence on the resulting THDu. Furthermore, the application of an effective Pi-type EMI filter at the converter input is justified to ensure EMC in the high-frequency domain. A comprehensive evaluation of the system's power performance, accounting for HF EMI via a verified simulation model, provides the basis for recommendations regarding the selection of the PWM switching frequency.

Keywords: shipboard electrical power system, variable-frequency drives, PWM frequency converters, power quality, electromagnetic compatibility, methodology for assessing high-frequency electromagnetic interference, common-mode voltage, total harmonic voltage distortion (THDu), MATLAB model.
УДК 621.355

ВІД ХЛОРОАЛЮМІНАТНИХ ДВОХІОННИХ СИСТЕМ ДО AL^{3+}-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ: ПЕРСПЕКТИВИ ТРИВАЛЕНТНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ ЗАРЯДУ ДЛЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Свердліковська О.С.,
доктор хімічних наук, професор
Козлов Я.М.,
кандидат технічних наук, доцент
Швець С.О.,
аспірант
s.o.shvets@ust.edu.ua
Потапчук М.О.,
аспірант
Навчально-науковий інститут «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Анотація. Розглянуто принципові відмінності між алюміній-графітовими акумуляторами з хлоралюмінатними електролітами та системами, у яких передбачається перенесення Al(III)-вмісних катіонних частинок. Показано, що традиційні Al/графітові системи функціонують переважно за двохіонним механізмом за участю $AlCl_4^-$ та $Al_2Cl_7^-$ і не є безпосередньою реалізацією Al^{3+}-іонного акумулятора. Визначено основні фізико-хімічні обмеження тривалентного перенесення та обґрунтовано доцільність дослідження безводних нехлоралюмінатних електролітів. Окреслено послідовність експериментальної верифікації процесів за участю Al(III) для перспективних систем накопичення енергії.

Ключові слова: алюмінієвий акумулятор, Al^{3+}, тривалентний перенос заряду, двохіонний акумулятор, хлоралюмінатний електроліт, нехлоралюмінатний електроліт, накопичення енергії.

Розвиток електрифікованих і гібридних енергетичних комплексів зумовлює підвищення вимог до електрохімічних систем накопичення енергії. У суднових енергетичних системах акумуляторні батареї можуть використовуватися для компенсації пікових навантажень, резервного живлення та забезпечення роботи допоміжного електрообладнання. Тому пошук нових електрохімічних систем на основі доступних матеріалів залишається актуальним напрямом досліджень. Алюміній становить значний інтерес як матеріал для перезаряджуваних систем завдяки поширеності та можливості триелектронної окисно-відновної реакції. Тривалентність Al^{3+} є одним із чинників високої теоретичної зарядової ємності металевого алюмінію [1, с. 325]. Водночас термін «алюміній-іонний акумулятор» застосовується до систем із різними механізмами накопичення заряду. Тому важливо розмежовувати алюміній-графітові двохіонні системи та електрохімічні комірки, в яких перенесення заряду має бути пов’язане з Al(III)-вмісними катіонними частинками.

Метою роботи є визначення принципових відмінностей між хлоралюмінатним двохіонним механізмом та концепцією Al^{3+}-іонного акумулятора, встановлення основних обмежень тривалентного перенесення і обґрунтування перспектив дослідження безводних нехлоралюмінатних електролітів.

Значний прогрес у розвитку перезаряджуваних алюмінієвих акумуляторів було досягнуто для систем, що містять металевий Al, графітовий позитивний електрод та хлоралюмінатний іонно-рідинний електроліт. У таких комірках на алюмінієвому електроді відбуваються процеси осадження та розчинення Al, тоді як у графіт інтеркалюються хлоралюмінатні аніони [1, с. 325]. Оборотність інтеркаляції та деінтеркаляції цих частинок підтверджена спектроскопічними дослідженнями [2, с. 3–4]. Такі системи коректніше визначати як алюміній-графітові двохіонні акумулятори. На негативному електроді відбуваються процеси осадження і розчинення Al, тоді як на позитивному – інтеркаляція та деінтеркаляція $AlCl_4^-$ [3, с. 15374–15375]. Отже, Al^{3+} не переноситься безпосередньо між електродами. Хлоралюмінатний механізм дозволяє частково обійти кінетичні обмеження, характерні для тривалентного катіона. Електроліт при цьому виконує не лише транспортну функцію: $AlCl_4^-$ бере участь у реакціях на графітовому електроді, тоді як $Al_2Cl_7^-$ пов’язаний з оборотним осадженням Al у кислому електроліті [3, с. 15375; 4, с. 3]. Разом із тим хлоралюмінатні електроліти характеризуються чутливістю до вологи та корозійною активністю, що ускладнює вибір струмовідводів і конструкційних матеріалів [4, с. 1]. Для стаціонарних і транспортних накопичувальних систем це є важливим технологічним обмеженням.

Перехід до Al^{3+}-іонного механізму супроводжується низкою фізико-хімічних проблем. Висока густина заряду Al^{3+} спричиняє сильну взаємодію з розчинником і протиіонами, що ускладнює сольватацію, десольватацію та перенесення через межу електрод/електроліт [6, с. 1]. Крім того, взаємодія тривалентних частинок із кристалічною ґраткою позитивного електрода може обмежувати їх дифузію та оборотність. Тому під Al^{3+}-іонним переносом доцільно розуміти не рух ізольованого Al^{3+}, а транспорт Al(III)-вмісних катіонних або сольватованих частинок із подальшою перебудовою їх координаційного оточення та участю Al(III) в електродній реакції. Особливого значення набуває встановлення природи носія заряду. Наявність Al у матеріалі після циклування сама по собі не є доказом оборотної інтеркаляції Al^{3+}. Аналіз катодних матеріалів показує, що однозначне підтвердження такого механізму отримано лише для обмеженого кола систем [5, с. 280].

Одним із перспективних напрямів є дослідження безводних нехлоралюмінатних електролітів, у яких $AlCl_4^-$ та $Al_2Cl_7^-$ не виконують роль основних електрохімічно активних частинок. Безводне середовище дозволяє зменшити вплив реакцій, пов'язаних із водою, однак не усуває проблем пасивації Al, сольватації Al(III) та міжфазного перенесення. Оцінювання таких електролітів повинно ґрунтуватися не лише на їх іонній провідності, а насамперед на здатності забезпечувати оборотні процеси за участю Al(III). На першому етапі необхідно визначати електрохімічну стабільність електроліту та оборотність процесів осадження і розчинення алюмінію. При цьому наявність піків на циклічній вольтамперограмі не може розглядатися як достатній доказ осадження металевого Al. Наприклад, для системи $Al(OTf)_3$/NMA/urea встановлено, що значна частина електрохімічного сигналу була пов'язана з виділенням водню, тоді як істотне осадження металевого Al експериментально не підтверджено [6, с. 1]. Після підтвердження оборотності процесів на алюмінієвому негативному електроді доцільним є дослідження позитивних електродних матеріалів із обов'язковим визначенням природи Al-вмісної частинки, яка бере участь у накопиченні заряду. Така послідовність дозволяє окремо оцінити електроліт, Al-електрод та позитивний електродний матеріал і мінімізувати ризик помилкового трактування побічних процесів як Al^{3+}-іонного механізму. Для перспективних накопичувачів енергії, у тому числі потенційно орієнтованих на використання в суднових енергетичних комплексах, важливими критеріями є не лише електрохімічна ефективність, а й стабільність електроліту, відтворюваність циклування, корозійна сумісність матеріалів і експлуатаційна безпека.

Висновки. Хлоралюмінатні алюміній-графітові акумулятори є двохіонними системами, у яких $AlCl_4^-$ та $Al_2Cl_7^-$ забезпечують перебіг процесів, що дозволяють частково обійти обмеження прямого тривалентного перенесення. Реалізація Al^{3+}-іонного механізму потребує вирішення проблем сольватації та десольватації, міжфазного перенесення, пасивації Al і достовірної ідентифікації носія заряду. Перспективним напрямом є дослідження безводних нехлоралюмінатних електролітів із послідовним підтвердженням оборотності роботи Al-електрода, природи Al(III)-вмісних частинок та механізму їх взаємодії з позитивним електродом. Отримання таких даних є необхідною передумовою для подальшого оцінювання перспектив алюмінієвих систем як накопичувачів енергії для транспортних і суднових енергетичних комплексів.

Література

[1]. Lin M.-C., Gong M., Lu B. et al. An ultrafast rechargeable aluminium-ion battery. Nature. 2015. Vol. 520. P. 324–328. DOI: 10.1038/nature14340.

[2]. Wang D.-Y., Wei C.-Y., Lin M.-C. et al. Advanced rechargeable aluminium ion battery with a high-quality natural graphite cathode. Nature Communications. 2017. Vol. 8. Article 14283. DOI: 10.1038/ncomms14283.

[3]. Shi H., Teck A. A., Lander L., Titirici M.-M. Aluminum–graphite dual-ion batteries: recent advances and challenges. Green Chemistry. 2025. Vol. 27. P. 15374–15402. DOI: 10.1039/D5GC05069C.

[4]. Fuentes-Mendoza E., Talari M., Zemlyanushin E. et al. Navigating the Challenges of Rechargeable Aluminum Battery Research: Material Instabilities, Technical Hurdles, and Future Directions. ChemElectroChem. 2025. Vol. 12. e202400705. DOI: 10.1002/celc.202400705.

[5]. Liu T., Lv G., Liu M. et al. Cation-intercalation and conversion-type cathode materials for rechargeable aluminum batteries. Materials Chemistry Frontiers. 2022. Vol. 6. P. 280–296. DOI: 10.1039/D1QM01267C.

[6]. Talari M., Sarapulova A., Zemlyanushin E. et al. Exploring the Possibility of Aluminum Plating/Stripping from a Non-Corrosive $Al(OTf)_3$-Based Electrolyte. Batteries & Supercaps. 2025. Vol. 8. e202400317. DOI: 10.1002/batt.202400317.

FROM CHLOROALUMINATE DUAL-ION SYSTEMS TO Al^{3+}-ION BATTERIES: PROSPECTS FOR TRIVALENT CHARGE TRANSPORT IN ENERGY STORAGE SYSTEMS

Sverdlikovska O.S., Kozlov Ya.M., Shvets S.O., Potapchuk M.O.

Educational and Scientific Institute "Ukrainian State University of Chemical Technology" of the Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Abstract. The fundamental differences between aluminum–graphite batteries employing chloroaluminate electrolytes and systems based on Al(III)-containing cation transport are considered. Conventional Al/graphite cells operate mainly through a dual-ion mechanism involving $AlCl_4^-$ and $Al_2Cl_7^-$ species and therefore cannot be regarded as a direct implementation of the Al^{3+}-ion battery concept. The principal physicochemical limitations of trivalent charge transport are identified, and anhydrous non-chloroaluminate electrolytes are substantiated as a promising direction for further research. A stepwise approach to verifying reversible electrochemical processes involving Al(III) is proposed for prospective energy-storage systems.

Keywords: aluminum battery, Al^{3+}, trivalent charge transport, dual-ion battery, chloroaluminate electrolyte, non-chloroaluminate electrolyte, energy storage.

УДК 620.178.5

ДЕФЕКТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО НАСОСУ

Свиридов В.І.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
viacheslav.svyrydov@nuos.edu.ua

Анотація. Незважаючи на те, що електричні приводи мають багато переваг, через складну структуру причини збоїв є диверсифікованими. Ось чому деякі складні несправності необхідно передбачити та усунути, щоби забезпечити постійну надійну експлуатацію цього електродвигуна.

Ключові слова. Експлуатація, дефекти, параметри, вібрації, модуляція.

Дефекти електромагнітної системи електроприводу (яка складається з магнітопроводу та котушок/обмоток) є однією з найчастіших причин виходу з ладу електродвигунів та пускорегулювальної апаратури. Вони призводять до порушення магнітної симетрії, перевитрат енергії, сильного перегріву та механічних вібрацій і це є:

1. Дефекти обмоток (електричної частини системи)
2. Дефекти магнітопроводу (сталі статора та ротора)
3. Дефекти конструкції та геометрії

Хоча природа вібрації електромагнітного походження є загальною для електродвигунів усіх типів (серед яких асинхронний двигун має найбільш складний вид електромагнітного поля), особливості процесів взаємного перетворення електричної та механічної енергії, а також індивідуальні конструктивні особливості як типу, так і кожної конкретної машини можуть істотно впливати на характер її вібрації. Внаслідок цього діагностичні ознаки дефектів ланцюгів у різних типах електродвигунів можуть суттєво відрізнятися (рис. 1).

В всіх видах електричних машин присутні два основних види сил збудження електромагнітного походження:

– радіальні сили, що виникають при тимчасових та просторових змінах магнітного поля в повітряному зазорі між ротором і статором;

– тангенціальні сили, що виникають під час взаємодії магнітного поля з лінійним струмовим навантаженням машини.

Характер цих сил визначається зміною магнітно-рушійної сили, тобто магнітного потоку обмоток, магнітною провідністю повітряного зазору в машинах, індукцією магнітного поля та лінійним струмовим навантаженням в обмотках машини. При цьому електромагнітні сили можуть викликати значні деформації магнітопроводу, збуджуючи просторові коливання статора та вигин кільця статора, а також вигин ротора. Джерела електромагнітних сил розподілені у просторі і мають конкретні точки докладання.

При проєктуванні електричних двигунів розподіл електричних і магнітних сил і потоків у ланцюгах прагнуть зробити просторово симетричним. Їхній внесок у загальну вібрацію машин у справному стані здебільшого невеликий.

Основний вплив на характер вібрацій, які можуть виникнути під час роботи електродвигуна, мають рівень технології виготовлення електричної машини, умови складання (або після ремонту) та особливості експлуатації. Низька якість перших двох факторів може призвести до асиметрії електричних та магнітних ланцюгів, з переходом на нелінійні ділянки кривої намагнічування у різних режимах роботи машини, а також до прояву нелінійності опору магнітних ланцюгів. Наприклад, відхилення форми статора і ротора, перекоси підшипників (опор ротора) та інші дефекти виготовлення й складання, що викликають статичний і динамічний ексцентриситет (тобто нерівномірність повітряного зазору), можуть призводити до появи значної магнітної асиметрії та зміни характеру вібрації. З іншого боку, параметри вібрації машини можуть залежати від умов експлуатації (наприклад, кількості пусків електродвигуна) і головне, якості напруги мережі.

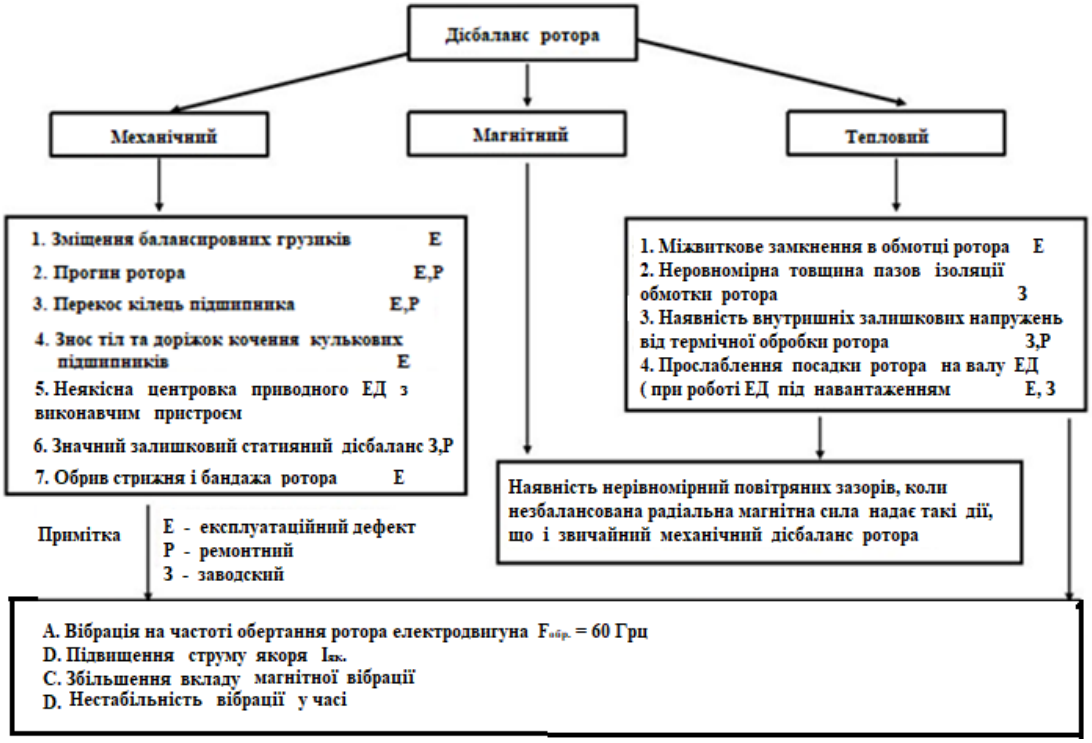


Рисунок 1. Дисбаланс ротора

Під час діагностування дефектів, що супроводжуються підвищеною вібрацією електродвигуна, насамперед необхідно встановити, чи є її причиною електромагнітне чи механічне походження. Між останніми не завжди можна провести чітку межу: тріщина в стрижні ротора артеріального тиску може призвести до його місцевого нагрівання і, як наслідок, теплового дисбалансу (у цьому випадку першопричина – дефект електричного походження).

В електромеханічних системах, особливо за наявності електромагнітних і механічних дефектів, одночасне існування і взаємодія різних сил, що викликають вібрацію, можуть призводити до виникнення складних сигналів вібрації: модуляції та биття.

Висновки. Дефекти електромагнітної системи електроприводу є однією з найчастіших причин виходу з ладу електродвигунів і пускорегулювальної апаратури. Вони призводять до порушення магнітної симетрії, перевитрат енергії, сильного перегріву та механічних вібрацій. Ось чому під час експлуатації електродвигунів цьому питанню необхідно приділяти першочергову увагу.

Література

[1]. Костишин В. С., Яремак І. І. Аналіз показників ефективності та надійності роботи насосного агрегата на засадах системного підходу. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2017. № 1 (62). С. 50–60.

[2]. Інформаційне забезпечення моніторингу об’єктів теплоенергетики: Монографія. В.П. Бабак та ін., за ред. В.П. Бабака. К., Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 51 с.

[3]. Костишин В. С., Яремак І. І. Математична модель надійності та ефективності роботи насосного агрегата нафтоперекачувальної станції. Науковий вісник. Національного гірничого університету. 2017. № 5 (161). С. 62–68.

[4]. Інформаційне забезпечення моніторингу об’єктів теплоенергетики: Монографія. В.П. Бабак та ін., за ред. В.П. Бабака. К., Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 51 с.

[5]. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів, ФМІ НАНУ, 2013, 80 с.

DEFECTS OF THE ELECTROMAGNETIC SYSTEM OF THE SHIP PUMP ELECTRIC DRIVE

Svyrydov Viacheslav
Ship Mechanical Engineering and Power Engineering, Educational and scientific institute,
National Shipbuilding University named after Admiral Makarov

Abstract. Although electric drives may experience significant overload and have a foldable structure, the causes of failure are diverse, so it is necessary to prevent and eliminate such faults to ensure the proper operation of this electric motor.

Keywords. Operation, defects, parameters, vibrations, modulation.

УДК 697.3:001.895(477.73)

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОПАЛЕННЯ БУДИНКІВ ТА КВАРТИР У М. ПЕРВОМАЙСЬК МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОПАЛЕННЯ

Шостак О.В.,
старший викладач кафедри ЕІ та РС,
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Первомайськ, Україна,
oleksandr.shostak@edu.ua

Анотація. У роботі розглянуто актуальні питання впровадження інноваційних автономних систем опалення для житлового фонду міста Первомайськ Миколаївської області в умовах повної ліквідації централізованого теплопостачання. Проаналізовано техніко-економічний потенціал використання теплових насосів типу «повітря-вода» та «повітря-повітря» у багатоквартирних будинках. Досліджено ефективність застосування інтелектуальних електричних систем із керамічними панелями, керованих мікропроцесорними приводами, та гібридних геліосистем для приватного сектору громади. Запропоновано комплексні рекомендації щодо автоматизації та тепломодернізації об'єктів нерухомості з метою забезпечення їхньої енергонезалежності.

Ключові слова: інноваційне опалення, теплові насоси, децентралізація, енергоефективність, Первомайськ, енергоефективний привод, автоматизація.

Вступ та актуальність. Сучасний стан житлово-комунального господарства міста Первомайськ характеризується повною децентралізацією теплопостачання через фактичне припинення діяльності та ліквідацію систем комунального центрального опалення (ЦО). Це змушує власників приватних будинків та квартир самостійно вирішувати питання тепломодернізації. Перехід від традиційного індивідуального газового опалення до інноваційних альтернативних технологій та засобів автоматизації є ключовим кроком для забезпечення енергонезалежності, екологічності та зниження фінансового навантаження на населення громади.

Основна частина. Аналіз інноваційних рішень:

1. *Теплові насоси (системи «повітря-вода» та «повітря-повітря»)*. На сьогодні це найбільш енергоефективний метод опалення. Завдяки інверторним компресорам високого класу, теплові насоси дозволяють отримувати до 3–5 кВт теплової енергії на кожен 1 кВт витраченої електрики [1, с. 14]. Для багатоквартирного фонду Первомайська оптимальним рішенням є мультиспліт-системи та повітряні насоси, які інтегруються у квартири без значних капітальних перебудов міських комунікацій та здатні працювати за низьких зовнішніх температур.
2. *Інтелектуальні енергоефективні приводи та системи керування*. Важливим елементом сучасних децентралізованих систем є використання електронних сервоприводів із кроковими двигунами та ШІМ-керуванням для автоматичних терморегуляторів і клапанів розподілу теплоносія [2, с. 88]. Такі інноваційні приводи динамічно змінюють кут відкриття запірної арматури або положення повітряних заслінок на основі сигналів від мікроконтролера. Завдяки високій точності позиціонування та інтеграції в екосистеми Smart Home, вони мінімізують перевитрати енергії, забезпечуючи підтримання мікроклімату в окремих зонах приміщення із точністю до 0,1 °С, що знижує загальне енергоспоживання на 20–30 % [2, с. 90].
3. *Інтелектуальні електричні системи та керамічні панелі*. Опалення на базі довгохвильових інфрачервоних керамічних обігрівачів у поєднанні з програмованими терморегуляторами мінімізує тепловтрати [3, с. 54]. Інтелектуальні системи дозволяють здійснювати дистанційний зонний контроль температури в кожній кімнаті за допомогою мобільних додатків, що суттєво оптимізує споживання енергії у часи пікових навантажень на обмежені електричні мережі міста.

4. *Гібридні системи із сонячними колекторами*. Для приватного сектору Первомайська та прилеглих населених пунктів району перспективним є поєднання твердопаливних котлів тривалого горіння (на пелетах/брикетах) із геліосистемами (сонячними колекторами) [4, с. 42]. Геліосистеми дозволяють повністю покривати потреби в гарячому водопостачанні в неопалювальний період та частково підтримувати низькотемпературні контури опалення (наприклад, водяну теплу підлогу) взимку.

Висновки та рекомендації. Повна відсутність централізованого опалення у Первомайську вимагає комплексного підходу до модернізації внутрішньобюджетних та внутрішньобудинкових мереж. Основним вектором розвитку для житлового фонду є впровадження енергоефективних повітряних теплових насосів та інфрачервоних систем із «розумним» керуванням на базі мікропроцесорних приводів. Для досягнення максимального економічного ефекту від інноваційного опалення обов'язковою умовою залишається попереднє комплексне утеплення фасадів, заміна вікон та модернізація електричних мереж житлового фонду громади.

Література

1. Безродний М. К. Ефективність застосування теплонасосних систем теплопостачання. Київ: Політехніка, 2018. 14 с.
2. Мартинов О. П., Жуков С. А. Енергоефективні електроприводи та виконавчі механізми в системах автоматизації мікроклімату. Автоматика та роботизовані комплекси. 2023. № 2. С. 84–93.
3. Лисенко О. В. Інтелектуальні системи енергоменеджменту житлових будівель. Енерго-ефективність в ЖКГ. 2021. № 3. С. 51–58.
4. Сидоренко В. П. Гібридні відновлювані джерела енергії для децентралізованих систем опалення. Одеса: Екологія, 2020. 21 с.

INNOVATIVE METHODS OF HEATING HOUSES AND APARTMENTS IN PERVOMAISK, MYKOLAIV OBLAST UNDER CONDITIONS OF ABSENCE OF CENTRAL HEATING

Shostak Oleksandr Vasylovych
Pervomaisk Polytechnic Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper considers urgent issues of introducing innovative autonomous heating systems for the housing stock of the city of Pervomaisk, Mykolaiv Oblast, under conditions of complete liquidation of centralized heat supply. The technical and economic potential of using "air-to-water" and "air-to-air" heat pumps in apartment buildings is analyzed. The efficiency of using intelligent electrical systems with ceramic panels controlled by microprocessor drives and hybrid solar systems for the private sector of the community has been investigated. Comprehensive recommendations for automation and thermal modernization of real estate objects in order to ensure their energy independence are proposed.

Keywords: innovative heating, heat pumps, decentralization, energy efficiency, Pervomaisk, energy efficient drive, automation.

УДК 621.314

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМОТРОНУ ЯК НАВАНТАЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Костюченко В.І.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри суднових електроенергетичних систем
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
vitalii.kostiuchenko@nuos.edu.ua;

Анотація: Розглянуті питання ідентифікації параметрів плазмотрона як нелінійного навантаження джерел живлення в режимі її нормального функціонування. На основі критеріального рівняння вольт-амперної характеристики плазмової дуги досліджується вплив струму, витрати та тиску плазмоутворюючого газу на електричні властивості технологічного вузла. Проведено розрахунок статичного та від'ємного диференціального (квазідинамічного) опорів, а також виконано лінеаризацію вольт-амперної характеристики ВАХ в околиці робочої точки. Отримані результати забезпечують необхідну інформацію для проєктування джерел живлення та забезпечення сталої роботи системи «джерело – навантаження».

Ключові слова: ідентифікація параметрів, плазмотрон, джерело живлення, вольт-амперна характеристика, статичний опір, диференціальний опір, лінеаризація.

Вступна частина. Ефективне проєктування джерел живлення для електродугових технологічних установок потребує вичерпної інформації про властивості їх навантаження [1]. Технологічним вузлом у таких системах виступає плазмотрон, електрофізичні параметри якого характеризуються вираженою не лінійністю [1, 2]. Основним джерелом даних для ідентифікації моделі навантаження є статична вольт-амперна характеристика (СВАХ) плазмової дуги [2]. Для повного опису властивостей об'єкта розрізняють статичний опір постійному струму та квазідинамічний (диференціальний) опір при малих збільшеннях сигналу [2, 3]. Від'ємний характер диференціального опору падаючої ВАХ обумовлює схильність системи до нестійкості, що висуває особливі вимоги до узгодження властивостей джерела живлення та дуги [2, 4]. Використання диференціальних параметрів дозволяє лінеаризувати нелінійну характеристику плазмотрона на околиці робочої точки для аналізу режимів функціонування [3, 4]. У даній роботі на основі критеріального рівняння ВАХ виконується ідентифікація статичного та диференціального опорів навантаження з урахуванням впливу тиску та витрати плазмоутворюючого газу.

Метою роботи є отримання достовірної математичної моделі навантаження, необхідної для забезпечення максимальної ефективності передачі потужності джерела живлення (ДЖ) до технологічного вузла. Для інженера-розробника систем електроживлення критично важливим є розуміння того, що плазмове навантаження вимагає різних підходів при аналізі стаціонарних режимів функціонування та динамічних процесів.

Основна частина. Проєктування ДЖ передбачає наявність повної інформації про його навантаження. Це стосується насамперед статичних характеристик, від яких залежить ефективність передачі потужності в технологічний вузол. Метою ідентифікації моделі навантаження є визначення її параметрів в режимі нормального функціонування.

Вочевидь, що у більш складному випадку необхідне визначення параметрів динамічної моделі об'єкта.

Основним джерелом інформації під час ідентифікації є СВАХ плазмової дуги [2]. При аналізі реальної статичної ВАХ $u = f(i)$ розрізняють статичні опір та провідність дуги постійному струму та динамічні опір та провідність змінному струму. Перший опір визначається відношенням напруги дуги до постійного струму, наприклад, у точці А (рис. 1), тобто $R_{\text{ст}0} = U_A / I_A = f_1(i) = k \cdot tg\alpha$, що відповідає тангенсу кута α, утвореного прямою, проведеною з початку координат в дану точку характеристики. Динамічний опір $R_{\text{дф}0}$, називається диференціальним, визначається зі статичної характеристики аналогічно, з тією різницею, що враховується мала амплітуда зміни струму в точці А ($|\Delta i| / |I_A| << 1$). Опір враховується кутом нахилу β дотичної в точці А ($R_{\text{дф}0} = \lim\limits_{\Delta i \to 0} \dfrac{\Delta u}{\Delta i} = \dfrac{du}{di}\Big|_{\,i=I_A} = f_2(i) = k \cdot tg\beta$). Іноді зручніше користуватися диференціальною крутизною ВАХ $S_{\text{дф}0} = 1 / R_{\text{дф}0} = 1 / u'(I_A)$. Зазначимо, що при досить повільних змінах напруги і струму динамічні характеристики збігаються зі статичними.

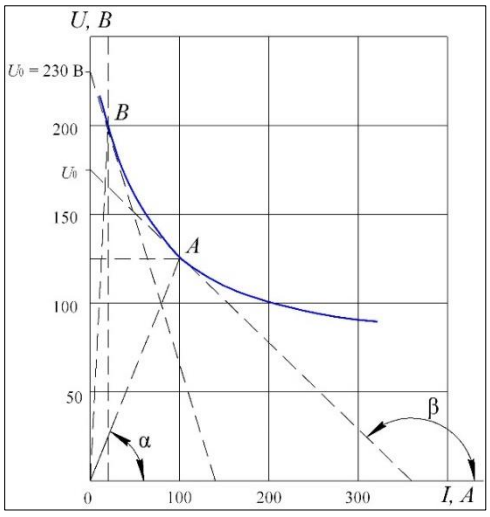


Рисунок 1 – Статична ВАХ плазмової дуги

Динамічні характеристики, що дають зв'язок між напругою та струмом дуги при досить швидких змінах струму, можуть відрізнятися від статичних характеристик, наприклад, внаслідок теплової інерції та інших причин. З них визначаються динамічні опори та провідності нелінійного елемента $R_{\text{дин}}$ та $Y_{\text{дин}}$. Тому опір $R_{\text{дф}0}$, визначений вище, можна назвати квазідинамічним, оскільки відповідає змінам струму при низьких частотах, у яких не враховуються частотні властивості дуги [2].

Підкреслимо, що вводячи поняття диференціального опору або диференціальної крутизни, ми, по суті, лінеарізуємо реальну ВАХ, що справедливо лише для малих прирощень сигналу щодо робочої точки.

Для спільності завжди говоритимемо про диференціальні параметри $R_{дф0}$ і $Y_{дф0}$, маючи на увазі, що при дуже повільних змінах струму вони збігаються з динамічними параметрами, тобто $R_{дф0} = R_{дин}$ і $Y_{дф0} = Y_{дин}$.

Нагадаємо на закінчення, що в загальному випадку ВАХ дуги належить до другого класу – керованої струмом ВАХ $u = f(i)$, для якої задані в інтервалі $-\infty \le i \le \infty$ струми у кожній точці характеристики однозначно визначають напругу, але за заданою напругою струми визначаються неоднозначно [4].

Для визначення параметрів навантаження можна скористатися ВАХ плазмотрону в критеріальній формі [4]:

$$U = A\left(\frac{I^2}{Gd}\right)^{\alpha}\left(\frac{G}{d}\right)^{\beta}(pd)^{\gamma},$$

де U та I – напруга та струм дуги відповідно; A, α, β, γ – постійні величини, що визначаються з експерименту; G – витрата повітря, кг / с; p – тиск повітря на каналі, Па. Постійні для повітря: A = 1290; α = -0,15; β = 0,3; γ = 0,25; G = 0,00455; d = 0,0022 (дуговий проміжок, м); $p = 6{,}86 \cdot 10^5$ Па.

На рис. 2 – 4 представлені результат обчислень у математичному пакеті *MathCAD* СВАХ дуги плазмотрону.

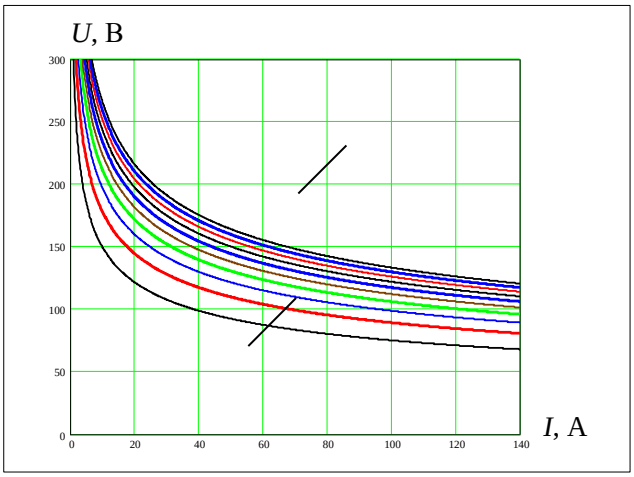


Рисунок 2 – Сімейство ВАХ плазмотрону при зміні тиску від 10000 Па до 100000 Па з кроком 10000 Па (лінії 1–10)

Пакет прикладних математичних програм *MathCAD* здійснює як чисельні, і символьні операції математичного аналізу. Для ідентифікації використовуються функції алгебри і символьне диференціювання.

На рис. 3 та 4 зображені відповідно залежності статичного та динамічного опору дуги від струму.

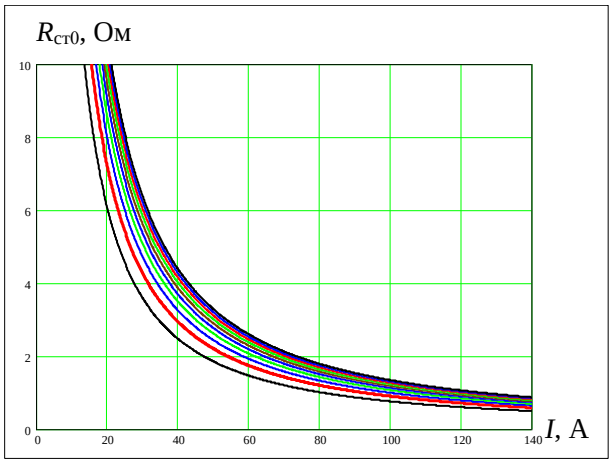


Рисунок 3 – Залежність статичного опору дуги від струму та тиску газу

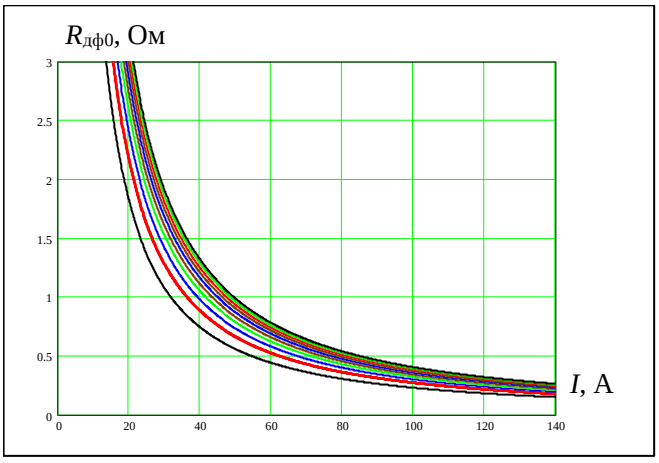


Рисунок 4 – Залежність динамічного опору дуги від струму та тиску газу

Висновки. Проведена ідентифікація параметрів плазмотрона з урахуванням критеріальної моделі забезпечує розробника необхідним масивом даних для синтезу системи керування. Значення статичного та диференціального опорів дозволяють не тільки обґрунтовано вибрати топологію перетворювача, але й зробити прецизійне налаштування регуляторів, гарантуючи стабільність горіння дуги у широкому діапазоні зміни тиску та струму. Критеріальна модель визнається достатньою для опису навантаження у штатних режимах експлуатації.

Література

[1] Верещаго Е. Н., Костюченко В. И. Физико-математическая модель цепи питания плазмотрона. – Сварочное производство. – 2013. – № 2. – С. 19 – 25.

[2] Патон Б. Є., Завадський В. А. Джерела живлення для дугової та плазмової обробки. – К.: Наукова думка, 1980. – 24 с.

[3] Сидорец В. Н., Пентегов И. В. Детерминированный хаос в нелинейных цепях с электрической дугой. – Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2013. – 27 с.

[4] Зайцев В. А., Тютін Є. В. Математичне моделювання параметрів навантаження спеціального технологічного обладнання // Електротехніка та електроенергетика. – 2018. – № 2. – С. 34–41.

IDENTIFICATION OF PLASMOTRON PARAMETERS AS POWER SUPPLY LOAD

Vitalii Kostiuchenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The issues of identifying the parameters of a plasma torch as a nonlinear load of power supplies in the mode of its normal operation are considered. Based on the criterion equation of the current-voltage characteristic (CVC) of a plasma arc, the influence of current, flow rate and pressure of the plasma-forming gas on the electrical properties of the technological unit is studied. The calculation of static and negative differential (quasi-dynamic) resistances was carried out, and the linearization of the current-voltage characteristic in the vicinity of the operating point was performed. The results obtained provide the necessary information for designing power supplies and ensuring stable operation of the source-load system.

Keywords: parameter identification, plasma torch, power supply, current-voltage characteristic (CV), static resistance, differential resistance, linearization.

УДК 621.311.6:629.5-52

АНАЛІЗ КОНТАКТНИХ І БЕЗКОНТАКТНИХ СПОСОБІВ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА БЕЗЕКІПАЖНІ НАДВОДНІ АПАРАТИ

Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
tasman.leh.85@gmail.com
Анічин А.Ю.,
аспірант
an.andrey.90@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. Проведено аналіз контактних і безконтактних способів передачі електроенергії для заряджання акумуляторних батарей безекіпажних надводних апаратів. Визначено основні технічні та експлуатаційні фактори, що впливають на вибір способу передачі електроенергії в морських умовах. Показано, що контактні системи характеризуються конструктивною простотою та високою ефективністю передачі енергії, проте висувають підвищені вимоги до стикування, герметизації та захисту електричних контактів. Встановлено перспективність застосування індуктивних безконтактних систем для автоматизованого заряджання безекіпажних надводних апаратів за умови забезпечення допустимої ефективності передачі енергії при просторовому зміщенні передавального і приймального модулів.

Ключові слова: безекіпажний надводний апарат, електроенергія, акумуляторна батарея, контактне заряджання, безконтактна передача електроенергії, індуктивна передача енергії, зарядна станція.

Вступ. Розвиток безекіпажних надводних апаратів (БНА) супроводжується розширенням тривалості та складності виконуваних ними автономних місій. Одним із факторів, що обмежує тривалість автономної

роботи електричних БНА, є запас енергії бортових акумуляторних батарей. Необхідність повернення апарата до берегової бази або судна забезпечення для заряджання акумуляторних батарей призводить до переривання місії та знижує ефективність використання БНА.

Перспективним напрямом підвищення автономності є застосування стаціонарних або плавучих зарядних станцій, до яких БНА може підходити без участі екіпажу, здійснювати автоматичне позиціонування та поповнювати запас електричної енергії. Сучасні концепції автономних плавучих зарядних платформ передбачають автоматичне знаходження зарядної станції, стикування та заряджання БНА без повернення до берегової інфраструктури, із можливістю застосування як контактного, так і безконтактного способу передачі енергії.

Водночас специфічні умови морського середовища – хвилювання, хитавиця, корозійна активність, соляний туман, забруднення поверхонь та нестабільність взаємного положення БНА і зарядної станції – потребують обґрунтованого вибору способу передачі електроенергії.

Мета дослідження. Метою роботи є порівняльний аналіз контактних і безконтактних способів передачі електроенергії на безекіпажні надводні апарати та визначення перспективних технічних рішень для створення автоматизованих морських зарядних систем.

Основна частина. Контактний спосіб передбачає безпосереднє електричне з'єднання зарядної станції з бортовою електроенергетичною системою БНА. Для цього можуть використовуватися штекерні з'єднання, контактні площадки, спеціальні герметизовані роз'єми або інші електромеханічні стикувальні пристрої. Перевагою такого підходу є відсутність проміжного електромагнітного каналу передачі енергії, що спрощує силову частину зарядного обладнання та створює можливість передачі значної потужності.

Основні складнощі контактного способу виявляються під час його автоматизації. Для встановлення надійного електричного з'єднання необхідно забезпечити позиціонування БНА відносно зарядної станції, механічну фіксацію та необхідне притискне зусилля контактних елементів. Хвилювання водної поверхні спричиняє безперервні відносні переміщення БНА та зарядної станції, що може ускладнювати стикування та знижувати стабільність контакту. Додатковими факторами є необхідність захисту контактних поверхонь від морської води, корозії, забруднення та біологічних відкладень.

Застосування спеціалізованих герметичних роз'ємів знижує вплив зазначених факторів, однак ускладнює механічну частину системи стикування. Таким чином, при створенні повністю автономної зарядної станції контактний спосіб потребує спільного вирішення електротехнічної та механічної задач.

Безконтактна передача електроенергії дозволяє виключити безпосереднє гальванічне з'єднання силових кіл зарядної станції та БНА. Серед технологій безконтактної передачі для морських роботизованих засобів найбільшого практичного розвитку набула індуктивна передача електроенергії (Inductive Power Transfer, IPT). Передавальний модуль формує змінне електромагнітне поле, а приймальний модуль, розташований на БНА, перетворює отриману енергію в електричну з подальшим випрямленням і використанням для заряджання акумуляторної батареї.

Сучасні дослідження демонструють можливість реалізації IPT-систем значної потужності безпосередньо для БНА. У роботі S. Niu та співавторів досліджено систему потужністю 6 кВт, конструкція якої оптимізована за критеріями переданої потужності, маси бортового обладнання та допустимого взаємного зміщення передавальної і приймальної частин. Застосування багатокотушкової приймальної структури дозволило при зміщенні від 0 до 10 мм обмежити зменшення коефіцієнта магнітного зв'язку величиною 8,73 % [1].

Подальший розвиток таких систем спрямований на інтеграцію приймального модуля безпосередньо в конструкцію корпусу БНА. У роботі Q. Zhao та співавторів запропоновано систему IPT з оптимізованим магнітним зв'язком, при проєктуванні якої одночасно враховувалися стійкість до просторового зміщення, зменшення маси та теплові режими. Експериментальний зразок потужністю 3 кВт забезпечив заряджання при 55 В і 50 А з повним ККД DC–DC 85,7 % [2].

Окремим напрямом є створення безконтактних систем, орієнтованих саме на заряджання БНА у відкритому морі. У роботі C.-F. Ieong та співавторів запропоновано трикотушкову IPT-систему з компенсаційною топологією LCC-S-S. Передавальний модуль із проміжною котушкою розташовується на зарядній станції, а компактний приймальний модуль – на БНА. Експериментально отримано максимальний ККД DC–DC 91,3 % при узгодженому положенні модулів і 86,8 % при значному просторовому зміщенні [3].

Порівняльний аналіз показує (табл. 1), що контактний і безконтактний способи мають різну природу основних обмежень. Для контактної системи критичними є надійність фізичного електричного з'єднання та точність механічного стикування. Для індуктивної безконтактної системи відсутність відкритого електричного контакту спрощує герметизацію силових елементів, однак зміщення передавального та приймального модулів змінює їх електромагнітний зв'язок і, відповідно, енергетичні характеристики системи.

Отже, вибір способу передачі електроенергії не може здійснюватися виключно за величиною ККД силового каналу. Для автономного БНА необхідно враховувати комплекс взаємопов'язаних критеріїв:

передану потужність, надійність стикування, захищеність обладнання від морського середовища, допустиме просторове зміщення, масу бортового обладнання, складність силової електроніки та можливість автоматизації процесу заряджання.

Таблиця 1 – Порівняльного аналізу контактної та безконтактної систем

Критерій	**Контактний спосіб**	**Індуктивний безконтактний спосіб**
Фізичний електричний контакт	Необхідний	Відсутній
Гальванічна розв’язка	Потребує додаткових засобів	Властива принципу передачі
Вимоги до герметизації контактів	Високі	Відкриті силові контакти відсутні
Вплив корозії на контактні поверхні	Істотний	Мінімізований
Вимоги до точності позиціонування	Визначають можливість встановлення контакту	Визначають ефективність електромагнітного зв’язку
Складність силового перетворення	Відносно невисока	Вища
Чутливість до просторового зміщення	Можливе порушення контакту	Зміна магнітного зв’язку та ККД
Можливість повної герметизації каналу передачі	Обмежена конструкцією контактів	Висока
Перспективність для автономної морської зарядної станції	Висока за наявності надійного стикування	Висока за достатньої толерантності до зміщення

Висновки. Проведений аналіз показав, що контактна передача електроенергії є технічно відпрацьованим способом заряджання та характеризується відносною простотою силового каналу. Водночас її використання в автономних морських зарядних станціях потребує забезпечення надійного електромеханічного стикування, герметизації та захисту контактних елементів від впливу морського середовища.

Безконтактна індуктивна передача електроенергії дозволяє усунути відкритий гальванічний контакт між зарядною станцією та БНА і забезпечити герметичне виконання передавального та приймального модулів. Результати сучасних експериментальних досліджень підтверджують можливість створення IPT-систем для БНА потужністю декілька кіловат із ККД понад 85 %, у тому числі при просторовому зміщенні передавального та приймального модулів [1–3].

Встановлено, що для контактного способу основним обмеженням при автономному заряджанні є забезпечення стабільного електричного контакту в умовах взаємних переміщень БНА і зарядної станції, тоді як для індуктивного способу визначальним фактором є зміна параметрів електромагнітного зв’язку при просторовому зміщенні передавального та приймального модулів. Тому перспективним напрямом подальших досліджень є створення електротехнічних комплексів індуктивної безконтактної передачі електроенергії, адаптованих до динамічних умов функціонування безекіпажних надводних апаратів.

Література

[1]. Niu S., Zhao Q., Chen H., Yu H., Niu S., Jian L. Underwater Wireless Charging System of Unmanned Surface Vehicles with High Power, Large Misalignment Tolerance and Light Weight: Analysis, Design and Optimization. Energies. 2022. Vol. 15, No. 24. 9529. DOI: 10.3390/en15249529.

[2]. Zhao Q., Niu S., Shao Z., Jian L. Hull-Compatible Underwater IPT System with Enhanced Electromagnetic–Thermal Performance for USVs. Energies. 2025. Vol. 18, No. 2. 237. DOI: 10.3390/en18020237.

[3]. Ieong C.-F., Chan P.-I., Iam I.-W., Lam C.-S. An LCC-S-S Compensated Three-Coil Wireless Charging System for Offshore USV Charging. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2025. Vol. 13, No. 5. P. 6768–6779. DOI: 10.1109/JESTPE.2025.3582859.

[4]. Ocean Power Technologies. System and Method for Vehicle Charging. Autonomous floating marine charging solution. U.S. Patent Application No. 18/936,528. 2025.

ANALYSIS OF CONTACT AND CONTACTLESS METHODS OF POWER TRANSFER TO UNCREWED SURFACE VEHICLES

Nadtochyi A., Anichyn A.

Kherson Educational and Scientific Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. Contact and contactless methods of electrical power transfer for charging the batteries of uncrewed surface vehicles are analyzed. The main technical and operational factors affecting the selection of a power transfer method under marine operating conditions are identified. Contact charging systems are characterized by relative structural simplicity and high energy-transfer efficiency but impose increased requirements on docking accuracy, sealing, and protection of electrical contacts. Inductive contactless power transfer is shown to be a promising solution for automated charging of uncrewed surface vehicles, provided that acceptable energy-transfer efficiency is maintained under spatial misalignment between the transmitter and receiver modules.

Keywords: uncrewed surface vehicle, electrical energy, battery, contact charging, wireless power transfer, inductive power transfer, charging station.

УДК 621.316.722:629.5-52

ВПЛИВ ПРИТАМАННИХ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ НА КЕРУВАННЯ БЕЗКОНТАКТНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА БЕЗЕКІПАЖНИЙ НАДВОДНИЙ АПАРАТ

Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
tasman.leh.85@gmail.com
Анічин А.Ю.,
аспірант
an.andrey.90@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. Розглянуто притаманні нелінійності систем безконтактної передачі електроенергії на безекіпажні надводні апарати. Показано, що просторові переміщення передавального та приймального модулів у морських умовах спричиняють нелінійну зміну взаємної індуктивності й коефіцієнта електромагнітного зв'язку. Систематизовано нелінійності магнітних елементів, силових перетворювачів, резонансного контуру та акумуляторного навантаження. Обґрунтовано необхідність розгляду системи енергопередачі як нелінійного електротехнічного об'єкта зі змінними параметрами та застосування адаптивного керування з оцінюванням поточного електромагнітного зв'язку.

Ключові слова: безекіпажний надводний апарат, безконтактна передача електроенергії, нелінійна система, взаємна індуктивність, електромагнітний зв'язок, адаптивне керування, енергетична ефективність.

Вступ. Підвищення тривалості автономних місій безекіпажних надводних апаратів (БНА) безпосередньо пов'язане з можливістю автоматизованого поповнення запасу енергії бортових акумуляторних батарей. Безконтактна передача електроенергії дає змогу герметизувати передавальний і приймальний модулі та виключити відкриті силові контакти, що є суттєвою перевагою в умовах підвищеної вологості, корозійної активності, соляного туману й забруднення поверхонь.

На відміну від стаціонарних зарядних пристроїв, система безконтактної енергопередачі для БНА функціонує за змінного взаємного положення передавального TX і приймального RX модулів. Хвилювання, вітер і течії спричиняють поступальні та кутові переміщення апарата відносно зарядної станції. Унаслідок цього змінюються параметри електромагнітного зв'язку, резонансні умови, передана потужність і коефіцієнт корисної дії.

Одночасно електротехнічному комплексу притаманні внутрішні нелінійності магнітних елементів, силових напівпровідникових перетворювачів, випрямляча, DC/DC-перетворювача та акумуляторної батареї. Сукупна дія просторових збурень і внутрішніх нелінійностей ускладнює підтримання заданого режиму енергопередачі та потребує спеціальних методів керування.

Мета дослідження. Метою роботи є систематизація притаманних нелінійностей системи безконтактної передачі електроенергії на безекіпажний надводний апарат та визначення їх впливу на вибір структури й алгоритмів керування за змінного електромагнітного зв'язку.

Основна частина. Взаємне положення передавального та приймального модулів доцільно характеризувати вектором просторових координат $q(t) = [x(t), y(t), z(t), \varphi(t), \theta(t), \psi(t)]^T$, що враховує поздовжнє, поперечне та вертикальне зміщення, а також крен, диферент і рискання. За таких умов взаємна індуктивність є функцією координат $M = M(q)$, а коефіцієнт електромагнітного зв'язку визначається як $k(q) = M(q)/\sqrt{(L_1 L_2)}$. Отже, механічне переміщення БНА трансформується у параметричне збурення електротехнічної системи.

Залежність $M(q)$ є нелінійною, особливо при одночасному лінійному та кутовому зміщенні R_X відносно T_X. Зменшення взаємної індуктивності змінює еквівалентний опір, що відбивається у передавальному контурі, спричиняє відхилення вихідної потужності й погіршення ККД. У режимі сильного зв'язку можливе розщеплення резонансної частоти, за якого замість одного максимуму потужності утворюються два частотні максимуми [1]. Тому підтримання номінальної частоти інвертора не гарантує роботу в енергетично оптимальній точці.

Нелінійність магнітної підсистеми пов'язана із залежністю індуктивності та магнітної проникності від струму, частоти й рівня насичення: $L = L(i)$, $\mu = \mu(H)$. Зростання струму може спричиняти насичення феритового осердя, збільшення втрат і зміну резонансної частоти. Додатковий вплив мають вихрові струми у провідних конструкціях та температурна залежність параметрів магнітного з'єднувача.

Силовий інвертор, випрямляч і DC/DC-перетворювач працюють у перемикальному режимі та формують нелінійну залежність між керуючими координатами і переданою потужністю. Частота інвертора, фазовий зсув і коефіцієнт заповнення впливають не лише на вихідну потужність, а й на умови м'якої комутації та електричні навантаження напівпровідникових ключів. Унаслідок цього керуючий вплив має обиратися з урахуванням поточного значення k, навантаження та обмежень силових елементів.

Акумуляторна батарея є змінним нелінійним навантаженням. Її еквівалентна напруга та внутрішній опір залежать від рівня заряду, температури, зарядного струму й технічного стану. Перехід між режимами стабілізації струму та напруги змінює еквівалентне навантаження резонансного перетворювача. Тому алгоритм керування має враховувати не тільки просторове розузгодження модулів, але й поточний режим заряджання батареї.

Таблиця 1 – Притаманні нелінійності та їх вплив на систему керування

Джерело нелінійності	Прояв у системі	Наслідок для керування
Просторове зміщення T_X/R_X	M = M(q), k = k(q)	Параметричне розстроювання, зміна потужності та ККД
Магнітні елементи	L = L(i), μ = μ(H), насичення та втрати	Зміна резонансної частоти й обмеження струму
Резонансний зв'язок	Розщеплення частоти за сильного зв'язку	Необхідність онлайн-відстеження робочої частоти
Силові перетворювачі	Перемикальні режими та нелінійні втрати	Обмеження частоти, фазового зсуву й коефіцієнта заповнення
Випрямляч і DC/DC-ланка	Залежність еквівалентного навантаження від режиму	Потреба координації первинного та вторинного регулювання
Акумуляторна батарея	Залежність параметрів від SOC, температури і струму	Зміна завдання потужності та режимів заряджання

Наведені взаємозв'язки дають підстави розглядати WPT-систему для БНА як нелінійний динамічний об'єкт зі змінними параметрами. Узагальнену модель можна подати у просторі станів: $\dot{x} = f(x, u, q, p)$, $y = g(x, u, q, p)$, де x – вектор змінних стану електротехнічного комплексу; u – вектор керуючих впливів; q – координати взаємного положення T_X/R_X; p – змінні параметри та характеристики нелінійних елементів.

Традиційний регулятор із фіксованими коефіцієнтами може забезпечувати необхідні показники лише в обмеженій області зміни k та навантаження. При виході за межі цієї області збільшуються динамічна похибка, час перехідного процесу та ризик перевантаження силових елементів. Перспективним є поєднання онлайн-оцінювання взаємної індуктивності з адаптивним налаштуванням частоти інвертора, фазового зсуву або коефіцієнта заповнення.

У роботі T. Хіа та співавторів запропоновано адаптивну стратегію стабілізації вихідної потужності підводної WPT-системи на основі оцінювання взаємної індуктивності [2]. У дослідженні Z. Zheng та співавторів реалізовано відстеження максимальної ефективності за динамічного оцінювання коефіцієнта зв'язку [3]. Результати цих робіт підтверджують доцільність використання електричних параметрів системи для непрямого визначення стану електромагнітного каналу.

Для БНА метод керування має бути доповнений урахуванням шестикомпонентних взаємних переміщень модулів і швидкості зміни k. Доцільною є дворівнева структура: на верхньому рівні оцінюється

стан електромагнітного зв'язку й формується енергетично оптимальне завдання, а на нижньому – стабілізуються струм, напруга або передана потужність з дотриманням обмежень силового обладнання. Критеріями керування можуть бути мінімізація інтегральної похибки потужності $J_1 = \int(P^* - P(t))^2 dt$ та мінімізація втрат $J_2 = 1 - \eta$.

Ефективність запропонованого підходу доцільно оцінювати за стійкістю переданої потужності, максимальним відхиленням вихідної напруги, часом регулювання, ККД, діапазоном допустимих зміщень і максимальними струмами силових елементів. Перевірка має поєднувати електромагнітне моделювання залежностей $M(q)$, $k(q)$, імітаційне моделювання системи керування та фізичний експеримент із керованим лінійним і кутовим зміщенням приймального модуля.

Висновки. Встановлено, що головною зовнішньою нелінійністю системи безконтактної передачі електроенергії на БНА є нелінійна залежність взаємної індуктивності та коефіцієнта електромагнітного зв'язку від просторового положення передавального і приймального модулів. У морських умовах ця залежність має динамічний характер і спричиняє параметричне розстроювання резонансного перетворювача.

Внутрішні нелінійності формуються магнітними елементами, перемикальними силовими перетворювачами, випрямлячем, DC/DC-ланкою та акумуляторною батареєю. Їх одночасна дія змінює резонансні параметри, передану потужність, ККД і допустимі електричні навантаження, тому застосування лише лінійної моделі з постійними параметрами є недостатнім.

Обґрунтовано доцільність адаптивного керування на основі онлайн-оцінювання поточного електромагнітного зв'язку. Така система має забезпечувати стабілізацію переданої потужності, відстеження енергетично оптимального режиму та обмеження струмів і напруг силових елементів при зміні положення БНА та параметрів акумуляторного навантаження.

Література

[1]'Niu W., Gu W., Chu J. Analysis and experimental results of frequency splitting of underwater wireless power transfer. The Journal of Engineering. 2017. Vol. 2017, No. 7. P. 385–390. DOI: 10.1049/joe.2017.0194.

[2]'Xia T., Zhang X., Zhu Z., Yu H., Li H. An Adaptive Control Strategy for Underwater Wireless Charging System Output Power with an Arc-Shaped Magnetic Core Structure. Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, No. 2. Article 294. DOI: 10.3390/jmse11020294.

[3]'Zheng Z., Ma Y., Cao X., Wu Z., Bai J. Maximum Efficiency Tracking of Underwater Wireless Power Transmission System Based on Dynamic Coupling Coefficient Estimation. Progress In Electromagnetics Research C. 2024. Vol. 147. P. 117–125. DOI: 10.2528/PIERC24071512.

[4]'Li J., Shi J., Huang H., Wang Z., Zhang Y., Qin H., Zhang G. AUV Wireless Power Transfer System Multi-Objective Optimization Design and Robust Control Strategies. Ocean Engineering. 2025. Vol. 341, Part 4. Article 122745. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2025.122745.

[5]'Covic G. A., Boys J. T. Inductive Power Transfer. Proceedings of the IEEE. 2013. Vol. 101, No. 6. P. 1276–1289. DOI: 10.1109/JPROC.2013.2244536.

INFLUENCE OF INHERENT NONLINEARITIES ON THE CONTROL OF CONTACTLESS POWER TRANSFER TO AN UNCREWED SURFACE VEHICLE

Nadtochyi A., Anichyn A.

Kherson Educational and Scientific Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The inherent nonlinearities of contactless power transfer systems for uncrewed surface vehicles are considered. Spatial displacement of the transmitter and receiver modules under marine operating conditions is shown to cause nonlinear variations in mutual inductance and the electromagnetic coupling coefficient. Nonlinearities of magnetic elements, power converters, the resonant circuit, and the battery load are systematized. The power transfer system should therefore be treated as a nonlinear electrical engineering object with variable parameters. Adaptive control based on online estimation of electromagnetic coupling is substantiated as a promising approach to stabilizing transferred power and maintaining maximum energy efficiency.

Keywords: uncrewed surface vehicle, contactless power transfer, nonlinear system, mutual inductance, electromagnetic coupling, adaptive control, energy efficiency.

СЕКЦІЯ 7. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ НА ЗАХИСТІ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

УДК 004.92:004.8

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ 3D-РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

Фаріонова Т.А.,
кандидат технічних наук, доцент,
директор навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та управління проєктами
tetyana.farionova@nuos.edu.ua
Фадєєв П.В.,
магістр,
251194@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Запропоновано програмне рішення MVPS Studio для автоматизації процесу тривимірної реконструкції об'єктів, яке інтегрує сучасні методи комп'ютерного зору та нейромережеві моделі LINO-UniPS і SuperNormal. Це дає змогу реконструювати об'єкти зі слабко вираженою текстурою, для яких традиційні методи Multi-View Stereo можуть бути малоефективними. Експериментальне дослідження підтвердило працездатність запропонованого програмного забезпечення.

Ключові слова: 3D-реконструкція, Multi-View Photometric Stereo, LINO-UniPS, SuperNormal, нейронні мережі, тривимірне моделювання.

Вступ: Тривимірна реконструкція об'єктів є актуальним напрямом комп'ютерного зору, що застосовується у промисловості, цифровому моделюванні, культурній спадщині та інших сферах. Одним із поширених підходів є Multi-View Stereo (MVS), однак його ефективність суттєво залежить від наявності текстурних особливостей поверхні. Тому для гладких та слабо текстурованих об'єктів, зокрема керамічних, пластикових і пофарбованих, доцільним є використання фотометричної стереоскопії, яка визначає орієнтацію поверхні за зображеннями, отриманими за різних умов освітлення [1].

Сучасні нейромережеві методи Multi-View Photometric Stereo, зокрема LINO-UniPS та SuperNormal, розширюють можливості реконструкції таких об'єктів [2, 3]. Водночас практичне застосування цих методів потребує виконання низки послідовних операцій із підготовки зображень, визначення параметрів камер, отримання карт нормалей і побудови 3D-моделі. Це зумовлює необхідність створення спеціалізованого програмного забезпечення з єдиним графічним інтерфейсом, що спрощує й автоматизує цей процес.

Метою роботи є розроблення програмного забезпечення MVPS Studio з графічним інтерфейсом користувача для автоматизації основних етапів підготовки даних та виконання 3D-реконструкції об'єктів за технологією Multi-View Photometric Stereo із використанням сучасних нейромережевих методів оцінювання нормалей поверхні та побудови тривимірної моделі.

Основна частина. Запропонований підхід передбачає отримання груп фотографій об'єкта. Для кожного ракурсу формується набір із декількох зображень, отриманих за різних напрямків освітлення. Після повороту об'єкта формується відповідна група зображень. Така організація даних дає змогу одночасно використовувати інформацію про зміну освітлення та положення камери.

Розроблене на базі бібліотеки PySide6 ПЗ "MVPS Studio" містить п'ять основних модулів:

1. *Модуль групування:* дозволяє автоматично впорядковувати фотографії за ракурсами та усувати зсуви кадрів за допомогою алгоритму визначення контурів (Edge Detection).
2. *Модуль маскування:* виконує автоматичне видалення фону за допомогою нейромережі InSPyReNet [4] та надає інструмент «розумні ножиці» [5] для ручного редагування. Це дозволяє поєднати автоматизовану обробку з можливістю ручної корекції результату.
3. *Модуль Structure-from-Motion:* забезпечує інтеграцію з COLMAP [6] для розрахунку параметрів камери.
4. *Модуль фотометричного стерео:* генерує карти нормалей методом LINO-UniPS і конвертує їх у систему координат сцени.

5. *Модуль нормалізації та реконструкції:* надає інтерактивне середовище для задання межової сфери сцени та виконує побудову 3D-моделі за методом SuperNormal.

Для інтеграції окремих компонентів було модифіковано програмний код LINO-UniPS та SuperNormal. Це дозволило об'єднати декілька самостійних дослідницьких програмних рішень у єдиний послідовний процес реконструкції.

Працездатність MVPS Studio перевірено на прикладі керамічної фігурки. Для експерименту було отримано 48 ракурсів, для кожного з яких сформовано по 9 зображень із різними напрямками освітлення.

Для отриманих зображень автоматично сформовано маски об'єкта. У цьому експерименті результати роботи InSPyReNet не потребували додаткової ручної корекції (рис. 1).

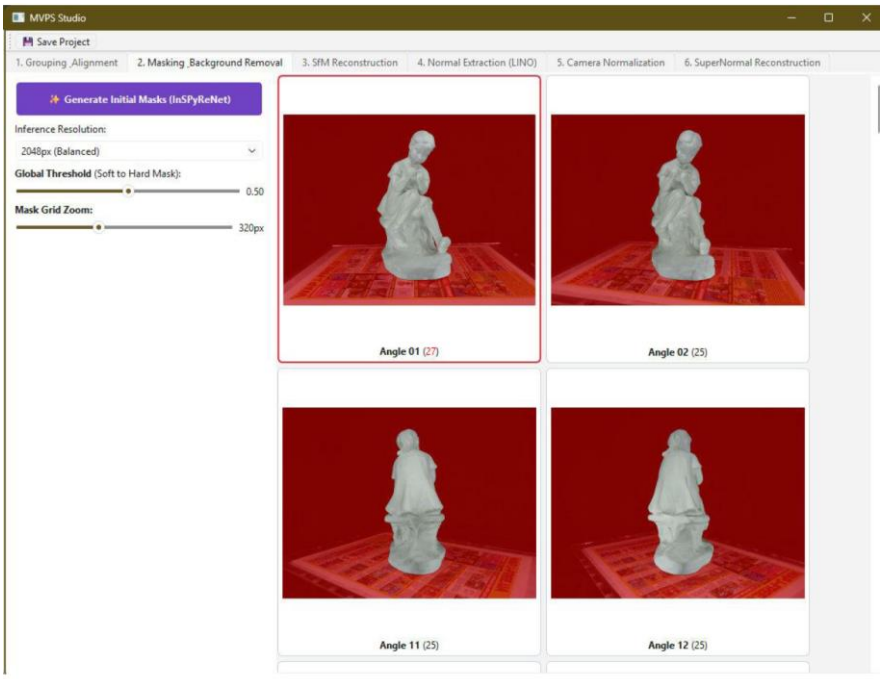


Рисунок 1 – Автоматично створені маски сегментації фону

За допомогою COLMAP отримано параметри камер та просторову інформацію про сцену. Після цього LINO-UniPS сформував карти нормалей для окремих ракурсів, які були трансформовані до єдиної системи координат (рис. 3).

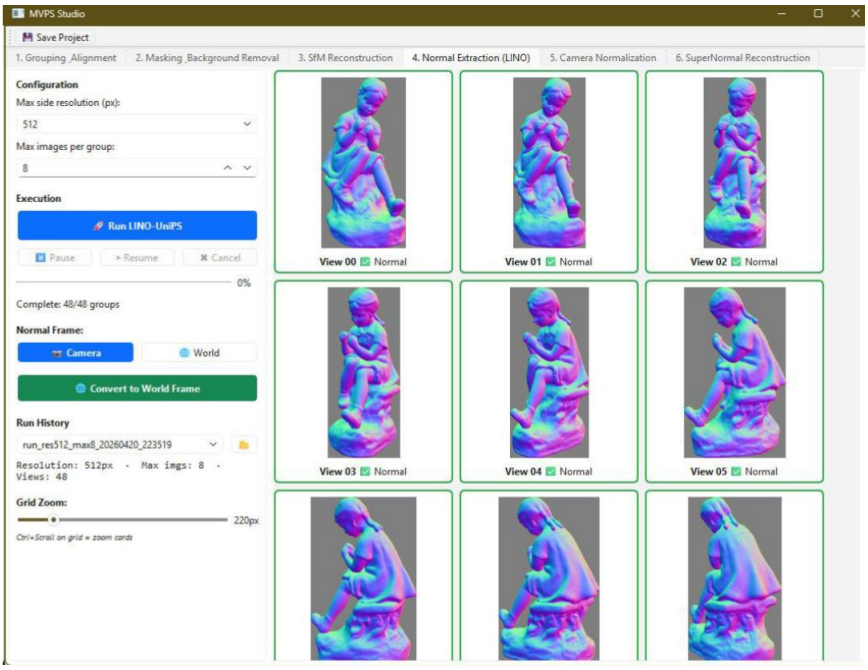


Рисунок 3 – Карти нормалей, отримані з використанням LINO-UniPS

На заключному етапі виконано нормалізацію сцени та реконструкцію за допомогою SuperNormal. Отриману тривимірну модель (рис. 4) було експортовано у формат OBJ.

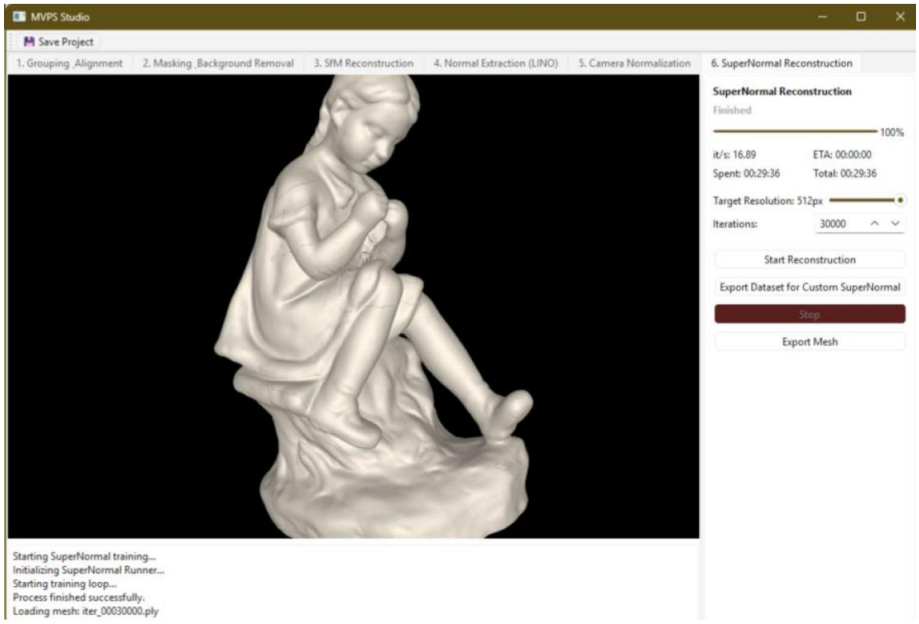


Рисунок 4 – Результат реконструкції моделі

Експеримент підтвердив працездатність запропонованої послідовності обробки та можливість її застосування для реконструкції об’єктів зі слабко вираженою текстурою.

Практична цінність MVPS Studio полягає в об’єднанні всіх основних операцій реконструкції в єдиному графічному середовищі. Це зменшує кількість ручних операцій, спрощує підготовку експериментальних даних і робить сучасні методи багаторакурсної фотометричної стереоскопії доступнішими для практичного застосування.

Висновки. Розроблене ПЗ “MVPS Studio” повністю вирішує задачу автоматизації та конвеєризації складного процесу MVPS-реконструкції. Створення зручного GUI дозволило зробити технологію доступною для широкого кола практиків без втрати якості підсумкової 3D-моделі. Експериментальна перевірка показала можливість використання програмного забезпечення для об’єктів зі слабко вираженою текстурою, які є складними для традиційних методів Multi-View Stereo. Застосування графічного інтерфейсу дозволило об’єднати окремі етапи обробки в єдиний технологічний процес і зменшити кількість ручних операцій.

Література

[1] Woodham R. J. Photometric method for determining surface orientation from multiple images. Optical Engineering. 1980. Vol. 19, No. 1. P. 139–144.

[2] Li H., Chen H., Ye C., et al. Light of Normals: Unified Feature Representation for Universal Photometric Stereo. arXiv. 2025. arXiv:2506.18882.

[3] Cao X., Taketomi T. SuperNormal: Neural Surface Reconstruction via Multi-View Normal Integration. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2024. P. 20581–20590.

[4] Kim T., Kim K., Lee J. S., Cha D. J., Lee J., Kim D. Revisiting Image Pyramid Structure for High Resolution Salient Object Detection. Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision (ACCV). 2022.

[5] Mortensen E. N., Barrett W. A. Interactive segmentation with intelligent scissors. Graphical Models and Image Processing. 1998. Vol. 60, No. 5. P. 349–384.

[6] Schönberger J. L., Frahm J.-M. Structure-from-Motion Revisited. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016.

MVPS STUDIO – SOFTWARE FOR 3D OBJECT RECONSTRUCTION

Farionova T. A., Fadeev P. V.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The MVPS Studio software solution is proposed to automate the process of three-dimensional object reconstruction; it integrates modern computer vision methods with the LINO-UniPS and SuperNormal

neural network models. This makes it possible to reconstruct objects with subtle textures, for which traditional multi-view stereo methods may be ineffective. An experimental study confirmed the effectiveness of the proposed software.

Keywords: 3D reconstruction, Multi-View Photometric Stereo, LINO-UniPS, SuperNormal, neural networks, 3D modeling.

УДК 681.5

АГЕНЦІЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ АКВАТОРІЙ УКРАЇНИ: ЗАВДАННЯ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Андросюк Ю.Є.,
Громадська організація «Міжнародний клуб ділових людей», голова,
м. Київ, Україна
info@demineaqua.com
Блінцов В.С.,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматики та електроустаткування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bvs050803@ukr.net
Бурунін А.П.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматики та електроустаткування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
splashbox98@gmail.com
Буруніна Ж.Ю.,
кандидатка технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматики та електроустаткування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
seaman9996@gmail.com
Ковалевський А.О.,
Товариство з обмеженою відповідальністю «Джемонд Бот-Ярд», директор
м. Київ, Україна
mail@gemond.com
Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри автоматики та електроустаткування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
tasman.leh.85@gmail.com

Анотація. Запропоновано вирішення актуального науково-практичного завдання створення Агенції з гуманітарного розмінування акваторій України, орієнтованої на розв'язання проблеми мінної безпеки у водних акваторіях держави. Показано, що магістральним шляхом протистояння мінній загрозі на акваторіях України є створення єдиної міжгалузевої організаційної платформи цільового призначення у вигляді такої Агенції. Створення Агенції дасть змогу інтегрувати вітчизняний та міжнародний науковий потенціал, інженерні розробки, промислове виробництво та практичне впровадження новітніх роботизованих технологій гуманітарного розмінування.

Ключові слова: гуманітарне розмінування акваторій, морська робототехніка, агенція з розмінування.

Вступна частина. Військова агресія рф проти України спричинила масове й різноманітне забруднення мінно-вибуховими предметами (МВП) водних об'єктів – морських (Чорне море, Азовське море) та річкових (Дніпро, Дунай, Південний Буг та інш.). Наявність морських і річкових мін та затонулого вході боїв озброєння суттєво ускладнює навігацію, портову діяльність, блокує водні транспортні шляхи для експорту й імпорту, а також створює довготривалу екологічну й соціально-економічну загрозу для водних екосистем, рибальства та прибережних громад, які не можуть використовувати наявні у них водні ресурси за їх призначенням.

Це обумовлює необхідність об'єднання зусиль науковців, інженерів, промисловості та бізнесу для розробки і впровадження у практичну діяльність профільних українських організацій новітніх безлюдних морських технологій гуманітарного розмінування акваторій держави та відновлення їх використання в інтересах громад.

Мета роботи – формування сильної міжгалузевої платформи, яка поєднує науку, інженерні розробки, виробництво, логістику, випробування, практичне впровадження технологій та міжнародну партнерську взаємодію у напрямку роботизованих технологій гуманітарного розмінування акваторій.

Основна частина. Агенція гуманітарного розмінування акваторій України (АГРАУ) створена для того, щоб об'єднати в Україні фахівців, організації, наукові установи, виробничі компанії та партнерів, які можуть спільно працювати у сфері гуманітарного розмінування акваторій, морської робототехніки, безекіпажних систем і безпеки водних об'єктів.

Робота Агенції ґрунтується на системному підході до проблеми гуманітарного розмінування водних об'єктів [1] та акваторій та передбачає:

– обстеження та картографування водних акваторій (первинний аналіз їх стану мінно-вибухового забруднення з використанням підводних, надводних та повітряних роботів, які в якості пошукового обладнання мають сонари, лідари, магнітометри, фото- відеоапаратуру з високою роздільною здатністю);

– роботизоване виявлення та ідентифікація МВП (детальне обстеження для визначення типу загрози);

– класифікація МВП (детальне обстеження та визначення рівня загрози, яку несуть виявлені МВП);

– дистанційне проведення операцій з гуманітарного розмінування акваторій (застосування засобів морської робототехніки для реалізації безводолазних технологій розмінування акваторій);

– робототехнічний супровід водолазних протимінних операцій (підготовка до саперних операцій відповідно до міжнародних стандартів);

– інформування громади (роз'яснювальна робота з населенням щодо ризиків та безпечної поведінки поблизу водних об'єктів);

– робота навчального центру (підготовка та сертифікація фахівців протимінної діяльності відповідно до стандартів IMAS);

– робота центру сертифікації та стандартизації (розробка та впровадження стандартів і процедур роботизованого розмінування водних акваторій);

– моніторинг та звітність (контроль результатів гуманітарного розмінування акваторій та прозорість для спонсорів і партнерів).

Розглянемо наведені вище напрямки робіт більш детально.

Одним з основних завдань Агенції є сприяння організації та проведенню первинного обстеження водних об'єктів, прибережних акваторій, портової інфраструктури, судноплавних маршрутів та інших ділянок, які можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами або потребують додаткової перевірки. Основним завданням цього напряму є отримання достовірної первинної інформації про стан відповідної території, можливі ризики, особливості рельєфу дна та умови для подальшого проведення спеціалізованих робіт. Для здійснення первинного аналізу АГРАУ сприятиме комплексному використанню підводних, надводних і повітряних протимінних систем. До обстеження можуть залучатися дистанційно керовані та автономні підводні апарати, безекіпажні надводні платформи, безпілотні літальні апарати, буксирувані сонари бокового огляду, багатопроменеві ехолоти, магнітометри, оптичні системи, засоби супутникового позиціонування та інше спеціалізоване обладнання. Поєднання інформації з різних джерел дозволятиме формувати повніше уявлення про стан акваторії та зменшувати ризики для фахівців.

Особлива увага приділятиметься зонам активного судноплавства, портам, причалам, підходам до гідротехнічних споруд, місцям господарської діяльності, ділянкам із зафіксованими інцидентами та територіям, щодо яких наявна інформація про можливе мінне або інше вибухонебезпечне забруднення. На основі отриманих результатів здійснюватиметься картографування обстежених територій із нанесенням потенційно небезпечних об'єктів, аномалій, перешкод, зон обмеженого доступу та ділянок, які потребують повторного або поглибленого дослідження. Це створить основу для обґрунтованих рішень щодо подальшого технічного обстеження, очищення акваторій і безпечного відновлення судноплавства.

Також АГРАУ буде реалізовувати роботизовані (з мінімально можливим залученням водолазів) технології знешкодження МВП та роботизовану підтримку операцій із застосуванням водолазів у зонах підвищеного ризику. Такий підхід підвищує безпеку персоналу, точність робіт і дозволяє діяти там, де прямий доступ людини небажаний або небезпечний. Для цього АГРАУ буде залучати дистанційно керовані й автономні підводні апарати, безекіпажні надводні платформи, повітряні системи спостереження та інтегровані пункти управління. Вони мають забезпечити обстеження, ідентифікацію, моніторинг, передачу даних і підтримку рішень у реальному часі в умовах загрози від МВП, обмеженої видимості, сильних течій або складного донного рельєфу.

Ключовим результатом є зниження ризиків для персоналу та мінімізація залучення водолазів на етапах первинного зближення, уточнення стану об'єкта й знешкодження МВП.

Важливою складовою роботи АГРАУ передбачається функціонування навчального центру для професійної підготовки, перепідготовки, підвищення кваліфікації та сертифікації фахівців у сфері роботизованих технологій гуманітарного розмінування акваторій. Роботу центру планується спрямувати на формування кадрового потенціалу для безпечного й технологічно підготовленого обстеження, ідентифікації та знешкодження акваторій. Центр має готувати операторів підводних і надводних роботизованих платформ, фахівців із сонарного обстеження, технічного аналізу, картографування, відеоаналізу, оцінки ризиків, управління даними та координації операцій.

Практична підготовка проводиться з дистанційно керованими підводними апаратами, надводними платформами, БПЛА, сонарами, магнітометрами, навігацією, зв'язком і цифровим моделюванням. Підготовка має відповідати вимогам IMAS (International Mine Action Standards) і охоплювати безпеку, управління ризиками, контроль якості, документування та прозору звітність.

Крім того, центр має формувати єдину базу матеріалів, методик, інструкцій, відео, цифрових симуляцій і практичних сценаріїв, яка будуть постійно оновлюватись.

Висновки. У роботі запропоновано вирішення актуального науково-практичного завдання щодо створення Агенції з гуманітарного розмінування акваторій України, орієнтованої на розв'язання проблеми мінної безпеки у водних акваторіях держави.

Показано, що ефективне протидіяння мінній загрозі на водних об'єктах ставить на порядок денний формування єдиної міжгалузевої організаційної платформи. Створення Агенції дасть змогу інтегрувати вітчизняний та міжнародний науковий потенціал, інженерні розробки, промислове виробництво та практичне впровадження новітніх роботизованих технологій гуманітарного розмінування.

Література

[1] Блінцов В.С., Надточий А.В. Гуманітарне розмінування мілководних акваторій: технології та робототехнічне забезпечення. / «Суднобудування та морська інфраструктура», 2024. Випуск № 1 (18). – С. 4–10. DOI https://doi.org/10.15589/smi2024.1 (18).01

HUMANITARIAN DEMINING AGENCY OF AQUATRIA OF UKRAINE: TASK FOR SAFETY OF WATER BODIES

Androsyuk Yurii Evhenovych

Public organization "International Businessmen's Club, Kyiv, Ukraine

Blintsov Volodymyr Stepanovich, Burunin Andrii Pavlovich, Burunina Zhanna Yuriivna, Nadtochyi Anatolii Viktorovych

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine.

Abstract. He solution of the urgent scientific and practical task of creating an Agency for Humanitarian Demining of Water Areas of Ukraine, focused on solving the problem of mine safety in the water areas of the state, is proposed. It is shown that the main way to confront the mine threat in the water areas of Ukraine is to create a single inter-sectoral organizational platform of a specific purpose in the form of such an Agency. The creation of the Agency will allow integrating domestic and international scientific potential, engineering developments, industrial production and practical implementation of the latest robotic technologies for humanitarian demining.

Keywords: humanitarian demining of water areas, marine robotics, demining agency.

UDC 005.5:004:330.341.1

DIGITAL LEADERSHIP AS A DRIVER OF BUSINESS MODEL INNOVATION IN SMES

Serhiichuk S.,
PhD in Economics, Associate Professor
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
м. Mykolaiv, Ukraine
sergiy.sergiychuk@nuos.edu.ua

Abstract. The role of digital leadership in the formation of innovative business models of small and medium-sized enterprises in the context of digital transformation of the economy is studied. It is substantiated that the impact of digital leadership on the innovative development of SMEs is realized mainly through the development of digital maturity, which includes digital culture, technological readiness and organizational flexibility. It is determined that

the development of digital maturity creates the prerequisites for the transformation of business processes, the implementation of digital technologies and the formation of new mechanisms for creating and monetizing value.

Keywords: digital leadership; digital maturity; innovative business models; small and medium-sized enterprises; digital transformation

Introduction. In today's conditions of digital transformation of the economy, small and medium-sized enterprises are forced to adapt to rapid technological changes, increased competition and transformation of consumer needs, which actualizes the need to form innovative business models. In this context, digital leadership acquires special importance as the ability of management to initiate digital changes, integrate modern technologies into business processes and ensure strategic development of the enterprise. Effective digital leadership contributes to the development of digital maturity, organizational flexibility and innovative capacity of SMEs, which creates precondition for rethinking ways of creating, delivering and monetizing value [1].

Discussion. The results of the study confirm that digital leadership is an important factor in the formation of innovative business models in SMEs, but its influence is realized mainly through the development of the organization's digital maturity. As Pandey J. et al. note: "Digital leadership is the combination of digital, strategic, business, and market leadership skills" [2], which allows to ensure digital flexibility and transformation of the enterprise. In turn, Kane G. C. et al. [3] emphasize that "Digital maturity is about adapting the organization to compete effectively in an increasingly digital environment", emphasizing the need to harmonize strategy, culture, technology and organizational structure. Management's ability to form a digital vision, support technology implementation and manage transformational change creates the precondition for the development of digital culture, technological readiness and organizational flexibility of the enterprise. It is these components that provide the opportunity to rethink the mechanisms of value creation, the development of digital channels of interaction with customers and the introduction of new monetization models.

Findings. As a result of the conducted research, it was established:

1. It has been determined that digital leadership is one of the key factors in the adaptation of small and medium-sized enterprises to the conditions of the digital economy, as it ensures the formation of a strategic vision of digital development and determines the directions of introducing innovative technologies into the activities of the enterprise. It has been proven that effective digital leadership contributes to increasing the organization's ability to respond to changes in the external environment, stimulates the development of an innovative culture and supports the processes of organizational transformation. Of particular importance is the ability of management to integrate digital technologies into business processes, coordinate digital changes and ensure interaction between technological and managerial components of the enterprise's activities. The development of digital competencies of managers, the implementation of digital personnel training programs, the formation of digital development strategies and the use of data-based management decision support systems are identified as practical tools for implementing digital leadership.
2. It is substantiated that the impact of digital leadership on the innovative development of SMEs is realized mainly not directly, but through the formation of the digital maturity of the enterprise, which acts as an integrating element of digital transformation. It is established that digital maturity characterizes the level of readiness of the enterprise to use digital technologies, the ability to integrate them into business processes and adapt the organizational structure to the conditions of the digital economy. It is proven that a high level of digital maturity creates the prerequisites for the development of innovative activity, increasing operational efficiency and the formation of new ways of creating value. A promising direction of practical application of the results is the use of digital maturity assessment models to diagnose the level of digital development of enterprises, identify their weaknesses and develop digital transformation strategies.
3. The study found that the digital maturity of an enterprise is formed through the interaction of several key components, among which the most significant are digital culture, technological readiness and organizational flexibility. Digital culture ensures the formation of a favorable environment for the implementation of innovations, supports the readiness of personnel for change and stimulates the development of digital thinking. Technological readiness characterizes the level of provision of the enterprise with digital resources, modern technologies and information infrastructure necessary for the implementation of digital transformation. Organizational flexibility reflects the ability of the enterprise to quickly adapt business processes, management structure and decision-making mechanisms to changes in the external environment. The tools for the development of these components are the implementation of digital platforms, the development of a corporate culture of innovation, the use of Agile approaches and automation of management processes.
4. It has been proven that the development of digital maturity contributes to the transition of enterprises from traditional business models to innovative business models based on the use of digital technologies, data and platform solutions. It has been established that digital transformation allows enterprises to rethink the mechanisms of value creation, delivery and monetization, expand digital channels of interaction with customers and integrate into digital ecosystems. The use of data analytics, digital platforms and customer-oriented approaches that ensure

the personalization of products and services and increase the efficiency of interaction with consumers is of particular importance. The digitalization of customer experience, the use of platform business models, the integration of CRM and ERP systems, as well as the development of e-commerce and digital services are identified as practical tools for implementing innovative business models.

5. The results of the study confirm that digital leadership in itself does not provide automatic formation of innovative business models, but creates the necessary prerequisites for the development of digital maturity of the enterprise, through which the main innovation effect is realized. It has been established that digital maturity acts as a system-forming element of the digital transformation of SMEs, which combines technological, organizational and cultural aspects of enterprise development. This indicates the feasibility of using an integrated approach to digital change management, where not only technologies play a key role, but also the development of managerial competencies, organizational culture and flexible management models. Prospects for further research are associated with empirical verification of the proposed conceptual model, conducting surveys of SMEs and quantitative assessment of the relationships between digital leadership, digital maturity and innovative business models using SmartPLS and structural modeling methods.

Conclusion and Future Research. The study confirmed that digital leadership is a key factor in the digital transformation of small and medium-sized enterprises and serves as a strategic prerequisite for the development of innovative business models. At the same time, it was found that its impact on innovative development is realized primarily indirectly through the development of an enterprise's digital maturity, which integrates the technological, organizational, and cultural aspects of digital change. It is argued that digital culture, technological readiness, and organizational flexibility form the foundation for rethinking how value is created, delivered, and monetized in the digital economy. The proposed conceptual model allows for the systematization of the interrelationships between digital leadership, digital maturity, and innovative business models of SMEs, and can also serve as a theoretical foundation for further empirical research and the practical formulation of digital development strategies for enterprises.

Declaration on the use of artificial intelligence tools. For professional translation of English-language texts, with subsequent author's refinement, the systems "Google Translate" (2026) and "DeepL Translate" (2026), which operate on the basis of generative artificial intelligence technologies, were used. The resulting translations were subject to careful editing, content adaptation, and terminological coordination in accordance with the scientific style. The use of these tools was of an auxiliary nature and did not replace the independent work of the authors, in particular in terms of interpreting the content, ensuring the accuracy of the translation, and adhering to the norms of academic integrity.

References

[1]. Serhiichuk, S. I., & Hura, O. O. (2026). The influence of digital leadership on the formation of innovative business models in SMEs: The role of digital maturity. Economy and Society, 86. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-86-30

[2]. Pandey, J., Majumdar, S., Hassan, Y., & Benuyenah, V. (2023). Role of digital leadership capability in shaping IT innovation – A digital agility perspective. *Journal of Global Information Management*, vol. 31 (8), P. 1–20. https://doi.org/10.4018/JGIM.333168

[3]. Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2017). Achieving digital maturity: Adapting your company to a changing world. *MIT Sloan Management Review; Deloitte University Press*. Retrieved from https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/digital-mindset-mit-smr-report.html (accessed 09.09.2026)

УДК 004.65

ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ПРОЄКТУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ ЯК ОСНОВА РОЗРОБКИ СУЧАСНИХ КОРПОРАТИВНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Беркунський Є.Ю.,
ст. викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
eberkunsky@gmail.com
Книрік Н.Р.,
доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
nknyrik@gmail.com
Беркунський О.Є.,
здобувач PhD,
oleksandr.berkunskyi@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна,

Анотація. У роботі проаналізовано основні стадії життєвого циклу проєктування бази даних як невід'ємного елементу сучасних корпоративних застосунків. Розглянуто структурні компоненти цього циклу – від планування бази даних та аналізу вимог до концептуального, логічного й фізичного проєктування, вибору СУБД, проєктування застосунків, реалізації, тестування та експлуатаційного обслуговування. Показано ітеративний характер циклу завдяки наявним зворотним зв'язкам. Обґрунтовано необхідність інтеграції процесів розробки бази даних із загальною стратегією розвитку корпоративного застосунку з метою забезпечення цілісності, надійності, гнучкості та масштабованості системи.

Ключові слова: життєвий цикл бази даних, проєктування бази даних, корпоративні застосунки, концептуальне проєктування, логічне проєктування, фізичне проєктування, вибір СУБД, цілісність даних, масштабованість, інтеграція процесів розробки.

Вступна частина. Сучасні корпоративні застосунки становлять складні багатокомпонентні системи, ефективність функціонування яких безпосередньо залежить від якості проєктування бази даних, що виступає їхнім невід'ємним структурним елементом. Зростання обсягів оброблюваної інформації, ускладнення бізнес-процесів та підвищення вимог до цілісності, надійності й масштабованості даних зумовлюють актуальність системного підходу до організації життєвого циклу проєктування бази даних у складі корпоративного застосунку.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз основних стадій життєвого циклу проєктування бази даних та визначення особливостей їхньої інтеграції із процесом проєктування сучасних корпоративних застосунків для забезпечення цілісності, надійності та ефективності функціонування системи в цілому.

Основна частина. Життєвий цикл проєктування бази даних доцільно розглядати як послідовність взаємопов'язаних та частково ітеративних етапів (рисунок 1). Початковими стадіями є планування бази даних та опис предметної області, які визначають межі й контекст майбутньої системи. На наступному етапі здійснюється збір та аналіз вимог – ключова стадія, до якої система неодноразово повертається протягом усього циклу розробки, зокрема під час експлуатаційного обслуговування, що забезпечує адаптивність бази даних до змінюваних потреб бізнесу.

Центральне місце в структурі життєвого циклу посідає власне проєктування бази даних, яке охоплює три послідовні рівні: концептуальне, логічне та фізичне проєктування. Концептуальне проєктування формує абстрактну модель предметної області незалежно від конкретної системи керування базами даних (СУБД); логічне проєктування деталізує структуру даних у термінах обраної моделі даних; фізичне проєктування визначає спосіб фізичного зберігання й доступу до даних. Важливо, що вибір СУБД відбувається паралельно з логічним та фізичним проєктуванням, впливаючи на подальші технічні рішення.

Принципового значення набуває взаємозв'язок між проєктуванням бази даних і проєктуванням застосунків: ці процеси відбуваються не ізольовано, а у постійній двосторонній взаємодії, що забезпечує узгодженість структури даних з функціональними вимогами прикладного програмного забезпечення. Така інтеграція є передумовою створення гнучких та масштабованих корпоративних систем, здатних відповідати сучасним вимогам бізнесу.

Завершальні етапи життєвого циклу – реалізація, перетворення та завантаження даних, тестування й операційне обслуговування – забезпечують практичне впровадження спроєктованої бази даних та її подальшу підтримку. Наявність зворотних зв'язків від етапу операційного обслуговування до стадії збору та аналізу вимог, а також від реалізації до раннього етапу збору вимог, підкреслює ітеративний, а не лінійний характер представленого життєвого циклу, що дозволяє своєчасно виявляти й усувати недоліки проєктних рішень.

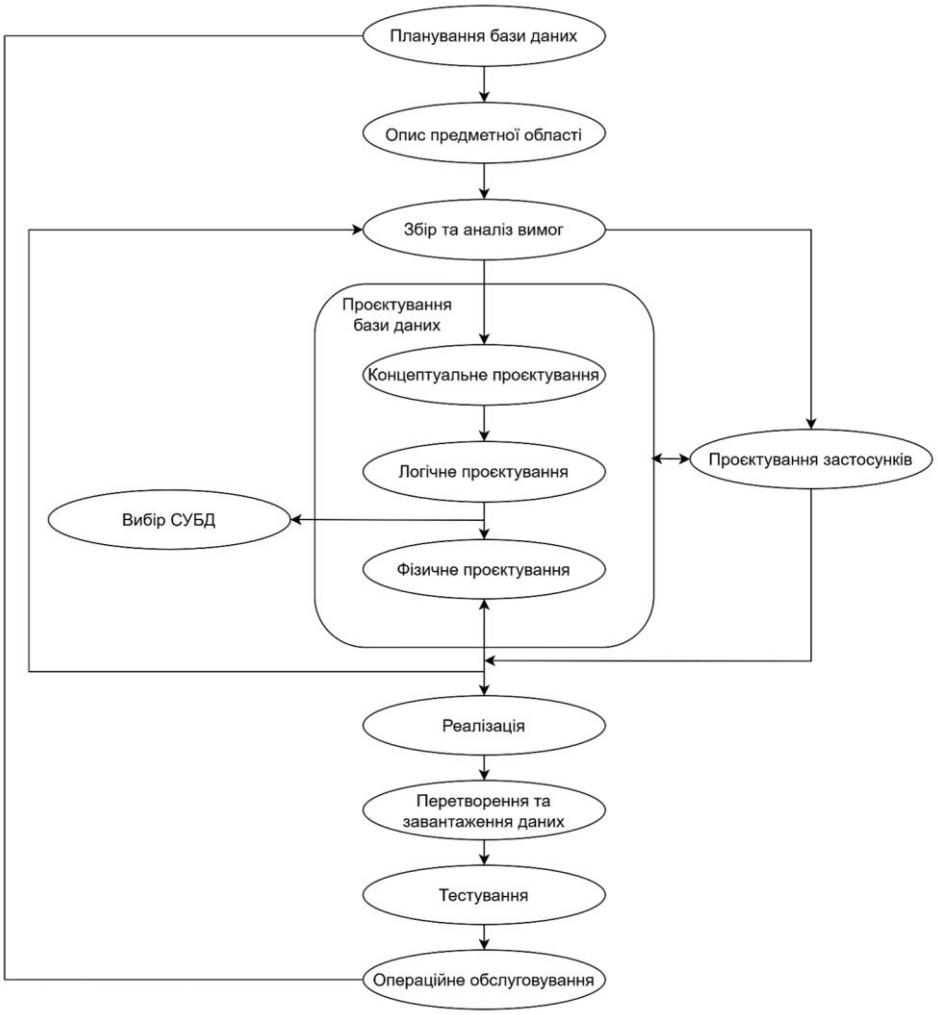


Рисунок 1 – Життєвий цикл проєктування бази даних у складі корпоративного застосунку

Висновок. Таким чином, проєктування бази даних як невід'ємного елементу сучасних корпоративних застосунків потребує системного, ітеративного підходу, що передбачає тісну інтеграцію процесів розробки бази даних із загальною стратегією розвитку корпоративного застосунку. Дотримання розглянутої структури життєвого циклу забезпечує цілісність, надійність та ефективність функціонування всієї корпоративної інформаційної системи, а також її відповідність принципам гнучкості й масштабованості.

Література

[1]. Connolly T., Begg C. Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. 6th ed. – Pearson, 2014. – 1440 p.

[2]. Coronel C., Morris S. Database Systems: Design, Implementation, and Management. 13th ed. – Cengage Learning, 2018. – 720 p.

THE LIFE CYCLE OF DATABASE DESIGN AS THE BASIS FOR DEVELOPING MODERN CORPORATE APPLICATIONS

Yevhen Berkunskyi, Natalia Knyrik, Oleksandr Berkunskyi
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper analyzes the main stages of the database design life cycle as an integral element of modern corporate applications. The structural components of this cycle are considered – from database planning and requirements analysis to conceptual, logical, and physical design, DBMS selection, application design, implementation, testing, and operational maintenance. The iterative nature of the cycle is shown through existing feedback loops. The necessity of integrating database development processes with the overall corporate application development strategy is substantiated to ensure the integrity, reliability, flexibility, and scalability of the system.

Keywords: database life cycle, database design, corporate applications, conceptual design, logical design, physical design, DBMS selection, data integrity, scalability, development process integration.

УДК 004.62:004.4'6

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДАНИХ У БАГАТОПОТОКОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Беркунський Є.Ю.,
ст. викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
eberkunsky@gmail.com
Павленко А.Ю.,
здобувач PhD
pavlenko.a.yu@gmail.com
Беркунський О.Є.,
здобувач PhD
oleksandr.berkunskyi@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна,

Анотація. Забезпечення достовірності або цілісності даних у багатопотокових середовищах за допомогою патерну Guarded Suspension базується на принципі: потік відкладає виконання дії до того часу, поки не виконається певна умова. Цей патерн є фундаментальним для управління станом об'єктів у конкурентному середовищі, коли одна операція залежить від результату іншої. Його застосування дає змогу уникнути некоректного доступу до спільних ресурсів і підвищити надійність багатопотокових застосунків.

Ключові слова: паралельні обчислення, багатопотокове середовище, Guarded Suspension, Java, достовірність даних, управління ризиками.

Вступна частина. Сучасні програмні системи широко використовують багатопотокову обробку для підвищення продуктивності та швидкості реагування, однак одночасний доступ кількох потоків до спільних ресурсів створює ризики виникнення Race Condition, втрати оновлень і порушення цілісності даних. Тому важливим завданням є організація безпечної взаємодії потоків, за якої виконання операції відбувається лише після досягнення допустимого стану об'єкта. Одним із ефективних засобів розв'язання цієї задачі є патерн Guarded Suspension, що поєднує перевірку охоронної умови з призупиненням та подальшим відновленням потоку за допомогою механізмів синхронізації. Дослідження принципів його побудови й практичного застосування є актуальним для створення надійних і ресурсоефективних багатопотокових застосунків.

Мета роботи. Дослідження принципів застосування патерну Guarded Suspension для забезпечення достовірності даних у багатопотокових середовищах, аналіз його складових і механізмів синхронізації, порівняння з активним очікуванням та демонстрація практичної реалізації безпечної черги повідомлень мовою Java з урахуванням можливих ризиків.

Основна частина. Патерн зазвичай складається з трьох елементів: Shared Resource, Guarded Condition та механізм синхронізації.

Shared Resource – об'єкт, над яким виконуються операції.

Guarded Condition або Predicate – логічна умова, яка визначає, чи безпечно та можливо виконати операцію з даними.

Механізм синхронізації – засоби мови програмування (наприклад, wait() та notify() у Java або std::condition_variable у C++), які призупиняють та відновлюють потоки.

Щоб дані залишалися коректними та не виникала ситуація Race Condition, патерн реалізує такі правила: атомарна перевірка та очікування, цикл замість умови, зміна стану та оповіщення. *Атомарна перевірка та очікування* передбачають, що умова обов'язково перевіряється всередині критичної секції (під блокуванням/м'ютексом). Це гарантує, що жоден інший потік не змінить стан даних між перевіркою умови та початком виконання дії. *Цикл замість умови* забезпечує, що перевірка умови завжди виконується у циклі while, а не через if. Це захищає від так званих спонтанних пробуджень (Spurious Wakeups), коли потік може прокинутися без явного сигналу, або коли інший потік встиг перехопити ресурс до того, як поточний потік почав роботу. *Зміна стану та оповіщення* означає, що потік, який змінює дані (робить умову істинною), зобов'язаний надіслати сигнал оповіщення (notify/signal) іншим потокам, які очікують.

Порівняно з активним очікуванням (Spin-lock), патерн Guarded Suspension забезпечує вищу ефективність використання процесора, оскільки потік призупиняється і не витрачає процесорні ресурси, тоді як під час активного очікування процесор постійно виконує цикл перевірки. Guarded Suspension характеризується мінімальною затримкою після отримання сигналу, а Spin-lock забезпечує миттєву реакцію, проте ціною значного навантаження на CPU. Тому Guarded Suspension доцільно застосовувати,

коли очікування може бути тривалим, а активне очікування – лише для надзвичайно коротких пауз у низькорівневому коді.

Приклад реалізації мовою Java

Класичним прикладом [1] є безпечна черга повідомлень, де потік-споживач (Consumer) чекає, поки потік-виробник (Producer) додасть дані.

```
public class GuardedQueue {
  private final Queue<String> queue = new LinkedList<>();
  private final int LIMIT = 10;

  // Потік-споживач чекає, поки з'являться дані
  public synchronized String get() throws InterruptedException {
    // Обов'язково while для захисту достовірності даних
    while (queue.isEmpty()) {
      wait(); // Потік засинає, звільняючи монітор (lock)
    }

    String data = queue.remove();
    notifyAll(); // Сповіщаємо виробників, що звільнилося місце
    return data;
  }

    // Потік-виробник додає дані
  public synchronized void put(String data) throws InterruptedException {
    while (queue.size() == LIMIT) {
      wait(); // Чекаємо, поки звільниться місце
    }

    queue.add(data);
    notifyAll(); // Сповіщаємо споживачів, що дані з'явилися
  }
}
```

Ризики та як їх уникати

- *Взаємне блокування (Deadlock).* Якщо потік засинає через wait(), утримуючи інший замок (не той, на якому викликано wait), виникне deadlock. Завжди викликайте очікування на тому ж об’єкті, який синхронізує поточний блок [2].
- *Пропуск сигналу (Missed Signal).* Якщо потік викликає notify(), коли жоден інший потік ще не зайшов у wait(), сигнал втрачається. Оскільки стан зберігається у самому об’єкті (наприклад, queue.isEmpty()), новий потік просто пропустить крок очікування, тому дані не втратять достовірності [3].

Висновок. У роботі досліджено принципи застосування патерну Guarded Suspension для забезпечення достовірності даних у багатопотокових середовищах. Встановлено, що атомарна перевірка охоронної умови, очікування в циклі while та своєчасне оповіщення потоків дають змогу запобігати станам гонитви й некоректному доступу до спільних ресурсів. Порівняння з активним очікуванням засвідчило вищу ефективність використання процесорних ресурсів у випадках, коли очікування може бути тривалим. Наведена реалізація безпечної черги мовою Java підтверджує практичну придатність патерну за умови правильного використання механізмів синхронізації та врахування ризиків взаємного блокування і пропуску сигналів.

Література

[1]. Guarded Suspension Pattern in Java: Ensuring Safe Concurrency in Critical Sections [Електронний ресурс]. Java Design Patterns. Режим доступу:
https://java-design-patterns.com/patterns/guarded-suspension/ (дата звернення: 10.09.2026)
[2]. Cay S. Horstmann. Modern Concurrency in Java. – Manning Publications, 2024. – 480 p.
[3]. Jay Wang. Java Concurrency and Parallelism. – Packt Publishing, 2024. – 496 p.

ENSURING DATA RELIABILITY IN MULTI-THREADED ENVIRONMENTS

Yevhen Berkunskyi, Alona Pavlenko, Oleksandr Berkunskyi
National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Ensuring the reliability or integrity of data in multithreaded environments using the Guarded Suspension pattern is based on the principle: a thread postpones the execution of an action until a certain condition is met. This pattern is fundamental for managing the state of objects in a competitive environment, when one operation depends on the result of another. Its use allows you to avoid incorrect access to shared resources and increase the reliability of multithreaded applications.

Keywords: Parallel Computing, Multi-Threaded Environment, Guarded Suspension, Java, Data Reliability, Risk Management.

УДК378.004.8

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ

Біднiченко О.Г.,
кандидат технічних наук, доцент
Національний університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
olena.bidnichenko@nuos.edu.ua

Анотація. У роботі досліджено сучасні підходи до впровадження технологій штучного інтелекту у закладах вищої освіти в умовах трансформації освітнього середовища. Проаналізовано нормативно-правові засади використання штучного інтелекту у вищій освіті, міжнародні рекомендації та сучасні наукові підходи до інтеграції AI-технологій у всі види діяльності університету. Запропоновано структурно-ієрархічну модель етапів впровадження технологій штучного інтелекту, яка може бути використана як методологічна основа для впровадження технологій штучного інтелекту у закладах вищої освіти.

Ключові слова: штучний інтелект; заклади вищої освіти; цифрова трансформація; цифрова інфраструктура; AI компетентності.

Вступна частина. Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) трансформує систему вищої освіти, змінює підходи до організації навчального процесу: до методів викладання, оцінювання результатів навчання та управління закладами освіти. Якщо спочатку цифровізація була переважно спрямована на переведення навчальних матеріалів у електронний формат та дистанційне навчання, то сучасний етап трансформації передбачає інтеграцію генеративних моделей, технологій Big Data та машинного навчання у всі складові діяльності закладів вищої освіти.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та розробка ієрархічної моделі поетапного впровадження технологій штучного інтелекту у ЗВО.

Основна частина В Україні питання розвитку технологій штучного інтелекту (ШІ) визначено одним із пріоритетних напрямків державної політики. Закони України «Про освіту» [1] та «Про вищу освіту» [2] визначають цифровізацію освітнього процесу як одну із складових модернізації освіти через використання інформаційно-комунікаційних технологій та електронних освітніх ресурсів. Розглядається використання дистанційних технологій навчання та формування цифрової компетентності здобувачів освіти. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні [3] визначає необхідність розвитку освітніх програм у сфері ШІ та підготовки конкурентоспроможних фахівців; розглядаються напрями розвитку наукових досліджень та створення умов для впровадження технологій ШІ в освітній процес. Міжнародний досвід свідчить, що застосування технологій ШІ сприяє персоналізації навчання, інтелектуальній підтримці студентів та підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень. У рекомендаціях *UNESKO* [4] наголошується, що використання ШІ повинно здійснюватися із дотриманням принципів академічної доброчесності, прозорості й захисту персональних даних. Отже цифрова трансформація вищої освіти характеризується переходом від використання окремих цифрових сервісів до формування інтелектуального освітнього середовища [1–4].

Аналогічний підхід простежується у роботі [5], де Європейська Комісія розглядає технології ШІ як один із основних інструментів розвитку цифрової освіти. При цьому наголошується, що ефективне впровадження ШІ неможливе без розвитку цифрових компетентностей викладачів і студентів, без оновлення освітніх програм та без створення сучасної цифрової інфраструктури університетів й впровадження інноваційних освітніх технологій.

Попри значну кількість досліджень, більшість з них присвячена окремим питанням використання генеративного штучного інтелекту, значно менше уваги приділяється комплексній трансформації ЗОШ як інтелектуальних цифрових систем, в яких технології ШІ інтегруються у всі сфери діяльності.

З позицій системного підходу впровадження ШІ доцільно розглядати як багаторівневу трансформацію ЗОШ, яка охоплює взаємопов’язані компоненти: цифрову інфраструктуру, цифрові освітні платформи, генеративні *AI* сервіси, управлінську аналітику, цифрові компетентності викладачів і студентів, нормативно-правове забезпечення та етичне використання штучного інтелекту.

На основі аналізу сучасних світових підходів складено концептуальну модель інтеграції технологій ШІ в діяльність ЗОШ, в якій перший рівень визначає Державна політика, тобто закони України та Концепція. Другий рівень – це цифрова інфраструктура ЗВО, яка складається із трьох складових: *Learning Management System*, хмарні сервіси та бази даних. Наступний рівень уявляє собою інтелектуальну цифрову систему, тобто освітній, науковий та управлінський процеси. В свою чергу вони містять в собі генеративний *AI, Learning Analytics*, автоматизацію оцінювання та інтелектуальні рекомендації. Формування *AI* компетентностей у студентів і викладачів виділено у наступний рівень моделі. Результати

описаних вище заходів складають останній рівень – підвищення якості освіти, управління та конкурентоспроможності ЗВО.

Спираючись на підходи *UNESKO*, Європейської комісії та сучасні дослідження щодо *AI* у вищій освіті складена поетапна модель впровадження технологій ШІ у закладах вищої освіти (рис.1), яка відображає логіку цифрової трансформації університету.

На відміну від існуючих підходів, які зосереджені на використанні окремих інструментів ШІ, запропонована модель розглядає впровадження ШІ як поетапний процес цифрової трансформації ЗВО. ЇЇ особливість полягає в інтеграції семи взаємопов'язаних складових: аналітичної, організаційної, технологічної, методичної, науково-дослідної, управлінської та адаптивної. Це забезпечує системне впровадження ШІ на рівні всієї університетської системи, а не окремих освітніх практик. Запропонована модель може бути використана як методична основа для розробки стратегій цифрової трансформації університету, створення інституційної політики використання ШІ та підвищення ефективності функціонування ЗВО в умовах розвитку цифрового суспільства.

Етапи впровадження технологій штучного інтелекту у ЗВО

I етап. Аналітичний	**Мета** визначення готовності закладу вищої освіти до інтеграції технологій штучного інтелекту.	**Основні завдання** • аудит цифрової інфраструктури; • оцінювання цифрової зрілості університету; • визначення рівня AI-компетентностей викладачів і студентів; • аналіз нормативно-правового забезпечення; • оцінювання потенційних ризиків.	**Результат** сформовано профіль готовності ЗВО до впровадження ШІ.
II етап. Організаційний	**Мета** формування інституційної політики використання ШІ.	**Передбачає** • розроблення стратегії AI-трансформації; • створення нормативних документів; • визначення принципів академічної доброчесності; • розроблення етичного кодексу використання ШІ; • визначення відповідальних структурних підрозділів.	**Результат** сформована політика використання штучного інтелекту.
III етап. Технологічний	**Мета** створення цифрового середовища для роботи AI-систем.	**Основні заходи** • модернізація цифрової інфраструктури; • інтеграція LMS із AI-сервісами; • використання хмарних технологій; • впровадження генеративних моделей; • створення безпечного середовища роботи з даними.	**Результат** створено AI-інфраструктуру університету.
IV етап. Методичний	**Мета** інтеграція ШІ безпосередньо в освітній процес.	**Включає** • оновлення освітніх програм; • включення AI-компетентностей до результатів навчання; • створення методичних рекомендацій; • використання генеративного ШІ під час навчання; • розроблення нових форм оцінювання.	**Результат** модернізований освітній процес.
V етап. Науково-дослідний	**Мета** використання ШІ у науковій діяльності.	**Основні напрями** • аналіз великих масивів даних; • автоматизація літературного пошуку; • підтримка наукового письма; • моделювання; • прогнозування; • цифрові лабораторії.	**Результат** підвищення ефективності наукових досліджень.
VI етап. Управлінський	**Мета** використання ШІ для управління університетом.	**Передбачає** • Learning Analytics; • Educational Data Mining; • прогнозування успішності студентів; • автоматизацію документообігу; • підтримку управлінських рішень; • оптимізацію ресурсів.	**Результат** формування системи інтелектуального управління університетом.
VII етап. Адаптаційний	**Мета** безперервне вдосконалення використання ШІ.	**Передбачає** • моніторинг ефективності; • оцінювання якості освіти; • аналіз ризиків; • оновлення нормативної бази; • підвищення кваліфікації персоналу; • удосконалення AI-сервісів.	**Результат** стале функціонування інтелектуального цифрового університету.

Рисунок 1 – Поетапна модель впровадження ШІ у ЗВО

Висновки: 1. Проведене дослідження підтвердило, що впровадження технологій ШІ є закономірним етапом цифрової трансформації ЗВО та одним із ключових чинників якості освітньої, наукової та управлінської діяльності університетів. 2. Обґрунтовано, що інтеграція технологій ШІ має розглядатися як системна цифрова трансформація ЗВО. 3. Розроблено ієрархічну модель впровадження технологій ШІ у ЗОШ, яка передбачає послідовну реалізацію семи взаємопов'язаних етапів. Запропонована модель може бути використана як методична основа для розробки стратегій цифрової трансформації університету, створення інституційної політики використання ШІ та підвищення ефективності функціонування ЗВО в умовах розвитку цифрового суспільства.

Література

[1]. Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII.
[2]. Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII (зі змінами).
[3]. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 02.12.2020 № 1556-р «Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні».
[4]. UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris : UNESCO, 2023.
[5]. European Commission. Digital Education Action Plan (2021–2027): Resetting education and training for the digital age. Brussels, 2020.

IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN UKRAINIAN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Bidnichenko Olena G.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

This paper examines modern approaches to implementing artificial intelligence technologies in higher education institutions amidst the transformation of the educational environment. It analyzes the regulatory framework governing the use of artificial intelligence in higher education, international recommendations, and contemporary scholarly approaches to integrating AI technologies into all aspects of university operations. A structural-hierarchical model outlining the stages of AI technology implementation is proposed, which can serve as a methodological basis for introducing these technologies in higher education institutions.

Keywords: artificial intelligence; higher education institutions; digital transformation; digital infrastructure; AI competencies.

УДК 005.8:005.334:355

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ НА ЗАХИСТІ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Білоус О.А.,
студент 6145мз групи
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
zsd128aaa@gmail.com

Анотація. Традиційні методології проєктного менеджменту, розраховані на прогнозовані ризики, втрачають ефективність в умовах оборонного сектору. У роботі досліджено, як інформаційні технології (ІТ) дозволяють перейти від реагування на кризу до її випередження завдяки безперервному моніторингу та аналізу даних у реальному часі. Запропоновано Індекс ризику оборонного портфеля (DRI – Defense Portfolio Risk Index), що враховує критичність проєкту для обороноздатності держави та ризиковий бал його зриву. Показано, що впровадження ІТ дозволяє швидше виявляти вразливі напрямки, оперативно перерозподіляти ресурси й знижувати DRI до стійкого рівня. Отримані результати підтверджують, що ІТ зміцнюють як якість управлінських рішень, так і спроможність держави підтримувати виробництво та постачання під час війни.

Ключові слова: інформаційні технології, управління проєктами, воєнний стан, прогнозування ризиків, безперервний моніторинг.

Оборонному сектору потрібна методологія нового типу, що здатна передбачити загрози ще до моменту їх реалізації. Такий підхід від реагування до випередження кризи забезпечують ІТ системи безперервного моніторингу та аналізу даних в реальному часі.

Метою роботи є дослідження впливу ІТ на управління проєктами в оборонному секторі та обґрунтування їхньої ролі у підвищенні стійкості критичної інфраструктури й виробничих процесів в умовах воєнного стану.

Ключові функції ІТ підтримки в оборонному управлінні:

– прогнозування ризиків зриву постачання та виробництва;
– динамічний перерозподіл ресурсів між критичними напрямками;
– підтримка оперативних рішень на основі актуальних даних;
– планування відновлення після ударів по інфраструктурі.

Воєнне управління проєктами змінює саму логіку прийняття рішень. У цивільному ризик-менеджменті пріоритетом є дотримання термінів і бюджету, у воєнному – здатність системи витримати удар і швидко відновитися. Рішення ухвалюються безперервно, а ціною зволікання є втрачена обороноздатність, а не лише фінансові показники.

Аналітика на основі ІТ дозволяє виявити високоризикові проєкти на ранніх етапах, що скорочує їхню частку в портфелі.

Ілюстративний приклад такого ефекту показано на рисунку 1, де частка високоризикових проєктів скорочується з 35 % до 15 %, а низькоризикових зростає з 20 % до 45 %, тоді як середньоризикові залишаються найбільшою категорією, дещо знижуючись із 45 % до 40 %

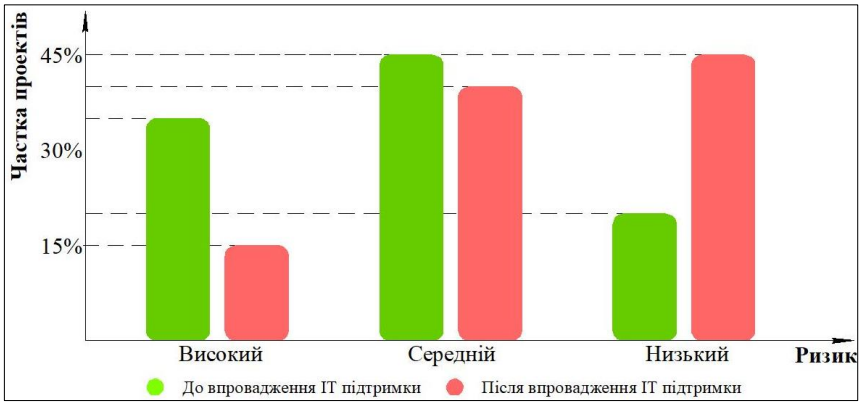


Рисунок 1 – Розподіл проєктів оборонного портфеля за рівнем ризику ДО та ПІСЛЯ впровадження ІТ підтримки (ілюстративний приклад)

Для кількісної оцінки стану оборонних проєктів пропонується Індекс ризику оборонного портфеля:

$$DRI = \Sigma (W_i \times R_i) / \Sigma W_i, \quad (1)$$

де i = 1 … n, n – кількість проєктів у портфелі;

W_i – критичність проєкту для обороноздатності держави завдяки експертному оцінюванню, з урахуванням значущості продукції для виконання оборонних завдань, відсутності аналогів на ринку та строковості постачання, %;

R_i – ризиковий бал (0–100), що відображає ймовірність зриву через воєнні чинники, такі як частки імпортних компонентів у виробництві, географічної близькості потужностей до зони бойових дій, кількості альтернативних постачальників та частоти зривів термінів за попередній період.

Інтерпретація порогових значень:

- DRI < 35 – портфель стійкий, критичні напрямки захищені;
- 35 ≤ DRI < 60 – потребує коригування, є вразливі ланки;
- DRI ≥ 60 – критичний рівень ризику, під загрозою виконання завдань.

Порогові значення пропонується визначати методом експертного оцінювання, наприклад, методом Дельфі за участю фахівців з управління оборонними проєктами. Наведені межі (35 та 60) є ілюстративними й потребують емпіричного калібрування на реальних даних портфеля.

Наприклад, для портфеля з трьох проєктів із критичністю $W_1 = 90$, $W_2 = 60$, $W_3 = 40$ та ризиковими балами $R_1 = 70$, $R_2 = 45$, $R_3 = 20$ розрахунок за формулою (1) дає DRI = (90 × 70 + 60 × 45 + 40 × 20) / (90 + + 60 + 40) = 9800 / 190 ≈ 51,6, що відповідає рівню «потребує коригування» і сигналізує про необхідність перерозподілу ресурсів на користь найбільш критичного проєкту.

Зниження DRI після впровадження ІТ підтримки означає, що система здатна витримувати удари й швидко відновлювати роботу, підвищуючи як економічну стабільність, так і живучість виробництва.

Висновок. ІТ зміщують акцент оборонного управління на випередження кризи, а запропонований індекс DRI перетворює цей зсув на вимірюваний інструмент прийняття рішень. Він дозволяє кількісно оцінювати ризик портфеля та обґрунтовано перерозподіляти ресурси. Безперервний моніторинг забезпечує

своєчасне виявлення вразливих напрямків. Практичне застосування підходу підвищує здатність держави підтримувати виробництво та постачання в умовах війни.

Література

1. Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 7th ed. Newtown Square, PA: PMI. 370 p.
2. Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (2001). Portfolio management for new products. 2nd ed. New York: Basic Books. 256 p.
3. International Organization for Standardization. (2021). ISO 21500:2021, Project, programme and portfolio management – Context and concepts. Geneva: ISO. 42 p.
4. Rabechini, R., & Carvalho, M. M. (2013). Understanding the impact of project risk management on project performance: An empirical study. Journal of Technology Management & Innovation, 8 (2), 64–78. https://doi.org/10.4067/S0718-27242013000200006.

INFORMATION TECHNOLOGIES AND PROJECT MANAGEMENT FOR STATE DEFENSE UNDER MARTIAL LAW

Bilous Olga
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Summary. Under martial law, the cost of a management error is measured in combat capability rather than budget, which makes traditional project management methodologies – designed for predictable risks – largely ineffective in the defense sector. This paper examines how information technologies enable a shift from crisis response to crisis anticipation through continuous monitoring and real-time data analysis. A Defense Portfolio Resilience Index (DRI) is proposed, accounting for a project's criticality to national defense capability and its disruption risk score. The study demonstrates that implementing IT systems enables faster identification of vulnerable areas, rapid reallocation of resources, and a measurable reduction of the DRI to a resilient level. These findings confirm that information technologies strengthen both the quality of managerial decisions and the state's capacity to sustain production and supply chains in wartime.

Keywords: information technologies, project management, martial law, risk forecasting, continuous monitoring.

УДК 528.9+004.8:623.959

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОТИМІННІЙ ДІЯЛЬНОСТІ НА БАЗІ СУЧАСНИХ ГІС ПЛАТФОРМ

Гайдаєнко О.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
okotsur80@gmail.com
Жихарєв О.В.,
студент групи 6141 МЗ
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
distncmerefa@gmail.com

Анотація. Проведено аналіз еволюції версій системи IMSMA. Визначено переваги та недоліки сучасного інструментарію управління даними у протимінній діяльності. Запропоновано комплексний підхід до впровадження алгоритмів автоматизованої верифікації та валідації даних розмінування на рівні польових додатків, серверної частини ГІС та довгострокового адміністрування баз даних. Обґрунтовано необхідність комплексного забезпечення чистоти, актуальності, валідності, повноти, узгодженості та точності геопросторових і семантичних даних у межах чинного законодавства України з метою зниження бюрократичного навантаження на саперів та усунення геометричних помилок при розрахунку площ обстежених ділянок.

Ключові слова: протимінна діяльність, IMSMA Core, геоінформаційні системи, автоматизація звітності, валідація площ, інтелектуальний аналіз даних, архітектура ГІС, семантичне старіння даних.

Вступна частина. Масштабне мінне забруднення території України вимагає якісно нових підходів до збору та обробки операційної інформації про вибухонебезпечні предмети (ВНП). Оперативність прийняття рішень щодо повернення земель у безпечне використання безпосередньо залежить від ефективності системи управління інформацією. Проте на практиці значна частина робочого часу піротехнічних команд витрачається на заповнення рутинної цифровізованої звітності, формування геопросторових полігонів та внесення великих масивів семантичних даних у систему IMSMA. Спрощення цих процесів із суворим дотриманням вимог щодо інформаційної безпеки та захисту геопросторових даних [2, 3] є критично важливим для вивільнення операційного ресурсу демінерів. Дослідження та оптимізація цих процесів шляхом впровадження інструментів автоматизованого контролю якості даних у сфері протимінної діяльності (ПМД) [1] є актуальним науково-практичним завданням.

Мета роботи. Здійснити аналіз систем управління даними ПМД та обґрунтувати шляхи автоматизації процесів верифікації, валідації та ретроспективної синхронізації даних для забезпечення комплексу їхніх фундаментальних властивостей: чистоти, актуальності, валідності, повноти, узгодженості та точності.

Основна частина. Еволюція спеціалізованого програмного забезпечення ПМД пройшла шлях від ранніх версій IMSMA до сучасних ГІС-платформ. Сучасна версія IMSMA Core, побудована на архітектурі ArcGIS (Esri), має значні переваги у гнучкості польових форм, але її ефективність критично залежить від людського фактора під час первинного введення даних та стабільності каналів зв'язку. Усталена практика засвідчує, що близько 80 % часу витрачається на збирання та відокремлення інформації, і лише 20 % – на її аналіз. Специфіка ПМД унеможливлює повний автоматичний перехід без участі людини, тому обґрунтовано необхідність впровадження інтегрованих алгоритмів автоматизованого контролю ключових метрик якості інформації на різних етапах функціонування системи. Теоретичною основою для реалізації таких алгоритмів є системні засади інтелектуального аналізу геопросторових даних [6, 7].

Розподіл засобів автоматизації та контролю реалізується на трьох рівнях архітектури інформаційної системи:

1. Контроль чистоти, повноти та точності при первинному зборі. На рівні польової форми забезпечується автоматичне заповнення текстових полів адмінподілу за координатами GPS через зворотне геокодування. Для забезпечення точності система повинна аналізувати поле *gps_accuracy* (похибка приладу в метрах) і маркувати геометричні дані як «сумнівні», якщо зйомка проводилась в умовах роботи засобів РЕБ [8]. Автоматизація контролю повноти даних виключає відправку форми, якщо зафіксовано факт виявлення ВНП (*eo_detection*), але не заповнено специфікацію категорій знахідок (поля *eo_mine_total*, *eo_cluster_mmunition_total* тощо).
2. Геометрична валідація площ та узгодженість даних на ГІС-порталі. Автоматизовані алгоритми на серверній стороні мають здійснювати крос-валідацію площ: порівнювати площу обстеженої ділянки, яку сапер вносить вручну у поле *area_size* (на основі паперового акта *act_id*), із фактичною математичною геопросторовою площею завантаженої геометрії *activity_polygon*. При виявленні розбіжностей понад встановлений ліміт допуску звіт блокується. Крім того, серверні ГІС-скрипти виконують топологічний контроль – автоматично перевіряють новий полігон на просторове накладання з уже наявними у базі обробленими ділянками для виключення дублювання звітів через технічні збої зв'язку (втрата сигналу підтвердження від сервера). Контроль узгодженості запобігає логічним протиріччям (наприклад, коли зафіксовано знищення ВНП *eo_totalnum_destr*, але витрата засобів підриву *det_quantity* вказана як нульова).
3. Запобігання семантичному старінню (Актуальність даних). Фізичні координати виявлення ВНП (*location_point_x/y*) є статичними, проте їхнє семантичне середовище (назви та межі районів чи ТГ) змінюється внаслідок адмінреформ. Як зазначається у дослідженнях системних основ інтелектуального аналізу землекористування, ефективне управління територіями в розрізі територіальних громад потребує постійної актуалізації метаданих. Обґрунтовано необхідність автоматизації процесу регулярного оновлення метаданих на сервері: алгоритм повинен періодично перевіряти координати історичних записів на відповідність актуальним версіям державних класифікаторів (КАТОТТГ), автоматично оновлюючи атрибутивні назви для збереження пошукової актуальності бази.

При імпорті та збереженні даних на серверному рівні система також реалізує автоматичне маскування та шифрування відомостей відповідно до вимог національного законодавства про захист персональних даних.

Висновки. Дослідження доводить необхідність впровадження комплексних інструментів автоматизованої верифікації даних. Розподіл функцій контролю між польовою формою (первинна валідація ресурсів та повноти заповнення) та ГІС-порталом (крос-валідація площ, захист від топологічного дублювання та ретроспективна синхронізація назв при адмінреформах) дозволяє забезпечити високу чистоту, точність та довгострокову актуальність інформації в IMSMA Core. Це значно знижує бюрократичне та психоемоційне навантаження на керівників піротехнічних груп, вивільняє час для практичного розмінування та гарантує точність стратегічного планування.

Література

[1] Про протимінну діяльність в Україні: Закон України від 06.12.2018 р. № 2642-VIII / Верховна Рада України. – URL: rada.gov.ua.

[2] Про захист персональних даних: Закон України від 01.06.2010 р. № 2297-VI / Верховна Рада України. – URL: rada.gov.ua.

[3] Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13.04.2020 р. № 554-IX / Верховна Рада України. – URL: rada.gov.ua.

[4] Протимінна діяльність. Процеси управління: ДСТУ-П 8820:2023. – [Чинний від 2023-04-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 5 с.

[5] IMAS 05.10: Information Management in Mine Action. International Mine Action Standards (IMAS), Edition 2, Amendment 2. UNMAS, 2023. 18 p.

[6] Путренко В. В., Гапон С. В. Інтелектуальний аналіз землекористування в розрізі територіальних громад України // Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство». – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. – С. 58–62. – DOI: 10.20535/EHS.2021.233529.

[7] Путренко В. В. Системні основи інтелектуального аналізу геопросторових даних // Системні дослідження та інформаційні технології (System Research & Information Technologies). – 2015. – № 3. – С. 45–54. – ISSN 1681–6048.

[8] Карпінський Ю. О., Лазоренко-Гевель Н. Ю. Методи збору геопросторових даних для топографічного картографування. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. 2018. Вип. 1 (35). С. 204–211.

[9] Гуцул Т. Геопросторові дані в гуманітарному розмінуванні територій: значення, класифікація та можливість застосування на різних етапах // Військово-спеціальні науки. – 2026. – № 1 (65). – С. 61–71. – DOI: doi.org.

[10] Крамаренко О. Р. Комплексний аналіз застосування геоінформаційних систем в протимінній діяльності в Україні // Геодезія та землеустрій. – 2025. – Вип. 6, № 194. – С. 319–325. – DOI: 10.33042/3083-6727-2025-6-194-319-325.

[11] Карпінський Ю., Лященко А., Лазоренко Н., Кінь Д. Основи створення інтероперабельних геопросторових даних. К.: КНУБА, 2023. 24 с.

[12] Esri, GICHD. Esri and the GICHD Collaborate on Explosives Mapping Technology. Redlands: Esri News, 2021. URL: esri.com.

Optimization of geoinformation collection processes in mine action based on modern GIS platforms

Haidaienko Oksana, Zhykhariev Oleksandr

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. A retrospective analysis of the evolution of IMSMA versions has been conducted. The advantages and disadvantages of modern data management tools in mine action are determined. A comprehensive approach to the implementation of automated verification and validation algorithms for demining data at the level of mobile field applications, the GIS server portal, and long-term database administration is proposed. The necessity of ensuring data cleanliness, data currency, data validity, completeness, consistency, and accuracy within the legal framework of Ukraine to reduce the bureaucratic burden on deminers, eliminate area calculation errors, and prevent semantic data decay is justified.

Keywords: mine action, IMSMA Core, geographic information systems, reporting automation, area validation, data mining, GIS architecture, semantic data decay.

УДК 004.9:005.334:339

КОНЦЕПЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ТОРГІВЕЛЬНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ

Гайдаєнко О.В.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
okotsur80@gmail.com
Меліксетов О.І.,
Здобувач PhD
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bidleguk@gmail.com

Анотація. Розробка інформаційної системи інтегрованого управління проєктними та операційними ризиками торговельної організації, для забезпечення централізованого збору, зберігання, аналізу, оцінювання та моніторингу ризиків, що виникають як у межах окремих проєктів, так і в поточній операційній діяльності підприємства є важливою складовою системи. Програма виконуватиме не лише функції реєстру ризиків, а являтиме собою систему підтримки прийняття рішень у сфері ризик-менеджменту.

Ключові слова: збір, аналіз, ризик-менеджменту, архітектура, модуль, операційні ризики, проєктні ризики.

Вступна частина. Основна концепція полягає в тому, щоб не розглядати проєктні та операційні ризики як незалежні категорії, а сформувати єдиний інформаційний простір, у якому можна виявляти ризики, оцінювати їх імовірність та вплив, визначати рівень ризику, встановлювати взаємозв'язки між проєктними та операційними ризиками, прогнозувати можливі наслідки, формувати заходи реагування, контролювати виконання заходів, відстежувати зміну рівня ризику в часі, підтримувати прийняття управлінських рішень.

Мета роботи. Підвищити ефективність системи підтримки прийняття рішень у сфері ризик-менеджменту торгівельної організації.

Основна частина. У торговельній організації ризики виникають на різних рівнях. Проєктні ризики можуть бути пов'язані з перевищенням бюджету, порушенням термінів, зміною вимог, проблемами постачання, недостатністю ресурсів, технічними проблемами, невиконанням підрядниками своїх зобов'язань.

Такі операційні ризики виникають у щоденній діяльності як перебої постачання товарів, дефіцит товарних запасів, надлишкові запаси, помилки персоналу, збої інформаційних систем, шахрайство, проблеми з логістикою, коливання попиту, повернення товарів, порушення внутрішніх процедур.

Недоліком традиційного підходу є те, що інформація про такі ризики зберігається в різних таблицях, документах та інформаційних системах. У результаті менеджер не бачить цілісної картини ризиків організації.

Концептуальна модель функціонування програми передбачає послідовне виконання взаємопов'язаних етапів таких як, збір та підготовка даних → ідентифікація ризиків → оцінювання рівня ризику → інтегрований аналіз взаємопов'язаних ризиків → прогнозування можливих наслідків → формування та реалізація заходів реагування → моніторинг зміни рівня ризику → підтримка прийняття управлінського рішення. Така послідовність забезпечує безперервний цикл управління ризиками та своєчасне реагування на потенційні загрози діяльності торговельної організації. В табличці 1, представлено єдину модель ризиків [1].

Таблиця 1 – Єдина модель ризиків

Інформаційні потоки проєктної діяльності	Інформаційні потоки операційної діяльності
Проєкти → Завдання → Ресурси → Події → Проєктні ризики	Продажі → Постачання → Запаси → Логістика → Персонал → Операційні ризики

Програму доцільно поділити на три основні функціональні модулі [2].

Модуль 1. Управління організацією він містить інформацію про організацію, підрозділи, користувачів, ролі, відповідальних осіб, проєкти та інше.

Модуль 2. Управління проєктами призначений для формування та ведення інформації про проєкти.

Модуль 3. Єдиний інтегрований реєстр ризиків, які представлені матрицею ризиків, див рисунок 1.



Рисунок 1 – Матриця ризиків

Однією з основних особливостей програми має бути єдина методика кількісно-якісного оцінювання ризику. Причому базову оцінку можна визначати за формулою (1).

$$R_i = P_i * I_i , \quad (1)$$

де P_i – ймовірність виникнення ризику

I_i – сила його впливу

R_i – інтегральний рівень ризику

Використовується шкала від 1 до 25.

1–4 – низький ризик

5–9 – помірний

10–16 – високий

17–25 – критичний.

Ключовою відмінністю програми від звичайного реєстру ризиків є можливість аналізувати проєктний ризик ↔ операційний ризик ↔ бізнес-процес ↔ ресурс ↔ фінансовий результат.

Для реалізації запропоновано трирівневу архітектуру рисунок 2.

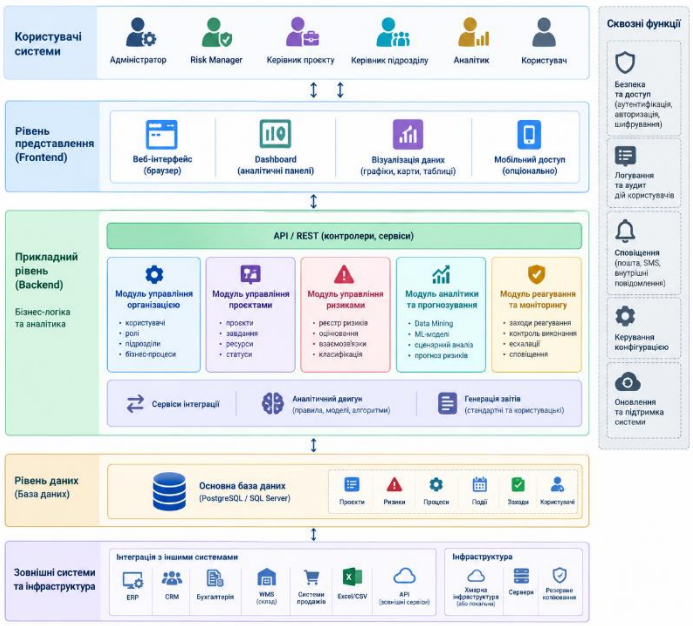


Рисунок 2 – Трирівнева архітектура розробки

Інтеграція з іншими системами полягає тому що система буде отримувати дані з ERP, CRM, бухгалтерської системи, систем управління проєктами, складської системи, системи продажів, Excel/CSV, API зовнішніх сервісів [3].

Висновки. Запропонована концепція комп'ютерної програми забезпечує інтегроване управління проєктними та операційними ризиками торговельної організації. Поєднання засобів оцінювання, аналітики, прогнозування та моніторингу ризиків у єдиному інформаційному середовищі дозволяє підвищити обґрунтованість управлінських рішень, своєчасно виявляти критичні ризики та формувати ефективні заходи реагування. Запропонована система усуває цю проблему шляхом інтеграції інформації про проєктні та операційні ризики.

Література

[1]. Усова М. О. Особливості формування інформаційної системи управління ризиками підприємств роздрібної торгівлі. Актуальні проблеми інноваційної економіки та права. – 2024. – № 2. – С. 70–75. – DOI: 10.36887/2524-0455-2024-2-13.

[2]. Kara M. E., Fırat S. Ü., Ghadge A. A data mining-based framework for supply chain risk management. Computers & Industrial Engineering. – 2020. – Vol. 139. – Article 105570. – DOI: 10.1016/j.cie.2018.12.017.

[3]. Olson D. L., Wu D. Enterprise Risk Management Models. 3rd ed. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2020. – 225 p. – DOI: 10.1007/978-3-662-60608-7.

CONCEPT OF A COMPUTERIZED RISK MANAGEMENT SYSTEM IN A TRADING ORGANIZATION

Haidaienko Oksana, Meliksetov Oleh

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. Developing an information system for the integrated management of project and operational risks within a trading organization–designed to ensure the centralized collection, storage, analysis, assessment, and monitoring of risks arising from both individual projects and ongoing operations–is a crucial component of the system. The software will function not merely as a risk register but as a decision-support system for risk management.

Keywords: collection, analysis, risk management, architecture, module, operational risks, project risks.

УДК 658.78

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОД2ІВ УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКИМИ ЗАПАСАМИ

Гайдаєнко О.В.,
кандидат технічних наук, доцент
oksana.gaidaienko@nuos.edu.ua
Шафранюк К.О.,
здобувач, ekaterina.shafranuk@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто основні методи управління складськими запасами та особливості їх організації на підприємствах. Проведено аналіз предметної області та визначено недоліки існуючих підходів, що обґрунтовує необхідність автоматизації відповідних процесів. Запропоновано використання web-застосунку для контролю наявності товарів на складі, своєчасного поповнення і спрощення управління зберігання запасів.

Ключові слова: Управління запасами, запаси на складі, облік товарів, контроль залишків, планування поставок, аналіз даних, звітність, автоматизація складського обліку, інформаційна система, база даних.

Управління запасами є важливим процесом роботи підприємства, який включає контроль наявності товарів, їх облік, зберігання та своєчасне поповнення. Основна мета полягає у забезпеченні необхідної кількості товарів для задоволення потреб клієнтів з мінімальними витратами на зберігання продукції. Для цього застосовують методи, які допомагають визначити оптимальний обсяг замовлення, планувати постачання та мінімізувати зайві запаси.

У процесі управління запасами часто використовують алгоритм min-max, який визначає мінімальний та максимальний рівні товару на складі. Коли запас знижується до мінімального значення, система обчислює кількість продукції, яку потрібно замовити для максимального рівня. Алгоритм показано у формулі 1:

$$\text{Замовлення} = \boldsymbol{max} - \text{поточний запас, якщо запас} \leq \boldsymbol{min}, \quad (1)$$

де min – мінімальний рівень запасу, max – бажаний максимальний рівень після поповнення, а поточний запас – фактична кількість товару на складі.

Незважаючи на важливість цього процесу, підприємства часто стикаються з проблемами. Однією з основних проблем є ручне ведення обліку, яке потребує значних витрат часу та може призвести до помилок. Контроль великого асортименту товарів ускладняється через різноманітність товарів та зміни попиту на ринку. Підтримувати оптимальний рівень запасів складно через нестачу або надлишок продукції, що призводить до фінансових витрат. Крім цього, відсутність автоматизованих інструментів ускладнює контроль товарів та прийняття управлінських рішень, знижуючи ефективність управління та впливаючи на задоволення потреб клієнтів.

Компанії зазвичай використовують два основних підходи для автоматизації управління запасами: ERP (Enterprise Resource Planning) та WMS (Warehouse Management System). ERP дозволяє керувати всіма процесами компанії одразу – запасами, фінансами та логістикою, а WMS призначений для роботи зі складом – прийому, зберігання та відправки товарів. Їхнє порівняння представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння систем ERP та WMS

ERP	WMS
+ Ефективність роботи	+ Точність обліку товарів
+ Управління даними	+ Швидкість обробки замовлень
+ Підтримка рішень	+ Зменшення ручної роботи
+ Обслуговування клієнтів	+ Оптимізація складу
- Високі витрати	- Висока вартість та час впровадження
- Складність у використанні на початковому етапі	- Необхідність навчання персоналу
-Складність підключення та налаштування	- Помилки налаштувань
- Вразливість до збоїв	- Залежність від техніки

Для вирішення цих проблем пропонується автоматизоване управління запасами на основі WMS-системи та web-застосунку. Такий підхід дозволяє автоматизувати облік товарів, відстежувати залишки в режимі реального часу, полегшувати пошук продукції на складі та формувати звіти для аналізу запасів. Використання автоматизованої системи допомагає зменшити кількість помилок, покращити складські процеси та підвищити ефективність роботи підприємства.

Висновки: Проаналізувавши процес управління складськими запасами, було виявлено основні проблеми, серед яких недостатня точність обліку товарів, великі витрати часу на ручне введення даних та труднощі у підтриманні оптимального рівня запасів. Для вирішення цих проблем пропонується впровадження автоматизованих систем, таких як WMS та web-застосунки, які забезпечують облік у реальному часі, зменшують кількість помилок і покращують складські процеси, підвищуючи ефективність роботи підприємства.

Література

[1] Why Inventory Management is so Important for your Business. URL: https://www.linkedin.com/pulse/why-inventory-management-so-important-your-business-karter-mayo (Дата звернення: 26.11.2025).

[2] Implementing Inventory Control: Best Practices for Ecommerce Businesses. URL: https://www.extensiv.com/blog/inventory-control (Дата звернення: 26.11.2025).

[3] What is Inventory Management? Definition, Types, Key Elements & Components. URL:https://www.4pmti.com/learn/inventory-management/ (Дата звернення: 26.11.2025).

RESEARCH ON METHODS OF WAREHOUSE STOCK MANAGEMENT

Gaidaienko O.V., Shafranyuk K.O.

Abstract. The main methods of warehouse inventory management and the organization of these methods at companies are reviewed. An analysis of the subject area is completed, and the weaknesses of existing processes are identified, demonstrating the need for automation of these processes. The use of a web application is proposed to monitor the availability of products in the warehouse, ensure timely restocking, and improve inventory management.

Keywords: Inventory management, warehouse stocks, inventory management, inventory control, supply planning, data analysis, reporting, warehouse accounting automation, information system, database.

УДК 519.6

АЛГОРИТМИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «ДІАГНОСТИКА» ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Гучек П.Й.,
доктор технічних наук, завідувач кафедрою інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
Університет VIZJA, м. Варшава, Польща
phuchek@gmail.com
Карпова С.О.,
старший викладач кафедри інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
sokarpova@gmail.com
Литвиненко О.І.,
кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
mmkntu@gmail.com
Пляха Р.О.,
студент спеціальності G4.02 Теплоенергетика Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
ruslan.pluha.123@gmail.com

Анотація. Серендипові скінченні елементи відіграють важливу роль у теорії наближення функцій багатьох змінних та ефективно використовуються при розрахунку конструкцій в суднобудуванні. Для розв'язання на серендипових скінченних елементах задачі інтерполювання з умовами, був запропонований *комбінований алгебро-геометричний метод***.**

Розроблені алгоритми програмного комплексу «Діагностика», який реалізує дослідження інтерполяційних властивостей нових дискретних моделей на елементах серендипової сім'ї, гексагональних елементах і виконує комп'ютерну діагностику стаціонарних фізичних полів.

Розробка власного програмного комплексу дала змогу в одній системі вирішувати основні задачі дослідження дискретних моделей, а також одержувати нові моделі шляхом усереднення існуючих моделей.

Ключові слова: метод скінчених елементів, базисні функції, серендипові скінченні елементи.

Вступна частина. Серендипові скінченні елементи (ССЕ) можна побудувати на основі лагранжевих елементів, якщо вилучити внутрішні вузли інтерполяції [1]. Але усі стандартні базиси ССЕ, крім білінійного, мають недоліки: наявність від'ємних навантажень у повузловому розподілі рівномірної масової сили; кратні нулі у вузлах.

У методі скінченних елементів добре відома *матрична процедура* побудови базису скінченного елемента. Але у рамках традиційного матричного аналізу звільнитися від названих недоліків не вдається. На початку 80-х років був запропонований *ймовірнісно-геометричний метод* конструювання базисів скінченних елементів. Для розв'язання на ССЕ задачі інтерполювання з умовами, був запропонований *комбінований алгебро-геометричний метод* [2-5]**.**

Мета роботи. Завдання полягає в тому, щоб розробити ефективні алгоритми для дослідження інтерполяційних властивостей нових дискретних моделей серендипової сім'ї та порівнювати отримані результати при розв'язуванні прикладних практичних завдань.

Основна частина. Для автоматизації процесу побудови моделей розроблені алгоритми програмного комплексу «Діагностика», який реалізує дослідження інтерполяційних властивостей дискретних моделей на скінченних елементах і виконує комп'ютерну діагностику стаціонарних фізичних полів. Для створення інтерактивного програмного забезпечення в підсистемі застосовуються об'єктно-орієнтовані методи та мова програмування Python.

В основу програмного комплексу покладено: уніфіковану форму задання моделей (у вигляді поліноміальних функцій); зберігання в єдиному модулі «Бібліотека моделей»; відображення за допомогою засобів комп'ютерної графіки; інтерактивний режим розв'язання задачі з широкими можливостями дослідження моделі за допомогою процедур візуалізації, суперпозиції, ансамблювання, розрахунку скалярних полів; можливість адаптивної перебудови (конструювання) функцій форм.

Розробка власного програмного комплексу дала змогу в одній системі вирішувати основні задачі дослідження дискретних моделей, а також одержувати нові моделі шляхом усереднення існуючих моделей.

У режимі «Візуалізація» виконується побудова на моніторі тривимірних зображень функцій форми плоских елементів, що дозволяє виявити аномалії побудованих моделей.

Якщо окрема функція нового базису задовольняє основним властивостям, які притаманні базисним функціям, виконується перевірка базису в цілому на виконання критерію збіжності методу скінченних елементів :

$$\sum_{i=1}^{n} N_i(\xi,\eta) = 1. \qquad (1)$$

Додавання функцій виконується послідовно в режимі «Суперпозиція». Підсистема в режимі «Ансамблювання моделей» дозволяє проводити водночас перевірку 4-х моделей (рис. 1). За допомогою ансамблювання функцій різних моделей доведено, що всі побудовані моделі на 12-ти вузловому елементі співпадають на границі елемента, таким чином зберігається C^o - гладкість апроксимації.

У режимі «Відновлення функцій» здійснюється побудова інтерполяційного полінома і конструювання поверхні на дискретному елементі згідно з відомими вузловими значеннями функції (рис. 2).

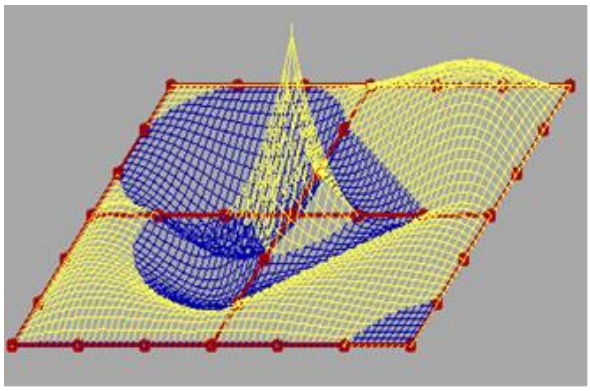


Рисунок – 1 Перевірка на міжелементну неперервність

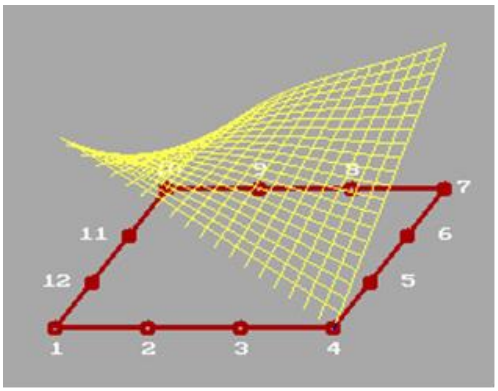


Рисунок 2 – Відновлення поля на 12-ти вузловому сирендиповому елементі

Для порівняння інтерполяційних якостей альтернативних моделей сирендипових елементів в комп'ютерній підсистемі використовується задача Діріхлє для рівняння Лапласа у квадраті. Цей приклад добре ілюструє сильні і слабкі сторони цілого ряду чисельних методів, що застосовуються для розв'язання задачі Діріхлє. У роботі показано, що температурне поле пластини можна побудувати за допомогою лише одного елементу сирендипової сім'ї (експрес-методика), що буває дуже важливо при визначені нульового наближення розв'язку задачі, що досліджується. Розрахунки виконувалися за формулою:

$$T(\xi,\eta) = \sum_{i=1}^{12} T_i N_i(\xi,\eta)\,, \qquad (2)$$

де T_i – значення температури у граничних вузлах, $N_i(\xi,\eta)$ – базисні функції вибраної моделі. При використанні скінченно-різницевих методів температура визначається в результаті розв'язання великих СЛАР тільки в вузлах нанесеної сітки.

Висновки. В роботі запропоновані нові алгоритми для дослідження інтерполяційних властивостей дискретних елементів сирендипової сім'ї. Розроблений програмний комплекс «Діагностика» дозволяє проводити дослідження дискретних моделей на скінчених елементах другого, третього і четвертого порядків на площині і в просторі та отримувати нові альтернативні базиси шляхом усереднення існуючих моделей.

Література

[1] Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. The Finite Element Method. V. 1. Butterworth-Heinemann, 2000. 689 p.

[2] Astionenko I.O., Litvinenko O.I., Osipova N.V., Tuluchenko G.Ya., Khomchenko A.N. Cognitive-graphic Method for Constructing of Hierarchical Form of Basic Functions of Biquadratic Finite Element. *Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences* : AIP Conference Proceedings report. 22–27 июня 2016 г. Албена, Болгария. 2016. Vol. 1773. P. 040002-1 – 040002-11. DOI: 10.1063/1.4964965.

[3] Guchek P., Litvinenko O., Astionenko I., Dudchenko O., Khomchenko A. "Investigating the properties of mixed finite elements", Proceedings of the International Conference On Industry Sciences and Computer

Sciences Innovation (iSCSi 2023), Procedia Computer Science, 2024, vol 237, Lisbon, Portugal. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.115

[4] Guchek P., Astionenko I., Dudchenko O., Litvinenko O., Karpova S. Investigation of alternative serendipity models for solving the problem of torsion of prismatic rods. IBIMA Publishing Communications of International Proceedings. 2025, Vol. 20, Article ID 4539125, Artificial Intelligence, Data Analytics, and Intelligent Systems: 45AI 2025 https://doi.org/10.5171/2025.4539125

[5] Guchek P., Litvinenko O., Astionenko I., Dudchenko O. "Multiparametric basis functions on the finite element Q12", Proceedings of the International Conference On Industry Sciences and Computer Sciences Innovation (iSCSi 2024), Procedia Computer Science, 2025, vol 263, Lisbon, Portugal. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.07.073

ALGORITHMS OF THE "DIAGNOSTICS" SOFTWARE SUITE FOR ANALYZING DISCRETE ELEMENTS

Petro Guchek[1,2], Svitlana Karpova[1], Olena Litvinenko[1] Ruslan Plyakha[1]

[1]Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine;

[2]VIZJA Univeristy, Warsaw, Poland

Abstract. Serendipity finite elements have an important role in the theory of function approximation of several variables and are effectively used in the design of ship structures. To solve interpolation problems with boundary conditions using Serendipity finite elements, a *combined algebraic-geometric method.* was proposed.

Algorithms were developed for the "Diagnostics" software package, which implements the study of the interpolation properties of new discrete models based on elements of the Serendipity family and hexagonal elements, and performs computer diagnostics of stationary physical fields.

The development of this proprietary software package made it possible to solve the main problems of studying discrete models within a single system, as well as to obtain new models by averaging existing ones.

Keywords: finite element method, basis functions, serendipity finite elements.

УДК 004.85:004.82]:51

ЗАПОБІГАННЯ ПОМИЛКАМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПІД ЧАС ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАДАЧ

Дудченко О.М.,
кандидат технічних наук, професор НУК
kbnuos@nuos.edu.ua
Літвінова М.Б.,
доктор пед. наук, кандидат фіз-мат наук, професор
maryna.litvinova@nuos.edu.ua
Штанько О.Д.,
кандидат фіз-мат наук, доцент
oleksandr.shtanko@nuos.edu.ua
Кафедра інформаційних технологій та фіз-мат дисциплін
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. У статті проаналізовано сучасні методики запобігання помилкам штучного інтелекту при розв'язанні математичних задач шляхом декомпозиції міркувань (Chain-of-Thought, Tree-of-Thoughts) та покрокової самоперевірки. Особливу увагу приділено інтеграції великих мовних моделей із зовнішніми символьними обчислювачами, кодовими інтерпретаторами та середовищами формальної верифікації Lean і Coq.

Ключові слова: штучний інтелект, декомпозиція міркувань, формальна верифікація

Використання великих мовних моделей для розв'язання математичних задач супроводжується фундаментальною викликом: імовірнісна природа ґенерації тексту нерідко призводить до логічних стрибків, обчислювальних помилок та ефекту «галюцинування» коректних відповідей. Оскільки математичне міркування вимагає строгої детермінованості та покрокової точності, традиційний підхід «прямого запиту» виявляється недостатньо надійним для складних академічних та прикладних завдань.

Подолання цих обмежень стало одним із провідних напрямів досліджень у галузі штучного інтелекту. Сучасна методологія мінімізації помилок спирається на три ключові стовпи: декомпозицію процесів міркування (промпт-інженерія), інтеграцію детермінованих обчислювачів і формальних мов доведення (символьний ШІ та Theorem Provers), а також впровадження покрокових систем верифікації (Process-supervised Reward Models). Синергія цих підходів дозволяє трансформувати імовірнісну модель із джерела можливих помилок на надійний інструмент математичного аналізу та формального доведення.

Для мінімізації помилок і логічних галюцинацій ШІ при розв'язанні математичних задач застосовують комбінацію інженерії промптів, підключення символьних обчислювачів та методів покрокової верифікації.

Промпт-інженерія та структурування міркувань [1, 2]

- *Chain-of-Thought (CoT, Ланцюжок міркувань):* Примушує модель розбивати задачу на послідовні проміжні кроки перед наданням відповіді, що знижує ймовірність логічних стрибків.
- *Program-of-Thought (PoT / PAL):* Модель формулює алгоритм розв'язання у вигляді програмованого коду (наприклад, Python), а самі обчислення делегує інтерпретатору, уникаючи арифметичних помилок «у голові».
- *Self-Consistency (Самоузгодженість):* Модель ґенерує *N* незалежних ланцюжків міркувань за різними траєкторіями, після чого проводиться голосування більшості (majority voting) для вибору найімовірнішої відповіді.
- *Tree-of-Thoughts:* Задача розгортається у вигляді дерева можливих дій, де модель оцінює перспективність кожного кроку та має можливість повертатися назад (backtracking) у разі тупикового розв'язку.

Інтеграція зовнішніх обчислювальних інструментів [3]

- *Символьний ІІ та CAS (Computer Algebra Systems):* Підключення до моделей бібліотек SymPy, NumPy або API WolframAlpha для точного виконання алгебраїчних перетворень, диференціювання, інтегрування та матричних операцій.
- *Формальні доводчики (Theorem Provers):* Інтеграція зі середовищами формальної верифікації (Lean, Coq, Isabelle), де кожен крок доведення перевіряється на відповідність аксіомам математичної логіки.

Самоперевірка та верифікація кроків

- *Process-supervised Reward Models (PRM):* Використання моделей перевірки, які оцінюють коректність кожного окремого кроку обчислень, а не лише кінцевий результат [4].
- *Зворотна перевірка (Self-Verification):* Додатковий запит до моделі з проханням виконати підстановку знайденого кореня в початкове рівняння або розв'язати задачу протилежним методом для виявлення розбіжностей [5].

Налаштування системних параметрів [6]

- *Контроль температури:* Зниження коефіцієнта випадковості при генерації токенів, що змушує модель обирати найбільш детерміновані та математично обґрунтовані шляхи.
- *RLVR (Reinforcement Learning with Verifiable Rewards):* Навчання моделей за допомогою підкріплення, де винагорода надається автоматично на основі строго перевірюваної математичної правильності підсумкового результату.

Висновки

– Застосування методів *Chain-of-Thought*, *Tree-of-Thoughts* та *Self-Consistency* демонструє, що ключем до точності ШІ є явне розгортання алгоритму розв'язання. Примусовий поділ задачі на підзадачі радикально знижує ймовірність логічних збоїв.

– Комбінація мовних моделей із зовнішніми символьними системами (*SymPy*, *WolframAlpha*) та середовищами програмування (*Program-of-Thought*) усуває арифметичні помилки. Модель виконує роль концептуального архітектора розв'язання, тоді як точні обчислення делегуються спеціалізованим інструментам.

– Впровадження формальних доводчиків (*Lean*, *Coq*) та покрокового нагляду (*PRM*) зміщує фокус із перевірки лише кінцевого результату на постійний контроль кожного кроку доведення, що повністю виключає помилкові логічні висновки.

– Сформована методологічна база створює підґрунтя для побудови високонадійних інтелектуальних систем навчального та науково-дослідного призначення, де ШІ виступає не просто генератором відповідей, а прозорим та верифікованим асистентом.

Література

[1]. Wei J. Et al. Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2022), 2022, 35, 24824–24837. doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.11903

[2]. Yao S. Et al. Tree of thoughts: Deliberate problem solving with large language models. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2023), 2023, 36. doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.10601

[3]. Schick T. et al. Toolformer: Language models can teach themselves to use tools. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2023), 2023, 36. doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.04761

[4]. Lightman, H. Let's verify step by step. International Conference on Learning Representations (ICLR 2024), 2024. doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.20050

[5]. Weng Y., Zhu M., Xia F., Li B., He S., Liu K., & Liu J. Large language models are better reasoners with self-verification. Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2023, 2550–2575. doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.09561

[6]. Shao, Z., et al. DeepSeekMath: Pushing the Limits of Mathematical Reasoning in Open Language Models. 2024. arXiv:2402.03300).

MITIGATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ERRORS IN MATHEMATICAL PROBLEM-SOLVING

Oleg Dudchenko, Maryna Litvinova, Oleksandr Shtanko

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article analyzes modern methodologies for preventing artificial intelligence errors in mathematical problem-solving through reasoning decomposition (Chain-of-Thought, Tree-of-Thoughts) and step-by-step self-verification. Particular attention is paid to the integration of large language models with external symbolic solvers, code interpreters, and formal verification environments such as Lean and Coq.

Keywords: artificial intelligence, reasoning decomposition, formal verification

УДК 378.147:004

УСПІШНА ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ЗДОБУВАЧІВ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ

Михальченко І.В.,
викладач Відокремленого структурного підрозділу
Фаховий коледж
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
igormihalcenko685@gmail.com

Анотація. Інформаційні технології є невід'ємною частиною сучасного світу, вони значною мірою визначають подальший економічний та суспільний розвиток людства. У цих умовах революційних змін вимагає й система навчання. Діджиталізація змінює середовище освіти в закладах фахової передвищої освіти і змінює самі заклади. Діджиталізація є головним чинником, що забезпечує безперервність, гнучкість та безпеку успішної професійної підготовки здобувачів в умовах війни. Вона трансформувала освітній процес із традиційного формату в адаптивну цифрову екосистему, яка дозволяє здобувати кваліфікацію попри повітряні тривоги, блекаути та вимушене переміщення студентів і викладачів.

Ключові слова: діджиталізація, цифрові технології, заклад фахової передвищої освіти, інформаційні технології.

Заклад фахової пердвищої освіти є найважливішим етапом освоєння професії, початком професійного становлення. Воно полягає в активному, свідомому утвердженні людини у професійній позиції на основі засвоєння певної системи знань, норм, цінностей, оволодіння професійними уміннями. Колишній школяр мусить суттєво перебудувати свої уявлення про навчання, звички, поведінку, на нових засадах забезпечити власну самоорганізацію.

Система освіти повинна реагувати на зміни в суспільстві, на виклики в умовах воєнного стану, тому місією сучасних закладів освіти є підготовка фахівця, готового та здатного приймати сучасні зміни та відповідати запитам суспільства. В останні десятиліття цифрові технології все більше впливають майже на всі сфери діяльності та життя людини як у розвинених, так і в країнах, що розвиваються. Стабільно зростає частка доданої вартості в економіці, яка створюється завдяки використанню цифрових технологій, що говорить про появу «цифрової економіки».

Інформаційна безпека стає все більш важливою темою в сучасному суспільстві, де інтернет відіграє важливу роль у нашому житті. Все більше і більше людей щодня користуються інтернетом для роботи, навчання, спілкування та розваг. Однак кількість загроз, пов'язаних з інформаційною безпекою, також зростає. Навчання інформаційній безпеці має бути невід'ємною частиною освіти кожної людини. Тільки

завдяки своєчасним заходам та свідомому ставленню до безпеки в Інтернеті ми можемо захистити себе та свої персональні дані від потенційних загроз.

Метою дослідження є успішна професійна підготовка здобувачів фахової передвищої освіти в умовах воєнного стану шляхом діджиталізації освітнього процесу.

Успішна професійна підготовка здобувачів у закладі фахової передвищої освіти (коледжі чи фаховому коледжі) ґрунтується на поєднанні якісної теорії, практичного навчання за освітньо-професійними програмами та тісній співпраці з майбутніми роботодавцями.

До основних складових успішної професійної підготовки здобувачів відносять: практичну спрямованість, яка реалізується через виробничу та переддипломну практику на базах підприємств, що дозволяє отримати реальний досвід роботи за обраною спеціальністю; сучасну матеріальну базу, а саме обладнані лабораторії, майстерні та симуляційні кабінети для відпрацювання професійних навичок; кваліфікований викладацький склад через залучення до навчання не лише викладачів-теоретиків, а й практикуючих фахівців галузі; педагогічна майстерність викладацького складу: висока кваліфікація та постійне підвищення рівня викладачів; інтерактивні методи: використання цифрових технологій, діджиталізації, проєктного навчання та командної роботи; соціально-психологічний клімат: підтримка студентів, розвиток їхньої самостійності та лідерських якостей.

Умовами досягнення результату вбачаємо дотримання вимог державних стандартів фахової передвищої освіти, моніторинг якості знань, систематична самостійна робота здобувачів та відсутність академічної заборгованості, активна участь студентів у проєктній діяльності, конкурсах фахової майстерності та стажуваннях.

Діджиталізація (цифровізація) освітнього процесу – це впровадження сучасних цифрових технологій, електронних платформ та інтернет-інструментів у навчання, викладання та управління школами чи університетами. Вона робить освіту гнучкішою, швидшою та доступнішою для всіх учасників.

Серед головних інструментів діджиталізації освітнього процесу виокремлюємо: платформи для навчання Zoom, Google Classroom, Microsoft Teams для проведення занять та передачі завдань; електронні журнали та щоденники: швидкий облік оцінок, відвідування та зв’язок із батьками без паперу; інтерактивні матеріали: онлайн-тести, цифрові підручники, освітні ігри та відео; хмарні сховища: зберігання навчальних планів і матеріалів в єдиній електронній базі. Безумовно, наголошуємо і на перевагах діджиталізації: доступ до знань із будь-якого місця та в будь-який час, зручна та швидка перевірка завдань, менше паперової роботи для викладачів, цікавіші заняття за допомогою мультимедіа.

Діджиталізація є головним чинником, що забезпечує безперервність, гнучкість та безпеку професійної підготовки здобувачів в умовах війни. Вона трансформувала освітній процес із традиційного формату в адаптивну цифрову екосистему, яка дозволяє здобувати кваліфікацію попри повітряні тривоги, блекаути та вимушене переміщення студентів і викладачів.

Також зазначаємо і деякі виклики діджиталізації: потреба у швидкому інтернеті та гаджетах для кожного здобувача, потреба навчання викладачів роботі з новими програмами, зменшення живого спілкування під час дистанційного навчання.

Попри величезні переваги, діджиталізація стикається з серйозними перешкодами. Серед них, цифрова нерівність: Не всі студенти (особливо у прифронтових зонах чи сільській місцевості) мають якісний інтернет або потужні гаджети. Виникає необхідність створення університетами цифрових хабів у безпечних регіонах, забезпечення студентів технікою за рахунок донорів. Серед перешкод – цифрове вигорання. Постійне перебування перед екраном на тлі хронічного стресу виснажує. Саме тому важливо впроваджувати мікронавчання (короткі формати матеріалів) та чергування онлайн-активностей. Також виникає проблема оцінювання та академічної доброчесності. Дистанційний контроль знань залишається складним завданням.

Таким чином, діджиталізація під час війни переросла з інструменту «підтримки» у фундамент виживання та розвитку фахової передвищої освіти. Вона не просто рятує навчальний процес, а готує фахівця нового типу, здатного працювати в умовах криз високого рівня.

Література

[1]. Залізко В. Д. Інноваційні засоби діджиталізації послуг в об’єднаних територіальних громадах. Бізнес Інформ. 2019. № 5 (496). С.62–66.

[2]. Косинський В. І., Швець О. Ф. Сучасні інформаційні технології: навч. посіб. Київ: Знання, 2012. 31 с.

[3]. Краус Н. М., Клаус К. М. Інноваційне табло України. Східна Європа: економіка, бізнес та управління. 2017. № 6. URL: http://www.easterneuropeebm.in.ua/6- 2017-ukr.

[4]. Кутішенко В.П. Вікова та педагогічна психологія (курс лекцій): навчальний посібник. Київ: Центр навчальної літератури, 2005. 12 с.

[5]. Савчин М.В., Василенко Л.П. Вікова психологія: навчальний посібник. Київ: Академвидав, 2005. 36 с.

SUCCESSFUL PROFESSIONAL TRAINING FOR STUDENTS IN HIGHER VOCATIONAL EDUCATION UNDER MARTIAL LAW: DIGITALIZATION

Mykhalchenko Ihor Valerievich
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Information technology is an integral part of the modern world; it plays a significant role in shaping humanity's future economic and social development. In this context of revolutionary change, the education system also needs to adapt. Digitalization is transforming the educational environment in pre-higher vocational education institutions and changing the institutions themselves. Digitalization is the key factor ensuring the continuity, flexibility, and security of successful vocational training for students in wartime conditions. It has transformed the educational process from a traditional format into an adaptive digital ecosystem that allows students to earn qualifications despite air raid alerts, blackouts, and the forced displacement of students and faculty.

Keywords: digitization, digital technologies, institution of vocational pre-higher education, information technologies.

УДК 005.3:004.3:621.791.05

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ПРИ ВИГОТОВЛЕНІ ЗВАРНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Сімутєнков І.В.,
кандидат технічних наук, старший викладач,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
simutenkovivan@gmail.com
Драган С.В.,
кандидат технічних наук, професор НУК, завідувач кафедри зварювального виробництва,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
stanyslav.dragan@nuos.edu.ua

Анотація: Подана розробка автоматизованої системи обліку та контролю технологічної дисципліни при виготовлені зварних металоконструкцій, яка охоплює заготівельне, складально-зварювальне та ізоляційно-малярне виробництва. Система забезпечує підвищення якості виготовлення металоконструкцій завдяки автоматизації процесів технічного контролю та виключення впливу на них суб'єктивних факторів. Наведено приклад впровадження вказаної системи на підприємстві ТОВ «ВК «Автострада».

Ключові слова: інформаційні технології, зварні металоконструкції, технологічна дисципліна, облік, автоматизація.

Вступна частина. Автоматизація процесів та функцій системи оперативного управління – обліку, контролю, аналізу та планування – є актуальним завданням, вирішення якого дозоляє підвищити ефективність виробництва. Значна частина існуючих інтегрованих рішень, що реалізують автоматизований облік та контроль на виробництві, мають високу вартість впровадження та підтримки [1-3]. За відсутності запозичених інтегрованих рішень деякі з функцій системи оперативного управління можуть бути реалізовані шляхом створення власними силами системи автоматизованого збору і обробки інформації про виробництво, зокрема в актуальних сферах – обліку та контролю технологічної дисципліни. Тому **метою даної роботи** є розробка автоматизованої системи обліку та контролю технологічної дисципліни при виготовлені зварних металоконструкцій.

Основна частина. Розроблена автоматизована система спрямована на підвищення рівня виробничого обліку та оперативного управління персоналом і виготовленням продукції як у заводських умовах, так і при наступному монтажі металоконструкцій (МК). Система містить дві складові: підсистему обліку персоналу та підсистему обліку продукції.

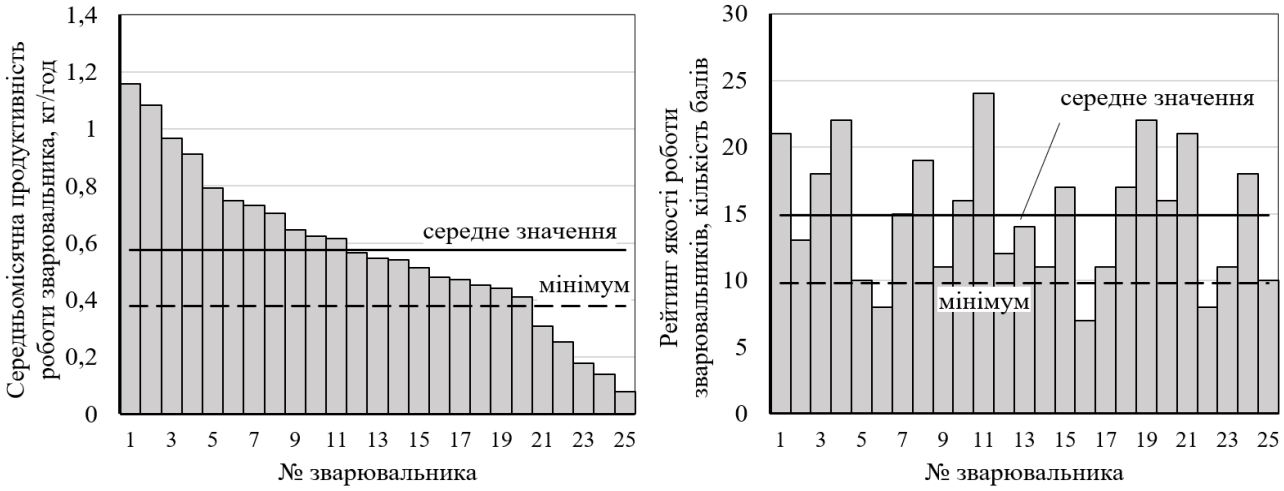
Фізичним втіленням підсистеми обліку персоналу є індивідуальні (іменні) чип-картки з фото, табельним номером, прізвищем, інформацією про атестацію та кваліфікаційний рівень виконавця роботи. Картки видаються кожному з основних працівників (операторам верстатів, складальникам, зварювальникам, малярам), допущеним до роботи в цехах заводу. Робітники зобов'язані постійно мати при

собі особисту картку протягом робочої зміни та пред'являти її за першою вимогою відповідного інженерно-технічного співробітника.

Робота даної підсистеми ґрунтується на скануванні карток за допомогою авторизованих у системі терміналів, які видані контролюючому інженерно-технічному персоналу Заводу (інженеру-технологу, інженеру з якості). Після сканування в інтерфейсі додатка з'являється «вікно», в якому оператор системи вибирає необхідний розділ (складання, зварювання, фарбування і т. ін.), проставляє оцінку (схвалення або зауваження) та приєднує фотографію об'єкту, який підлягає контролю (деталі, вузла, зварного шва, готової МК), і надсилає данні до реєстру, розташованому у хмарному середовищі. За накопиченою у звітному періоді сумою позитивних та негативних балів автоматично визначається індивідуальний рейтинг кожного робітника. Приклад формування рейтингу для зварювальників наведено на рис. 1.

Наприкінці звітного періоду згідно з індивідуальним рейтингом робітнику нараховується відповідна надбавка до заробітної платні (або позбавляється неї), яка затверджується керівником виробництва. Таким чином система сприяє створенню необхідного мотиваційного взаємозв'язку між якістю роботи та винагородою.

Підсистема обліку персоналу наразі пройшла тестування автоматизованого контрою якості складання-зварювання МК на підприємстві ТОВ «ВК «Автострада. У тестуванні одночасно взяли участь 43 зварювальника, 4 бригадири зі складання та майстрів зі складання-зварювання.



а *б*

*Рисунок 1 – Середньомісячна продуктивність (**а**) та рейтинг якості роботи зварювальників за звітний період (**б**)*

Фізичним втіленням підсистеми обліку продукції є пластикові картки з вбудованими чипами (електронні бирки) з нанесеними даними щодо замовлення, назви та масо-габаритних характеристик продукції. Електронні бирки закріплюються на МК і супроводжують основні етапи виготовлення на заводі, під час відвантаження, транспортування, монтажу металоконструкцій. Робота системи ґрунтується на скануванні бирок за допомогою авторизованих у системі терміналів, які видані майстрам відповідальним за технологічні етапи. Під час сканування здійснюється обмін даними та їх збирання. Зібрані дані зберігаються у спеціалізованих базах даних з обмеженим доступом. Зазначені данні аналізуються відповідальним фахівцем для прийняття оперативних управлінських рішень щодо персоналу та виробництва. У даній підсистемі реалізовано: облік етапів виготовлення МК (заготівля, складання, зварювання, фарбування, контроль якості, заводська логістика, зберігання), а також логістичних та монтажних етапів (відвантаження, розвантаження, монтаж) зі створенням звітів про прогрес виконання замовлення та передачу продукції замовнику (рис. 2). Крім цього, через електронні бирки реалізовано доступ до довідкової інформації (паспорти МК, креслення, 3D-моделі відповідних конструкцій, сертифікати на матеріали, WPS, технологічні вказівки, інструкції, тощо). Згодом через вказану підсистему планується запровадити облік відпрацювання кожного з основних працівників на відповідних МК.

Підсистема обліку продукції в період з 18.06.2026 р. по 14.08.2026 р. пройшла тестування (75 одиниць МК, загальною вагою близько 300 т) в умовах реального виробництва. Результати тестування підтвердили працездатність і основний функціонал підсистеми.

Програмна частина всієї системи, що відповідає за збір, обробку та аналіз інформації, складається з електронних додатків власної розробки. Передача інформації в системі здійснюється за допомогою заводської Mesh-мережі, що забезпечує покриття виробничих цехів Wi-Fi сигналом для доступу до мережі

IoT-пристроїв та Інтернет. Створена автоматизована система впроваджена на підприємстві ТОВ «ВК «Автострада. Передбачена можливість її використання як самостійно, так і в інтеграції з іншими системами автоматизованого управління (ERP/PDM/MES).

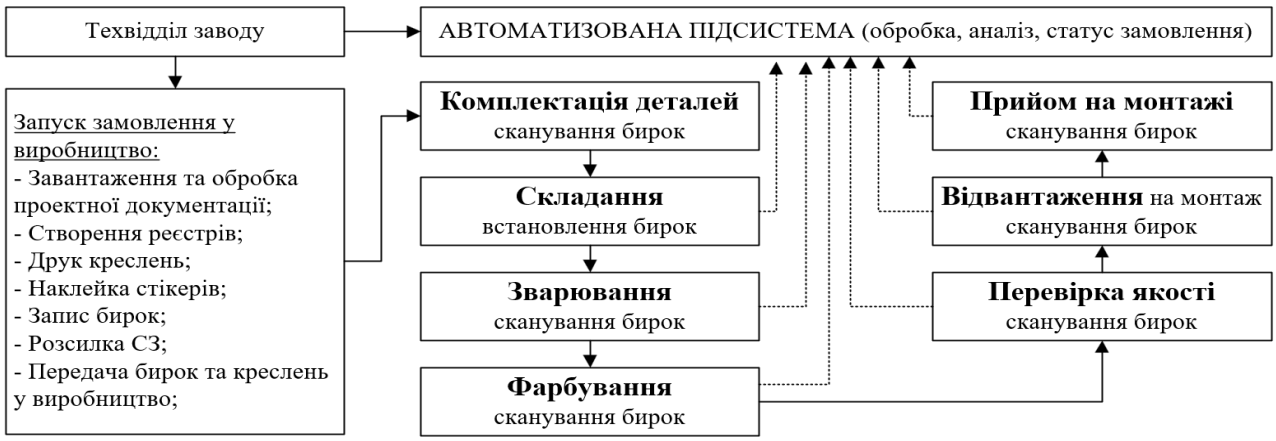


Рисунок 2 – Схема автоматизованої підсистеми обліку продукції

Висновок. Розроблена система автоматизованої обліку та контролю технологічної дисципліни при виготовлені зварних металоконструкцій дозволяє доступними засобами вирішувати основні завдання щодо організації контролю, аналізу, планування і, відповідно, регулювання ходу виробництва для забезпечення запланованого випуску продукції. Поєднання вказаної системи автоматизованого збору та обробки інформації з цифровим двійником виробництва, створеним у відповідності з концепцією індустрії 4.0, дозволить реалізувати оперативне управління виробничими процесами у інтерактивному режимі.

Література

[1] Офіційний сайт компанії GRAITEC group. – [Электронный ресурс]. – Режим доступу: https://graitec.com/uk/products/advance-workshop;

[2] Офіційний сайт компанії STRUMIS LTD. – [Электронный ресурс]. – Режим доступу: https://strumis.com/steel-fabrication-management-software-strumis-fabricator-mrp;

[3] Офіційний сайт компанії IT-Enterprise. – [Электронный ресурс]. – Режим доступу: https://www.it.ua/erp-system-it-enterprise;

USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR MONITORING AND CONTROLLING TECHNOLOGICAL DISCIPLINE IN THE FABRICATION OF WELDED METAL STRUCTURES

Simutienkov Ivan Viktorovych, Dragan Stanislav Volodymyrovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper presents the development of an automated system for tracking and monitoring technological discipline in the manufacture of welded metal structures, covering the blanking, assembly-welding, and insulation-painting production stages. The system improves the quality of metal structure fabrication by automating technical control processes and eliminating the influence of subjective factors. An example of the system's implementation at the enterprise Avtostrada Production Company LLC is provided.

Keywords: information technologies, welded metal structures, technological discipline, accounting, automation.

УДК 004.056:005.8

УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ЦИФРОВОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Чабан І.,
студент групи 5141м
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У тезах розглянуто підходи до управління проєктами, які спрямовані на підвищення цифрової стійкості інформаційних систем в умовах воєнного стану. Визначено основні ризики для інформаційних систем, зокрема кіберінциденти, порушення доступності сервісів, відмови інфраструктури, втрату даних та нестачу ресурсів. Запропоновано структуру проєкту цифрової стійкості, яка включає виявлення критичних активів, оцінку ризиків, планування заходів захисту, резервування, реагування на інциденти та контроль результатів. Обґрунтовано доцільність поєднання інструментів управління проєктами з вимогами захисту інформації та кібербезпеки.

Ключові слова: інформаційні системи, цифрова стійкість, управління проєктами, кібербезпека, кіберризики, воєнний стан, резервування, реагування на інциденти.

Вступ. У сучасних умовах інформаційні системи є важливою частиною роботи державних установ, підприємств та організацій. Надійність цифрових сервісів залежить не лише від їхньої продуктивності, а й від здатності продовжувати роботу під час кібератак, технічних відмов, перебоїв електроживлення, втрати мережевого доступу та інших несприятливих чинників. В Україні правовий режим воєнного стану задає особливі умови роботи органів влади, підприємств, установ та організацій і пов’язаний з потребою забезпечення національної безпеки [1].

Разом із фізичними загрозами зростає роль кіберзахисту. Законодавство України визначає основні засади забезпечення кібербезпеки та встановлює правові й організаційні основи захисту кіберпростору [2]. Закон України Про критичну інфраструктуру визначає засади роботи та захисту критичної інфраструктури, для якої безперервність цифрових процесів має особливе значення [3]. Отже, під час реалізації ІТ-проєктів у воєнних умовах питання стійкості інформаційних систем варто розглядати як окремий напрям управління проєктними ризиками.

Мета роботи. Метою роботи є формування практичного підходу до управління проєктом підвищення цифрової стійкості інформаційної системи в умовах воєнного стану. Для досягнення мети необхідно визначити основні етапи такого проєкту, пов’язані з ними ризики, ресурси та критерії контролю результативності.

Основна частина. Проєкт цифрової стійкості доцільно розглядати як комплекс взаємопов’язаних заходів, спрямованих на забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності інформації, а також на відновлення роботи системи після інцидентів. На відміну від звичайного проєкту модернізації, його результатом має бути не тільки впровадження нового програмного або апаратного рішення, а створення здатності системи зберігати критичні функції або швидко відновлювати їх після порушення нормальної роботи.

Першим етапом є ініціація проєкту та визначення його меж. На цьому етапі встановлюються цілі, зацікавлені сторони, критичні бізнес-процеси, відповідальні особи та обмеження за строками й ресурсами. Важливо визначити, які інформаційні ресурси є критичними для безперервної діяльності організації. До них можуть належати бази даних, сервери, мережеве обладнання, системи електронного документообігу, засоби автентифікації та резервного копіювання.

Другим етапом є аналіз ризиків. Для кожного критичного активу визначаються потенційні загрози, вразливості, ймовірність виникнення небажаної події та можливий вплив на діяльність організації. Узагальнено ризик можна подати як добуток оцінки ймовірності події на оцінку її наслідків: $R = P \times I$, де R – інтегральна оцінка ризику, P – ймовірність реалізації загрози, I – величина впливу. Такий підхід дає змогу ранжувати ризики та визначати пріоритетність заходів.

На цьому етапі доцільно враховувати принципи системного управління інформаційною безпекою. ISO/IEC 27001:2022 встановлює вимоги до системи управління інформаційною безпекою, що передбачає її створення, впровадження, моніторинг, підтримання та постійне вдосконалення з урахуванням ризиків організації [5]. Це дозволяє інтегрувати заходи кіберзахисту безпосередньо в управлінські процеси проєкту.

Третім етапом є формування плану реагування. Він повинен передбачати технічні та організаційні заходи: резервне копіювання даних, дублювання критичних компонентів, контроль доступу, багатофакторну автентифікацію, сегментацію мережі, моніторинг подій безпеки, оновлення програмного

забезпечення, регламент реагування на інциденти та порядок відновлення після відмови. Для критично важливих систем особливе значення має перевірка працездатності резервних копій і практичне тестування сценаріїв відновлення.

Підхід до забезпечення безперервності діяльності може бути доповнений принципами ISO 22301:2019. Цей міжнародний стандарт визначає вимоги до системи управління безперервністю діяльності та орієнтується на підготовку до порушень, реагування на них і відновлення після них [6]. Таким чином, кіберзахист і безперервність діяльності доцільно розглядати як взаємопов'язані складові одного проєкту цифрової стійкості.

Четвертий етап пов'язаний із реалізацією та контролем. Для управління роботами доцільно сформувати календарний план, матрицю відповідальності та перелік контрольних точок. Кожна задача повинна мати відповідального виконавця, строк завершення та критерій приймання. При цьому заходи кіберзахисту не повинні розглядатися як одноразова установка програмного продукту: після впровадження необхідні постійний моніторинг, оновлення, аудит і коригування планів.

Особливістю проєктів цифрової стійкості в умовах воєнного стану є висока невизначеність. Ресурси можуть бути обмеженими, а пріоритети – змінюватися під впливом зовнішніх подій. Тому доцільно застосовувати поетапну реалізацію. На першому рівні виконуються заходи з найвищим очікуваним ефектом: захист облікових записів, резервне копіювання, усунення критичних вразливостей, налаштування моніторингу та підготовка процедур відновлення. На наступних рівнях реалізуються заходи з модернізації архітектури, підвищення автоматизації та оптимізації процесів.

Для контролю результатів можна використовувати систему показників. До базових показників належать доступність критичних сервісів, час виявлення інциденту, час реагування, час відновлення, частка успішно перевірених резервних копій та кількість невиправлених критичних вразливостей. Важливо оцінювати не лише кількість виконаних задач, а й фактичну здатність інформаційної системи продовжувати роботу та відновлюватися після порушення її функціонування.

Управління таким проєктом доцільно організувати за циклом «планування – реалізація – перевірка – коригування». На етапі планування визначаються активи, ризики та цілі. Під час реалізації впроваджуються заплановані заходи. Перевірка передбачає тестування захисних механізмів і сценаріїв відновлення. Коригування використовується для усунення виявлених недоліків і перегляду пріоритетів. Такий цикл дозволяє перетворити цифрову стійкість із разового проєкту на безперервний процес удосконалення.

Важливою складовою є також розподіл відповідальності. Керівник проєкту координує строки, ресурси та взаємодію учасників. Фахівці з інформаційної безпеки визначають вимоги до захисту та контролюють їх виконання. Системні адміністратори та ІТ-фахівці реалізують технічні заходи. Керівники підрозділів визначають критичність бізнес-процесів і погоджують допустимі ризики. Такий розподіл зменшує ризик ситуації, коли відповідальність за стійкість системи фактично не закріплена за конкретними учасниками.

Результатом проєкту має бути не тільки набір встановлених засобів захисту, а документована та перевірена система забезпечення стійкості. До складу результатів доцільно включити реєстр критичних активів, реєстр ризиків, план резервного копіювання, план реагування на інциденти, план відновлення, матрицю відповідальності та звіт про тестування. Документування дозволяє підтримувати керованість системи навіть у разі зміни персоналу або зовнішніх умов.

Висновки. Управління проєктами цифрової стійкості інформаційних систем в умовах воєнного стану потребує поєднання класичних інструментів проєктного менеджменту з підходами до кібербезпеки та безперервності діяльності. Основними складовими такого проєкту є визначення критичних активів, аналіз ризиків, планування заходів захисту, резервування, організація реагування та контроль результатів. Поетапна реалізація дозволяє концентрувати обмежені ресурси на найбільш критичних ризиках, а регулярне тестування – перевіряти реальну готовність інформаційної системи до інцидентів. Запропонований підхід може використовуватися як основа для розроблення практичних планів підвищення цифрової стійкості підприємств, установ та інших організацій.

Література

[1] Про правовий режим воєнного стану : Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII. База даних «Законодавство України».

[2] Про основні засади забезпечення кібербезпеки України : Закон України від 05.10.2017 № 2163-VIII. База даних «Законодавство України».

[3] Про критичну інфраструктуру : Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX. База даних «Законодавство України».

[4] Ноздріна Л. В., Ящук В. І., Полотай О. І. Управління проєктами : підручник / за заг. ред. Л. В. Ноздріної. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 43 с.

[5] ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements. Geneva : International Organization for Standardization, 2022.

[6] ISO 22301:2019. Security and resilience – Business continuity management systems – Requirements. Geneva : International Organization for Standardization, 2019.

PROJECT MANAGEMENT OF DIGITAL RESILIENCE OF INFORMATION SYSTEMS UNDER MARTIAL LAW

Ivan Chaban

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper considers approaches to project management aimed at increasing the digital resilience of information systems under martial law. The main risks include cyber incidents, service unavailability, infrastructure failures, data loss and resource constraints. A project structure is proposed that covers identification of critical assets, risk assessment, security planning, backup, incident response and performance control. The combination of project management tools with information security and business continuity requirements is considered an important condition for sustainable operation and recovery of information systems.

Keywords: information systems, digital resilience, project management, cybersecurity, cyber risks, martial law, backup, incident response.

УДК 004

ОПТИМІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ У ВОЛОНТЕРСЬКИХ СИСТЕМАХ

Зайцев О.В.,
бакалавр, здобувач освіти групи 6141м,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
231148@nuos.edu.ua
Книрік Н.Р.,
к.т.н., доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна,
nknyrik@gmail.com

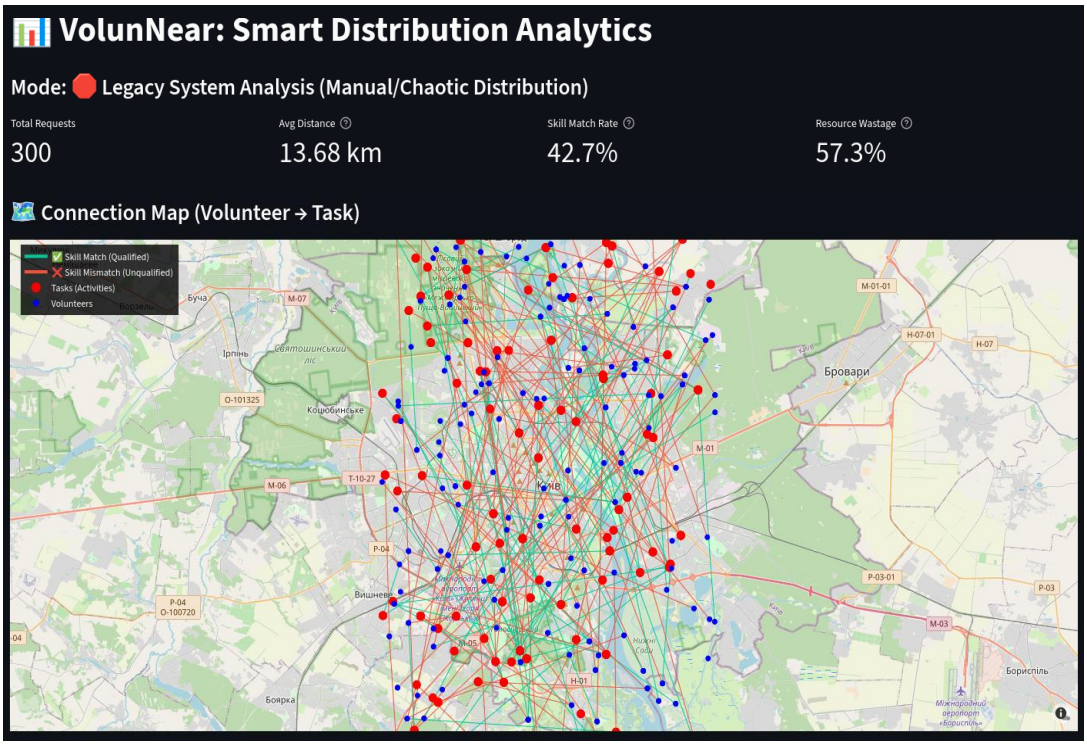
Анотація. У роботі запропоновано перехід від пасивних моделей до інтелектуальної системи проактивного розподілу ресурсів (Smart Distribution Engine) у волонтерських платформах. Розроблено математичну модель багатокритеріального ранжування та архітектурне рішення на базі Spring Boot і PostGIS для мінімізації логістичних втрат.

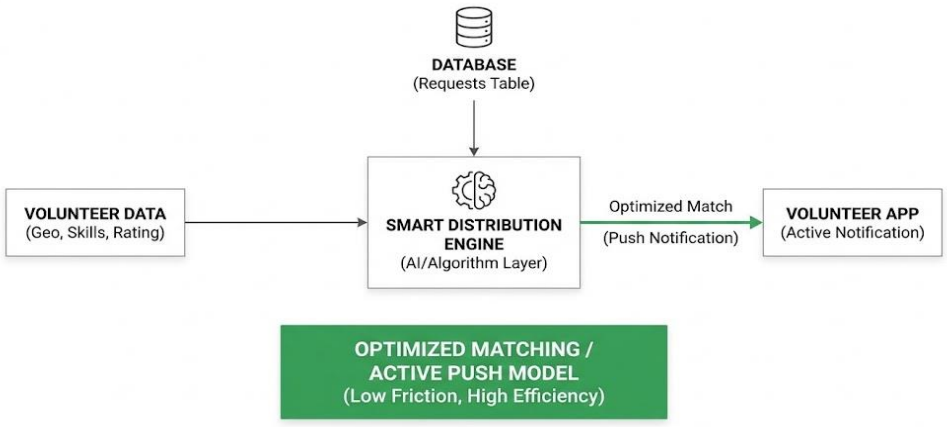
Ключові слова: волонтерські системи, багатокритеріальна оптимізація, Smart Distribution, геоінформаційні системи, Spring Boot, автоматизація.

Вступ. У сучасних умовах волонтерський рух є критично важливим ресурсом для суспільної стабільності. Проте використання застарілих інструменті координації, таких як месенджери чи електронні таблиці, призводить до логістичного хаосу, ігнорування територіальної близькості волонтерів та нераціонального використання їхнього професійного потенціалу. Імітаційне моделювання поточних процесів продемонструвало критичні недоліки: середню дистанцію до завдання 13.68 км та рівень втрати ресурсів (часу, пального, енергії) на рівні 57.3 %.

Основна частина Для подолання виявлених системних недоліків розроблено концепцію інформаційної системи з модулем “Smart Distribution Engine”. Архітектура рішення передбачає перехід від пасивної моделі “Pull” (де волонтер самостійно шукає задачу) до активної моделі “Push” (де система проактивно пропонує завдання найрелевантнішому виконавцю).

Як зазначається у дослідженні, присвяченому просторовому краудсорсингу, перехід від пасивного пошуку до проактивних алгоритмів сповіщення дозволяє скоротити час відгуку на кризові запити та мінімізувати когнітивне навантаження на координаторів [1, с. 889].





Функціонування модуля Smart Distribution базується на багатокритеріальному ранжуванні. Для автоматизації прийняття рішень розроблено математичну модель оцінки релевантності R(v,t), яка максимізує показник відповідності волонтера v до завдання t:

$$R(v,t) = \alpha \cdot u_{geo}(v,t) + \beta \cdot u_{skill}(v,t) + \gamma \cdot u_{prio}(t)$$

$$u_{geo}(v,t) = \exp\left(-\lambda d(v,t)\right) \in [0,1]$$

$$u_{skill}(v,t) = \frac{S_v * S_t}{||S_v||\,||S_t||} \in [0,1]$$

$$u_{prio}(t) = \frac{P(t) - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \in [0,1]$$

$$(\alpha,\beta,\gamma) \in \Delta^2$$

$$v^* = \underset{v \in V_{feas(t)}}{\arg\max}\, R(v,t)$$

де $u_{geo}(v,t)$– функція геопросторової близькості, що мінімізує логістичні витрати;

$u_{skill}(v,t)$ – функція відносної релевантності компетенцій, що забезпечує якісне виконання завдань;

$u_{prio}(t)$– скалярне значення пріоритетності завдання;

α, β, γ – емпіричні вагові коефіцієнти, що налаштовуються аналітичним відділом залежно від поточної ситуації.

Задача оптимального призначення полягає у виборі волонтера $v^* \in Vfeas(t), для якого цільова функція R(v, t) досягає максимуму.

Архітектурна реалізація платформи VolunNear базується на Java та Spring Boot. Для ефективної обробки геоданих у PostgreSQL застосовано розширення PostGIS із просторовими індексами GIST, що забезпечує миттєве обчислення відстаней між об'єктами

Використання просторових індексів GIST у середовищі PostgreSQL/PostGIS забезпечує обчислення складних матриць відстаней за шкалою $O(\log n)$, що є критично важливим для масштабування платформ реального часу під високими навантаженнями [2, с. 114].

Клієнтська частина, розроблена з використанням React та TypeScript, забезпечує динамічну візуалізацію стану ресурсів на мапі. Важливим елементом архітектури є використання технології Server-Sent Events (SSE) – що дозволяє реалізувати асинхронне оновлення аналітичних дашбордів координатора в реальному часі, усуваючи ефект «інформаційної сліпоти» при великих обсягах заявок.

Застосування легковагових потоків подій у реальному часі суттєво знижує накладні витрати мережі порівняно з традиційними механізмами опитування (polling), усуваючи «інформаційну сліпоту» операторів у стресових умовах [3, с. 45].

Висновки. Впровадження розробленого модуля інтелектуального розподілу дозволяє трансформувати систему з пасивного цифрового реєстру на активний координаційний центр. Запропоновані технічні рішення та алгоритмічне забезпечення мінімізують логістичні витрати та дозволяють знизити показник втрати ресурсів до цільового рівня 5–10 %, що суттєво підвищує загальну стійкість та ККД волонтерських ініціатив.

Література

1. Goodchild, M. F., & Li, W. Citizen Science and Spatial Crowdsourcing: Concepts and Intelligent Frameworks. *International Journal of Geographical Information Science*, 35 (5), 885–904, 2021.

2. Tanenbaum, R., Smith, K., & Zhao, H. Enterprise Microservices and Spatial Indexing in Humanitarian Logistics. *Journal of Systems Architecture*, 134, 102780, 2023.

3. Garcia, R., & Martinez, L. Multi-Criteria Decision Analysis and Real-Time Push Notification Frameworks in Humanitarian Logistics. *Computers & Operations Research*, 155, 106234, 2023.

OPTIMIZATION OF INFORMATION PROCESSES FOR RESOURCE MANAGEMENT IN VOLUNTEER SYSTEMS

Zaitsev Oleh, Natalia Knyrik

National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper proposes a transition from passive models to an intelligent proactive resource distribution system (Smart Distribution Engine) in volunteer platforms. A multi-criteria ranking mathematical model and an architecture based on Spring Boot and PostGIS are developed to minimize logistical overhead.

Keywords: volunteer systems, multi-criteria optimization, Smart Distribution, geographic information systems, Spring Boot, automation.

УДК 004.02

ГІБРИДНІ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ЯК СУЧАСНИЙ КОМПРОМІС ДЛЯ КОНСЕРВАТИВНОЇ ІНДУСТРІЇ АПТЕЧНИХ ЗАКЛАДІВ

Борко Ю.А.,
здобувачка магістерського рівня
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
yuliiaborko71@gmail.com

Анотація: У роботі було проведено системний аналіз структури методологій розробки програмного забезпечення Agile та Waterfall у контексті роботи з інформаційними системами аптечної галузі. Розглянуто їх ключові переваги та обмеження, а також специфіку застосування у сфері, що характеризується високим рівнем регламентованості та нормативного контролю. Було обґрунтовано, що використання цих методологій поодинці є недостатнім для ефективної розробки програмного забезпечення аптечних закладів та запропоновано концепцію гібридних методологій.

Ключові слова: методологія розробки програмного забезпечення, інформаційні системи, цифрова трансформація, Agile, Waterfall, гібридна модель, фармацевтична галузь.

Вступна частина. Аптечна індустрія традиційно відзначається високою регламентованістю та консервативністю, що ускладнює впровадження нових цифрових рішень. Водночас сучасні виклики ринку та тенденції цифровізації потребують більшої гнучкості та адаптивності. Гібридні методології, які поєднують класичний Waterfall та Agile підходи, виступають оптимальним компромісом: вони відіграють ключову роль у зберіганні структурованості процесів і водночас дозволяють поступово інтегрувати інновації у діяльність аптечних закладів.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз методологій розробки програмного забезпечення Agile і Waterfall та використання їх гібридної версії для забезпечення балансу між нормативною стабільністю та потребою у цифровій трансформації аптечної сфери.

Основна частина. Методології розробки програмного забезпечення відіграють ключову роль у процесі проєктування та впровадження інформаційних систем. Кожна методологія ґрунтується на власній філософії організації роботи та має специфічні переваги й обмеження, що визначають її доцільність у різних галузях. У сфері охорони здоров'я та фармацевтики застосування лише однієї методології часто призводить до обмежень, оскільки галузь поєднує високий рівень регламентованості з потребою у цифровій трансформації.

Agile методи відрізняються від традиційних, жорстких підходів тим, що надають пріоритет гнучкості, адаптивності та реагуванню на мінливі вимоги. Такі підходи сприяють ітеративній та інкрементальній реалізації цінності, дозволяючи командам створювати продукти або послуги, які ефективно задовольняють мінливі потреби клієнтів та очікування ринку [1]. Цей підхід забезпечує швидке реагування на нові вимоги, що є критично важливим для фармацевтичної сфери, де регулярно відбуваються реформи та оновлення нормативної бази, проте може створювати ризики недостатньої формалізації процесів у консервативному середовищі. З іншої сторони методологія Waterfall має чітку структуру. Це послідовна модель, що складається з різних етапів, кожен з яких має власний набір цілей та результатів роботи [2]. Її основною перевагою є чітка структурованість та передбачуваність процесу, що особливо важливо для консервативних галузей, де необхідно суворо дотримуватися нормативних вимог і стандартів. Водночас недоліком Waterfall є низька гнучкість: внесення змін на пізніх етапах практично неможливе без значних витрат часу та ресурсів.

Жоден з цих методів не може задовільнити більшість вимог розробки інформаційних систем аптеки тому поєднання Waterfall та Agile у вигляді гібридних моделей створює компроміс між стабільністю та гнучкістю [3]. Структурованість каскадної моделі Waterfall забезпечує відповідність нормативним вимогам, тоді як Agile практики дозволяють адаптувати систему до змін та поступово інтегрувати цифрові рішення. Такий підхід мінімізує ризики, пов'язані з впровадженням нових технологій, і водночас сприяє підвищенню ефективності управління бізнес-процесами аптечних закладів.

Висновок. Таким чином, застосування окремо лише Waterfall або лише Agile методології у фармацевтичній сфері є недостатнім для ефективної розробки та впровадження інформаційних систем. Оптимальним рішенням виступає використання гібридних методологій, які поєднують переваги обох підходів. Такий компроміс дозволяє одночасно дотримуватися регламентованих стандартів та забезпечувати поступову цифрову трансформацію.

Література

[1]. Waseem Haider Kakar, Noor Ahmed, Naseeb Ullah: Agile Methodologies For Project Success: Exploring The Role Of Innovation And Management Support, с. 3

[2]. What is Waterfall Methodology in Project Methodology [Електронний ресурс]: https://instituteprojectmanagement.com/blog/waterfall-methodology/

[3]. Вступ до гібридної методології [Електронний ресурс]: https://e5.ua/uk/blogpost-2/vybir-typu-proyektu-za-metodologiyeyu-waterfall-agile-hybrid/

HYBRID DEVELOPMENT METHODOLOGIES AS A MODERN COMPROMISE FOR THE CONSERVATIVE PHARMACY SECTOR

Borko Yuliia Andriivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper presents a systematic analysis of the structure of the Agile and Waterfall software development methodologies in the context of working with information systems in the pharmacy sector. It examines their key advantages and limitations, as well as the specific nature of their application in a sector characterised by a high degree of regulation and regulatory control. It was argued that the use of these methodologies in isolation is insufficient for the effective development of software for pharmacy establishments, and a concept of hybrid methodologies was proposed.

Keywords: software development methodology, information systems, digital transformation, Agile, Waterfall, hybrid model, the pharmaceutical industry.

УДК 004.94

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ ЦІЛЕЙ НА РОЗДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ BEARING-ONLY ЛОКАЛІЗАЦІЇ

Ворона М.В.,
PhD, викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій,
mykhailo.vorona@nuos.edu.ua
Клєпцов А.А.,
аспірант, artem.klieptsov@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв Україна

Анотація. Досліджено вплив кількості цілей на якість bearing-only локалізації за азимутальними вимірюваннями у мультирадарній конфігурації з одним основним і трьома додатковими радарами. Експериментально оцінено зміну якості відновлення координат за перетинами пеленгів зі зростанням кількості цілей. Показано, що кількість істинних перетинів зростає приблизно лінійно, тоді як кількість кандидатних перетинів зростає квадратично, що призводить до збільшення частки фантомних перетинів та погіршення якості локалізації. Встановлено межу практичної придатності підходу на основі евклідової кластеризації перетинів для дослідженої конфігурації. Обґрунтовано напрями вдосконалення локалізації шляхом урахування негаусівського характеру похибки координат, переходу до ймовірнісного оцінювання та використання часової інформації.

Ключові слова: bearing-only локалізація; азимутальні вимірювання; фантомні перетини; кластеризація; DBSCAN; негаусівські моделі похибки; межа роздільної здатності.

Вступ. У bearing-only системах спостереження кожен радар реєструє лише напрямок (пеленг) на об’єкт, тому положення цілі відновлюється через перетини пеленгів різних радарів. За наявності кількох цілей промені, спрямовані на різні об’єкти, утворюють хибні (фантомні) перетини, які не відповідають жодній реальній цілі. Для відокремлення істинних скупчень від фантомних традиційно застосовують методи щільнісної кластеризації, зокрема DBSCAN [1, 2]. У роботі авторів [3] проведено порівняння алгоритмів K-means і DBSCAN для цієї задачі. Водночас потребує дослідження питання щодо межі практичної придатності локалізації за одним статичним зрізом та впливу на неї кількості одночасно спостережуваних цілей.

Метою роботи є дослідження впливу кількості цілей на роздільну здатність bearing-only локалізації та визначення напрямів підвищення її достовірності.

Основна частина. Розглянуто реальну геометрію мультирадарної системи: один основний радар розташований у центрі зони спостереження, а три додаткові радари рознесені по колу радіусом приблизно 15 км навколо нього; радіус дії кожного радара становить приблизно 30 км. До аналізу включено лише перетини пеленгів «основний × додатковий», тоді як перетини між додатковими радарами не розглядаються. Цілі генеруються випадково рівномірно в зоні покриття основного радара. Кожна ціль породжує пеленги від радарів, що її бачать, а перетини цих пеленгів формують хмару кандидатних точок. Модель реалізовано у вигляді консольного застосунку на платформі .NET; до істинних азимутів додається гаусівський кутовий шум із $\sigma \in \{0{,}5°; 1°\}$.

Кількість цілей варіювалася в діапазоні $N = 1…100$; для кожного значення виконувалося 100 незалежних повторів. Якість відновлення оцінювалася метрикою OSPA (Optimal Sub-Pattern Assignment, порядок $p = 2$, відсікання $c = 3$) [4], яка враховує одночасно похибку координат і похибку кількості виявлених цілей, а також часткою фантомних центрів у результаті локалізації. Для кластеризації застосовувався алгоритм DBSCAN із підбором параметрів ε та MinPts для кожної конфігурації. Узагальнені результати для $\sigma = 1°$ наведено в таблиці 1.

Отримані результати демонструють закономірне зростання кількості фантомних перетинів зі збільшенням кількості цілей. Кількість істинних перетинів зростає приблизно лінійно ($\approx 2 \cdot N$), тоді як розмір множини кандидатних перетинів зростає квадратично ($\approx 0{,}58 \cdot N^2$). Унаслідок цього відношення кількості фантомних перетинів до істинних зростає зі збільшенням N. Зокрема, за $N \approx 5$ кількість фантомних перетинів уже перевищує кількість істинних, а частка фантомних центрів збільшується від 0,12 при $N = 3$ до 0,33 при $N = 5$. За $N \geq 12$ значення OSPA наближається до плато на рівні приблизно 2,4, що свідчить про суттєве погіршення здатності методу забезпечувати достовірне відновлення положень цілей. Для дослідженої конфігурації практична придатність підходу на основі кластеризації перетинів спостерігається переважно за $N \leq 3$.

Таблиця 1 – Деградація якості локалізації зі зростанням кількості цілей

N цілей	Перетинів у хмарі	Фантом/справж.	OSPA	Частка фантомів
1	2	0,00	0,48	0,01
3	10	0,60	1,76	0,12
5	23	1,16	1,95	0,33
8	43	1,71	2,16	0,46
12	99	3,01	2,38	0,65
20	260	5,23	2,42	0,68
50	1471	13,3	2,45	0,76
100	5791	27,0	2,41	0,77

Важливим результатом є те, що збільшення кількості цілей створює не лише додатковий шум, а й принципову неоднозначність статичного геометричного представлення. На статичному зрізі перетин двох пеленгів існує незалежно від того, чи належать вони одній і тій самій цілі. Тому істинні та фантомні перетини можуть формувати просторово близькі скупчення, які не завжди можна надійно розділити лише за координатами. Кластеризація дає змогу зменшувати вплив ізольованого геометричного шуму, однак її можливості обмежені за високої щільності істинних і фантомних перетинів.

Отримані результати свідчать, що подальше підвищення достовірності локалізації потребує врахування специфіки формування похибки. У bearing-only задачі похибка задається в кутовій області, а під час перетворення кутових вимірювань у координати вона набуває асиметричного, витягнутого вздовж променя та потенційно важкохвостого характеру, причому масштаб просторової невизначеності залежить від відстані до цілі. Розгляд усіх перетинів як рівноцінних точок евклідового простору не враховує цієї структури. Тому перспективним є перехід від кластеризації геометричних перетинів до ймовірнісної локалізації, у якій кожен пеленг описується функцією правдоподібності з відповідною моделлю похибки, а положення цілі оцінюється за сукупністю пеленгів. Додаткове використання часової та траєкторної інформації може забезпечити подальше підвищення надійності розрізнення цілей.

Висновки. 1. Експериментально встановлено межу роздільної здатності bearing-only локалізації за перетинами азимутальних пеленгів на статичному зрізі: задача зберігає практичну придатність лише за малої кількості цілей ($N \leq 3$), а за $N \geq 12$ стає нерозв'язною через квадратичне зростання фантомних перетинів. 2. Встановлено, що основним чинником погіршення є геометрична неоднозначність статичного набору пеленгів, яка обмежує можливості щільнісної кластеризації. Отже, просте налаштування параметрів кластеризації не забезпечує усунення фантомних перетинів за значної кількості цілей. 3. Напрямом подальших досліджень є застосування негаусівських ймовірнісних моделей похибки пеленга та ймовірнісної локалізації замість евклідової кластеризації перетинів, а також залучення часової (траєкторної) інформації.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Reed J. D., da Silva C. R. C. M., Buehrer R. M. Multiple-source localization using line-of-bearing measurements: Approaches to the data association problem. Proc. IEEE Military Communications Conf. (MILCOM 2008). San Diego, CA, 2008. – P. 1–7.

[2] Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Proc. 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). Portland, OR: AAAI Press, 1996. – P. 226–231.

[3] Фаріонова Т. А., Клєпцов А. А. Оцінювання алгоритмів кластеризації в умовах шумних азимутальних вимірювань. Збірник наукових праць НУК. – 2026. – № 1. DOI: https://doi.org/10.15589/znp2026.1 (503).2.17

[4] Schuhmacher D., Vo B.-T., Vo B.-N. A consistent metric for performance evaluation of multi-object filters. IEEE Transactions on Signal Processing. – 2008. – Vol. 56, No. 8. – P. 3447–3457.

THE STUDY OF THE EFFECT OF THE NUMBER OF TARGETS ON THE RESOLUTION CAPACITY OF BEARING-ONLY LOCALIZATION

Vorona M. V., Klieptsov A. A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The effect of the number of targets on the quality of bearing-only localization based on azimuth measurements in a multi-radar configuration with one primary and three auxiliary radars was investigated. The change in the quality of coordinate reconstruction based on bearing intersections as the number of targets increases

was experimentally evaluated. It was shown that the number of true intersections increases approximately linearly, while the number of candidate intersections increases quadratically, leading to an increase in the proportion of phantom intersections and a deterioration in localization quality. The practical limits of the approach based on Euclidean clustering of intersections for the studied configuration have been established. Directions for improving localization have been proposed by accounting for the non-Gaussian nature of coordinate errors, transitioning to probabilistic estimation, and utilizing temporal information.

Keywords: bearing-only localization; azimuth measurements; phantom intersections; clustering; DBSCAN; non-Gaussian error models; resolution limit.

УДК 004:67

ТЕХНОЛОГІЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ – КРОК ДО СТВОРЕННЯ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ «РОЗУМНИХ МІСТ»

Гусєва-Божаткіна В.А.,
gusevabozh@meta.ua
Буренко В.О.,
PhD
volodymyr.burenko22@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Цифрові двійники (англ. Digital Twins, DT) – це інноваційна технологія концепції «розумного міста». Розглянуто питання застосування DT при побудуванні архітектури, моделюванні, збору даних, оптимізації та віртуальному тестуванні інфраструктурних про'єктів. Досліджено можливості використання Інтернету речей та хмарних обчислень, перспективи розвитку створення розподілених DT, інтегрованих із системами штучного інтелекту.

Ключові слова: цифровий двійник**;** ІТ-інфраструктура; технічна інфраструктура; інфраструктурний проєкт; штучний інтелект; хмарний сервіс; Інтернет речей; «Розумне місто».

Вступна частина. Сучасні системи моніторингу знищеної та пошкодженої інфраструктури працюють з великими обсягами даних. Аналіз кожного виду інформації вимагає використання спеціалізованих моделей у тому числі і штучного інтелекту (англ. Artificial Intelligence, AI). Впровадження інноваційних цифрових технологій, зокрема цифрових двійників (англ. Digital Twin, DT), забезпечує ефективне та динамічне реагування при вирішенні задач управління інфраструктурними проєктами.

Метою роботи є прогнозування розвитку пошкоджень та прийняття управлінських рішень щодо відновлення пошкодженої інфраструктури міст України на основі мультимодального аналізу даних з використанням DT.

Основна частина. Застосування DT у післявоєнний період потребує належного нормативного регулювання та розбудови технічної інфраструктури. Водночас стратегічним є забезпечення інтеграції даних з джерел, що дозволить забезпечити цілісність моделей і оперативність реагування [1].

DT-кроки ґрунтуються на даних результатів роботи спеціалізованих AI-агентів для підвищення достовірності визначення технічного стану інфраструктурних об'єктів. Використання аналітики під час застосування AI є частиною DT, що покращує управління інфраструктурними проєктами. DT-кроки роблять процес випробувань та оцінки технічного стану автоматизованим, даноорієнтованим і прогностичним. Це не просто ІТ-інновація – фундаментальні DT-кроки ведуть до створення безпечних та ефективних «Розумних міст» майбутнього [2].

DT в ІТ-сфері може охоплювати повний проєкт: від фізичних серверів до віртуалізованих хмарних ресурсів, від користувацьких дій до мережевого трафіку. Такий підхід забезпечує цілісне розуміння процесів, що відбуваються в системі, та створює основу для моделювання потенційних сценаріїв її поведінки [7]. Використання системних та процесних DT за допомогою мінімальної кількісті датчиків надає швидкий ефект без перебудови ІТ-інфраструктури. Застосування хмарних сервісів на кшталт DTaaS (Digital Twin as a Service) дозволяє не будувати власну серверну інфраструктуру.

Формально цифровий двійник можна представити як множину:

$$DT = \{Mp, Md, D, C\}, \quad (1)$$

де *Mp* – фізична модель системи; *Md* – цифрова модель; *D* – потоки даних з сенсорів; *C* – комунікаційний канал, який забезпечує двосторонню синхронізацію між фізичним та цифровим рівнями.

DT функціонує як адаптивна система з замкненим контуром управління, що поєднує фізичні процеси, цифрове моделювання, аналітику даних та системи прийняття рішень. У найзагальнішому вигляді DT можна розглядати як динамічну систему, де цифрова модель постійно оновлюється на основі реальних даних і здатна не лише імітувати поведінку фізичного прототипу, але й прогнозувати її майбутній стан. Отже, DT в IT-проєкті виступає центральною ланкою між фізичною інфраструктурою, аналітикою даних та системами керування, інтегруючи елементи моделювання, прогнозування, оптимізації та прийняття рішень у єдину взаємодіючу архітектуру [4]. Сучасні поняття DT-технології наведено в табл. 1.

Своєчасне надходження інформації дозволяє цифровому двійнику здійснювати оперативний моніторинг технічного стану досліджуваного інфраструктурного об'єкту з метою прогнозування розвитку пошкоджень та прийняття управлінських рішень. Архітектура моделі цифрового двійника наведена на рис. 1.

Таблиця 1 – Термінологічний апарат DT-кроків

Джерело	Сучасне поняття
[1]	Динамічна цифрова модель фізичних об'єктів і процесів, що синхронізуються з даними в режимі реального часу
[2]	Це не просто 3D-модель або креслення. Це динамічна, віртуальна копія фізичного об'єкта або системи, яка обмінюється з ним даними в реальному часі за допомогою датчиків Інтернету речей (англ. Internet of Things, IoT), телеметрії та ін.
[3]	Віртуальні моделі об'єктів або процесів, які дозволяють у режимі реального часу моделювати, прогнозувати та оптимізувати діяльність підприємства
[5]	Це віртуальна копія об'єкта, процесу чи системи, яка існує лише у цифровому світі
[6]	Це віртуальна репліка фізичного об'єкта чи системи, що охоплює його життєвий цикл

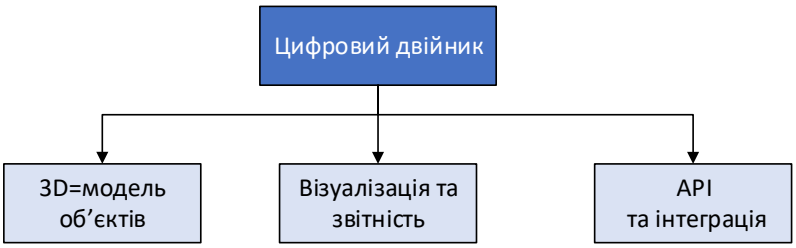


Рисунок 1 – Модель цифрового двійника інфраструктурного проєкта

DT інфраструктурного об'єкта містить тривимірну модель, засоби візуалізації отриманих результатів та механізми інтеграції інфраструктурного проєкта в систему «Розумного міста». Динамічне оновлення DT забезпечує підтримку актуального стану моделі та створює інформаційну основу для прийняття рішень щодо подальшої експлуатації та відновлення пошкоджених інфраструктурних об'єктів. Запропонована архітектура характеризується модульністю, масштабованістю та можливістю розширення шляхом інтеграції нових AI-агентів без необхідності модифікації існуючих компонентів системи. Використання паралельної роботи AI-агентів дозволяє скоротити час обробки великих обсягів мультимодальних даних та підвищити достовірність верифікації цифрових двійників пошкоджених інфраструктурних об'єктів, для чого було виконано аналіз ключових функціональних особливостей та можливостей застосування з метою виконання задач динамічної верифікації DT пошкоджених інфраструктурних об'єктів. Вибір конкретного підходу залежить від масштабів інфраструктурного проєкту.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує, що цифрові двійники інфраструктурних проєктів сприяють підвищенню ефективності, надійності, безпеки та гнучкості роботи проєктних команд у процесі прийняття управлінських рішень щодо відновлення пошкодженої інфраструктури міст України. DT є фундаментальним елементом майбутніх проєктних систем «Розумного міста», що поєднують моделювання, прогнозування та управління у єдиній моделі. Використання цифрових двійників інфраструктурних проєктів надає переваги підвищення безпеки, зниження витрат, проактивне обслуговування, прискорення випробувань.

Література

1. Савчин В. Цифрові двійники як управлінська технологія у збереженні довкілля. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти.* 2025. № 2 (8). С. 110–117. DOI: 10.32782/2786-5681-2025-2.13.

2. Фомін О. В., Хара М. В., Маслак Г. В., Сущенко Р. В., Каплуновська А. М. Цифрові двійники у автоматизації випробувань для оцінки технічного стану об'єктів залізничної інфраструктури *Вчені записки*

ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2026. Т. 37 (76). № 1. С. 396–401. DOI: 10.32782/2663-5941/2026.1.1/49

3. Шевченко В., Замлинська О. Цифрові двійники як інноваційний інструмент сталого розвитку агропромислових підприємств. *Актуальні питання економічних наук.* 2025. № 13. DOI: 10.5281/ zenodo.16810175.

4. Шиманюк П. В., Сичова В. В., Блінов І. В. Цифрові двійники мікромереж: концепції, архітектури та виклики. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України.* 2025. Вип. 72. С. 5–14. DOI: 10.15407/publishing2025.72.005.

5. Як цифрові двійники змінюють систему охорони здоров'я / С. Чапліч. Опубл. 11.11.2025. URL: https://proit.ua/iak-tsifrovi-dviiniki-zminiuiut-sistiemu-okhoroni-zdorovia/ (дата звернення: 25.08.2026).

6. Цифрові двійники: повний огляд технології 2026 / М. Цвід. Опубл. 12.12.2025. URL: https://blog.colobridge.net/uk/2025/12/digital-twin-technology-ua/ (дата звернення: 25.08.2026).

7. Vidwans A. Digital Twin for IT infrastructure: What it is and why it matters. *LinkedIn.* Publ. Apr. 29, 2025. URL: https://www.linkedin.com/pulse/digital-twin-infrastructure-what-why-matters-amol-vidwans-wz0vf (Last accessed: 24.08.2026).

DIGITAL TWIN TECHNOLOGY – A STEP TOWARDS CREATING THE IT INFRASTRUCTURE OF "SMART CITIES"

Guseva-Bozhatkina V.A., Burenko V.O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Digital twins are an innovative "Smart City" technology. A review of current models for developing digital twins of infrastructure facilities has been carried out. Issues relating to the architecture, modelling, data collection, optimisation and virtual testing of digital twins have been examined. The potential for utilising the Internet of Things and cloud computing has been investigated. The prospects for the development of distributed digital twins integrated with artificial intelligence systems are outlined.

Keywords: digital twin; IT infrastructure; technical infrastructure; infrastructure project; artificial intelligence; cloud service; Internet of Things; "Smart City".

УДК 004.413

ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ПРОЄКТІВ РОЗРОБКИ БАНКІВСЬКОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Латанська Л.О.,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
liudmyla.latanska@nuos.edu.ua
Половинка А.В.,
аспірант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
anton.polovynka@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна,

Анотація. Розглянуто шляхи удосконалення раніше побудованої однофакторної нелінійної регресійної моделі оцінювання тривалості проєктів розробки банківського програмного забезпечення. Виконано аналіз обмежень моделі. Обґрунтовано доцільність введення додаткового фактора – кількості розробників, що характеризує ресурсне забезпечення проєкту. Показано, що чисельність команди є статистично значущим чинником тривалості програмних проєктів, а її вплив має нелінійний характер. Запропоновано напрям подальшого розвитку моделі шляхом побудови багатофакторної нелінійної регресії, яка одночасно враховує трудомісткість проєкту та кількість розробників.

Ключові слова: банківське програмне забезпечення, тривалість проєкту, нелінійна регресійна модель, трудомісткість, кількість розробників.

Вступна частина. Достовірне оцінювання тривалості розробки програмного забезпечення (ПЗ) є одним із ключових завдань управління ІТ-проєктами, оскільки визначає якість планування ресурсів, формування бюджету та терміни реалізації програмних продуктів. Сучасні дослідження показують, що помилки в оцінюванні залишаються однією з головних причин перевищення термінів виконання

програмних проєктів, а використання параметричних моделей, побудованих на основі історичних даних, підвищує обґрунтованість і відтворюваність прогнозування [1, 2].

Для банківського ПЗ ця задача є особливо актуальною через високу архітектурну складність, значну кількість міжсистемних інтеграцій, суворі регуляторні вимоги та підвищені вимоги до інформаційної безпеки. За таких умов при оцінюванні термінів розробки проєктів повинні враховуватись не лише технічні характеристики проєкту, а й організаційні фактори, що впливають на швидкість виконання робіт [2].

У попередньому дослідженні було побудовано нелінійні регресійні моделі для оцінювання тривалості розробки банківського ПЗ на основі показника трудомісткості проєкту. Найкращі результати були отримані із застосуванням двовимірного нормалізуючого перетворення Бокса–Кокса, однак значна кількість викидів засвідчила необхідність подальшого удосконалення моделей [3].

Метою роботи є визначення та обґрунтування шляхів удосконалення нелінійної регресійної моделі для оцінювання тривалості проєктів розробки банківського програмного забезпечення на основі аналізу її обмежень.

Основна частина. У попередній роботі було розроблено два набори однофакторних нелінійних регресійних моделей для оцінювання тривалості розробки банківського ПЗ окремо для однокомандних і багатокомандних проєктів. Моделі будувалися за показником трудомісткості на основі 482 завершених проєктів із використанням нормалізуючих перетворень Бокса-Кокса та Джонсона. Найкращі результати були отримані для моделей на основі двовимірного перетворення Бокса-Кокса: значення R^2 перевищували 0,87 для однокомандних та 0,90 для багатокомандних проєктів на тестових вибірках, а показник *MMRE* не перевищував 0,18 [3].

Проте отримані моделі також мають певні обмеження. Кількість викидів при їх побудові виявилася суттєвою: для однокомандних проєктів вона склала 20,9 % даних, а для багатокомандних – 18,8 %. Це призвело до зниження показників *PRED*(0,25) при аналізі якості тестових вибірок до 74-76 % у порівнянні з 91-96 % для відповідних навчальних вибірок [3].

Аналіз розподілу викидів показав, що основна їх частина припадає на проєкти з крайніми значеннями трудомісткості – як найменшими, так і найбільшими. При цьому саме ці проєкти істотно відрізнялися за фактичною чисельністю розробників, залучених до виконання робіт. Це дозволяє висунути гіпотезу, що використання лише одного фактору трудомісткості є недостатнім для адекватного опису всього діапазону емпіричних даних, а підвищення достовірності моделі потребує врахування ресурсних характеристик проєкту, зокрема кількості розробників.

Таке припущення узгоджується з результатами сучасних досліджень у галузі оцінювання програмних проєктів. Аналіз публікацій, зроблених на основі даних міжнародної бази ISBSG, показує, що розмір команди є статистично значущим фактором, який впливає на продуктивність, трудомісткість та календарну тривалість розробки, і розглядається як один із важливих організаційних предикторів моделей оцінювання строків виконання програмних проєктів [2, 4].

Водночас, залежність між чисельністю команди та тривалістю розробки не є лінійною. На відміну від спрощеного припущення, за якого кожен додатковий розробник однаково скорочує тривалість виконання робіт, збільшення кількості учасників супроводжується зростанням витрат на комунікацію, координацію, синхронізацію змін та інтеграцію результатів розробки. Унаслідок цього збільшення чисельності команди не забезпечує пропорційного скорочення тривалості проєкту. Емпіричні дослідження на основі репозиторію ISBSG підтверджують доцільність визначення оптимального розміру команди залежно від характеристик проєкту [4].

Подібний підхід простежується і в моделі COCOMO II, де тривалість проєкту визначається нелінійною функцією від трудомісткості, а параметри моделі отримуються шляхом калібрування на історичній вибірці програмних проєктів. Водночас COCOMO II не використовує фактичну кількість розробників як незалежну змінну: середня чисельність команди обчислюється як відношення трудомісткості до календарної тривалості проєкту [5].

На відміну від COCOMO II, у даному дослідженні доступні фактичні дані щодо кількості розробників для кожного завершеного проєкту. Тому чисельність команди доцільно включити до множини незалежних змінних регресійної моделі як окремий фактор, що характеризує ресурсне забезпечення проєкту. При цьому нелінійний характер взаємозв’язку між трудомісткістю, кількістю розробників та тривалістю виконання робіт враховується засобами самої багатофакторної нелінійної регресійної моделі.

Висновки. Значна кількість викидів та помітне погіршення якості прогнозування на тестових вибірках побудованих однофакторних моделей свідчать про те, що використання лише показника трудомісткості не дозволяє повністю описати різноманітність реальних банківських проєктів. Проведений аналіз та сучасні емпіричні дослідження дозволяють зробити висновок про доцільність введення додаткового фактору – кількості розробників, який характеризує організаційні ресурси проєкту та впливає на його календарну тривалість. Подальшим напрямом дослідження є побудова багатофакторної нелінійної регресійної моделі, що враховує одночасний вплив трудомісткості та чисельності команди на тривалість розробки банківського ПЗ.

Література

[1]. Pasuksmit J., Thongtanunam P., Karunasekera S. A systematic literature review on reasons and approaches for accurate effort estimations in Agile. ACM Computing Surveys. 2024. Vol. 56, № 11. P. 1–37. DOI: 10.1145/3663365.

[2]. ISBSG. Analysis of practical software project estimation. International Software Benchmarking Standards Group. 2024. URL: https://www.isbsg.org/2023/09/16/analysis-of-practical-software-project-estimation/ (дата звернення: 26.09.2026).

[3]. Латанська Л.О., Половинка А.В. Регресійні моделі для оцінювання тривалості розробки банківського програмного забезпечення. Херсонський національний технічний університет. Прикладні питання математичного моделювання. 2026. Т. 9, № 1. С. 216-226. https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2026-9-1-19.

[4]. Rodríguez D., Sicilia M.A., García E., Harrison R. Empirical findings on team size and productivity in software development. Journal of Systems and Software. 2012. Vol. 85, № 3. P. 562–570. DOI: 10.1016/j.jss.2011.09.009.

[5]. Santos L.P., Ferreira M. Applying COCOMO II for a DO-178C safety-critical software effort estimation. Journal of Aerospace Technology and Management. 2019. Vol. 11. Art. e1819. DOI: 10.5028/jatm.v11.1031.

IDENTIFYING WAYS TO IMPROVE A MODEL FOR ESTIMATING THE DURATION OF BANKING SOFTWARE DEVELOPMENT PROJECTS

Latanska L.O., Polovynka A.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper considers approaches to improving a previously developed univariate nonlinear regression model for estimating the duration of banking software development projects. The limitations of the existing model are analyzed. The introduction of an additional factor – the number of developers, which characterizes the project's resource capacity – is substantiated. It is shown that team size is a statistically significant factor affecting software project duration and that its influence is inherently nonlinear. A direction for further model development is proposed through the construction of a multivariate nonlinear regression model that simultaneously accounts for project effort and the number of developers.

Keywords: banking software, project duration, nonlinear regression model, project effort, number of developers.

УДК 004.412:519.237

ПЕРЕДОБРОБКА ДАНИХ З МЕТРИК RFC, CBO ТА WMC ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ НАТИВНИХ ANDROID ЗАСТОСУНКІВ

Макарова Л.М.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
lidiia.makarova@nuos.edu.ua
Татаренко М.А.,
аспірант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
maksym.tatarenko@nuos.edu.ua
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна,

Анотація. В роботі на прикладі набору даних файлових менеджерів для Android виконано передобробку даних. Даний процес використовується при побудові нелінійних регресійних моделей для оцінювання якості проєктування відповідних програмних застосунків за метриками RFC, CBO та WMC, в тому числі і для оцінювання якості проєктування нативних Android застосунків, реалізованих мовою Java.

Ключові слова: метрики програмного забезпечення, передобробка даних, нелінійна регресійна модель, якість проєктування, нативні Android застосунки, Java.

Вступна частина. Для побудови регресійних моделей, які дозволять робити якісне прогнозування, необхідний етап передобробки вхідних даних. Головна мета цього етапу – відкинути аномальні значення (викиди) та привести вхідні дані до прийнятного вигляду, що дозволить знайти дійсні закономірності при побудові моделі.

Передобробка даних важлива в тому числі і при побудові нелінійних регресійних моделей для оцінювання якості проєктування за метриками RFC, CBO та WMC. Зазначені метрики є підмножиною метрик з набору Чидамбера та Кемерера [1]. Зазвичай числові значення даних метрик аналізуються окремо, однак між ними існує кореляція, тому доцільно аналізувати їх комплексно.

Побудова нелінійних регресійних моделей на основі цих метрик дозволить на етапах реалізації і тестування (за Граді Бучем) виконувати оцінювання якості проєктування відповідних програмних застосунків.

У роботі [2] наведена методика, в якій пропонується побудова трьох нелінійних регресійних моделей для метрик RFC, CBO та WMC на рівні застосунків. У наведеній методиці кожна з цих трьох метрик розглядається як окрема незалежна змінна у відповідних регресійних моделях: RFC=*f*(CBO, WMC), CBO=*f*(WMC, RFC) та WMC=*f*(RFC, CBO). Тобто, будується три моделі, в кожній з яких в якості залежної змінної *Y* почергово виступає кожна з трьох метрик. Якість проєктування застосунку визначається за допомогою довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування за всіма трьома моделями.

Метою роботи є передобробка набору даних з метрик RFC, CBO та WMC для побудови нелінійних регресійних моделей для оцінювання якості проєктування нативних Android-застосунків типу файлові менеджери, реалізованих мовою Java.

Основна частина. Процес попередньої обробки вхідних даних включає наступні кроки: перевірка на мультиколінеарність, перевірка на багатовимірну нормальність, перевірка на викиди.

На прикладі набору даних зі 12 мобільних Android застосунків типу файл-менеджери, показаний покроковий процес їх передобробки. Для кожного застосунку за допомогою програмного інструменту CK [3] були отримані числові значення таких метрик: RFC, CBO, WMC, а також NC – кількості класів. В таблиці 1 представлено описову статистику вхідного набору даних.

Таблиця 1 – Описова статистика вхідного набору даних

Метрика	Мінімум	Максимум	Середнє	СКВ	Асиметрія	Ексцес
RFC	30	11821	928,15	1752,79	3,76	15,82
CBO	15	4891	446,86	843,81	3,48	12,50
WMC	22	14457	908	1963,97	4,45	22,90
NC	3	1109	90,66	164,06	3,97	18,16

Згідно першого кроку, була виконана перевірка числових значень метрик на мультиколінеарність, яку визначають за коефіцієнтами VIFs. Вони представлені діагональними елементами оберненої коваріаційної матриці $\boldsymbol{S}_N^{-1}$. Для вхідних даних всіх трьох моделей RFC, CBO, WMC матриці $\boldsymbol{S}_N^{-1}$ мають вигляд:

$$S_N^{-1}=\begin{pmatrix}17{,}52 & -17{,}02\\ -17{,}02 & 17{,}52\end{pmatrix}\ S_N^{-1}=\begin{pmatrix}30{,}92 & -30{,}42\\ -30{,}42 & 30{,}92\end{pmatrix}\ S_N^{-1}=\begin{pmatrix}46{,}00 & -45{,}50\\ -45{,}50 & 46{,}00\end{pmatrix}.$$

Значення VIFs на головній діагоналі більше за 10. Це означає, що мультиколінеарність присутня.

Було виконано нормування даних, тобто значення вхідних змінних перетворено на середні значення на клас, для чого була використана метрика NC. Після цього відкорегований набір даних знову був первірений на наявність мультиколінеарності. Матриці $\boldsymbol{S}_N^{-1}$ мають вигляд:

$$S_N^{-1}=\begin{pmatrix}1{,}65 & -1{,}04\\ -1{,}04 & 1{,}65\end{pmatrix}\ S_N^{-1}=\begin{pmatrix}5{,}74 & -5{,}21\\ -5{,}21 & 5{,}74\end{pmatrix}\ S_N^{-1}=\begin{pmatrix}2{,}11 & -1{,}53\\ -1{,}53 & 2{,}11\end{pmatrix}.$$

Значення VIFs менше за 10, що вказує на відсутність мультиколінеарності. В таблиці 2 представлено описову статистику набору даних після усунення мультиколінеарності.

Таблиця 2 – Описова статистика набору даних після усунення мультиколінеарності.

Метрика	Мінімум	Максимум	Середнє	СКВ	Асиметрія	Ексцес
RFC	2,14	36,11	9,86	4,41	2,41	10,74
CBO	1,07	9,61	4,51	1,43	0,10	0,96
WMC	1,57	44,78	8,83	5,45	2,81	14,27

На другому кроці було виконано перевірку на багатовимірну нормальність набору даних згідно тесту Мардіа – багатовимірної асиметрії β_1 та ексцесу β_2. Вони розраховуються за формулами, наведеними у [4]. Перевірка вхідного набору даних показала його відхилення від нормального розподілу. Значення тестової

статистики $(N/6)\cdot\beta_1$ дорівнює 235,55, що перевищує значення квантилю розподілу χ^2 для 10 ступенів вільності, який дорівнює 25,18. Також значення β_2 дорівнює 35,30, що перевищує значення квантилю нормального розподілу Гауса, який дорівнює 17,47 для $m = 15$ та $\sigma = 0{,}96$.

Згідно третього кроку в ітеративному режимі виконувалась нормалізація набору даних з пошуком та вилученням викидів.

В якості нормалізуючого перетворення було обрано тривимірне перетворення Бокса-Кокса, що дозволяє врахувати кореляцію між залежною та незалежними змінними. Для оцінювання параметрів нормалізуючого перетворення був застосований метод максимальної правдоподібності.

Наявність викидів визначалась за допомогою тесту на основі квадрату відстані Махаланобіса (Squared Mahalanobis Distance, SMD) для нормалізованих даних на кожній ітерації. Отримані значення SMD порівнювалися з критичним значенням $\chi^2_{кр}$, яке для трьох ступенів вільності і рівня значимості 0,005 дорівнює 12,84.

Вилучення викидів було виконано ітеративно. На кожній ітерації був вилучений програмний проєкт з максимальним значенням SMD, якщо останній перевищував критичне значення $\chi^2_{кр}$. Після цього знову була виконана нормалізація для відкоригованого набору даних. Всього було знайдено і вилучено чотири програмних проєкти з номерами 121, 27, 93, 83, для яких значення SMD дорівнювали 15,6180, 16,5487, 15,0593, 14,6826 відповідно. Таким чином, після вилучення викидів у наборі даних залишився 121 проєкт.

Висновки. В роботі виконано передобробку багатовимірного набору даних з метрик RFC, CBO та WMC для побудови нелінійних регресійних моделей для оцінювання якості проєктування нативних Android-застосунків типу файлові менеджери, реалізованих мовою Java. Представлений покроковий процес передобробки даних. Після виконання передобробки даних можна приступати до подальших етапів з побудови нелінійних регресійних моделей для оцінювання якості проєктування відповідних застосунків.

Література

[1] Chidamber S.R. & Kemerer C.F. (1991). Towards a metrics suite for object oriented design. *Conference Proceedings on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications*, PP. 197–211. https://doi.org/10.1145/117954.117970

[2] Prykhodko S.B. (2024). Evaluating Quality of Software Systems by the Confidence and Prediction Intervals of Regressions for RFC, CBO and WMC Metrics. *WSEAS TRANSACTIONS ON SYSTEMS, 23,* 322–330. https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.36

[3] Maurício Aniche. CK – Code metrics for Java code by means of static analysis. 2024. URL: https://github.com/mauricioaniche/ck

[4] Mardia, K. V. (1970). Measures of Multivariate Skewness and Kurtosis with Applications. *Biometrika, 57* (3), 519–530. https://doi.org/10.2307/2334770

DATA PRE-PROCESSING FROM RFC, CBO, AND WMC METRICS FOR ASSESSING THE DESIGN QUALITY OF NATIVE ANDROID APPLICATIONS

Makarova L.M., Tatarenko M.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. The work performs data preprocessing using a dataset of Android file managers as an example. This process is employed in constructing non-linear regression models to assessing the design quality of the respective software applications based on RFC, CBO, and WMC metrics, including the assessing of the design quality of native Android applications implemented in Java.

Keywords: software metrics, data preprocessing, nonlinear regression model, design quality, native Android applications, Java.

УДК 004.89:377

АРХІТЕКТУРА AI-ПОМІЧНИКА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІНСЬКИХ ПРОЦЕСІВ ЗАКЛАДУ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ

Маршак О.І.,[1]
старший викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
olena.marshak@nuos.edu.ua
Смикодуб Т.Г.,[2]
викладач відділення інформаційних технологій
tetiana.smykodub@nuos.edu.ua
Ратушняк І.О.,[3]
кандидат технічних наук, в.о. директора
igor.ratushnyak@nuos.edu.ua
Дончик Т.О.,[4]
провідний фахівець Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та управління проєктами
tetyana.donchyk@nuos.edu.ua
Бобровський О.С.[5]
викладач відділення інформаційних технологій
oleksii.bobrovskyi@nuos.edu.ua
[1, 4] *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*
[2, 3, 5] *Відокремлений структурний підрозділ*
«Фаховий коледж корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова», м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі досліджено концептуальні та практичні аспекти побудови AI-помічника для Відокремленого структурного підрозділу «Фаховий коледж корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова» на основі архітектури Retrieval-Augmented Generation (RAG). Обґрунтовано доцільність фазованого впровадження системи з першочерговою орієнтацією на адміністративно-управлінський апарат.

Ключові слова: штучний інтелект, AI-помічник, Retrieval-Augmented Generation, RAG, автоматизація освітнього менеджменту, нормативні колізії, фахова передвища освіта.

Вступна частина. Сучасна трансформація системи фахової передвищої освіти в Україні супроводжується значним зростанням диференціації та обсягів нормативно-правової документації. Оперативне управління закладом освіти вимагає постійного опрацювання державних стандартів, наказів Міністерства освіти і науки України, а також внутрішніх положень Відокремленого структурного підрозділу «Фаховий коледж корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова» (ФКК НУК ім. адм. Макарова) та базового Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК ім. адм. Макарова).

Основною суперечністю поточного стану освітнього менеджменту є дисонанс між необхідністю швидкого прийняття обґрунтованих управлінських рішень і високою часомісткістю ручного аналізу багаторівневої нормативної бази. Додатковим чинником є людський фактор, що зумовлює ризик неповного врахування нормативних вимог, помилок під час опрацювання нормативних документів та виникнення внутрішніх колізій у разі оновлення локальних положень.

Застосування традиційних пошукових систем або реляційних баз даних не вирішує цього завдання, оскільки вони функціонують на засадах лексичного (синтаксичного) зіставлення символів, тоді як юридична та адміністративна документація потребує інтерпретації семантичного контексту. У цьому контексті перспективним напрямом є адаптація мультиагентних систем на основі генеративно-пошукових архітектур (Retrieval-Augmented Generation, RAG).

Метою роботи є обґрунтування концептуальних і практичних аспектів, розробка архітектури AI-помічника на основі RAG-технології для автоматизації управління, семантичного аналізу нормативної бази та виявлення правових колізій у ФКК НУК ім. адм. Макарова.

Основна частина. З метою мінімізації ризиків та забезпечення адаптивності системи запропоновано двофазну концепцію розгортання AI-помічника (рис. 1).

Перша фаза (MVP – поточний етап) розгортання системи орієнтована виключно на адміністративно-управлінський персонал закладу. Функціональний базис цього етапу охоплює інтелектуальний семантичний аналіз нормативно-правової бази [1, ст. 22], автоматизоване формування проєктів розпорядчих документів, а також проведення первинного аудиту вхідної звітності та оперативне виявлення нормативних колізій.



Рисунок 1 – Двофазна концепція розгортання AI-помічника

Друга фаза (Перспективне розширення) передбачає масштабне залучення педагогічного складу та здобувачів освіти. Основна увага зосереджується на інтелектуальному супроводі освітнього процесу, наданні персоналізованих довідок щодо освітньо-професійних програм і навчальних планів [1, ст. 25], інтеграції з LMS-системами, а також реалізації диференційованого розмежування прав доступу на основі ролей (RBAC).

Запропонована система є сервіс-орієнтованою архітектурою (рис. 2) з чітким розподілом функціональних шарів: інтерфейсного, аналітичного та векторно-контекстного [2, с. 3-4; 3, с. 4–5]. Як інтерфейсний шар застосовується Telegram-бот, який виступає уніфікованим тонким клієнтом. Це рішення гарантує кросплатформенність, надійний захист призначених для користувача сесій та мінімальне навантаження на апаратні ресурси пристроїв кінцевого користувача. Центральним елементом аналітики є аналітичне ядро (AI Agent Core Engine). Воно функціонує як оркестратор запитів, відповідальний за первинну обробку природно-мовних інтентів (Intent Recognition), формування контексту промптів та забезпечення взаємодії з великими мовними моделями (LLM) через ізольований API-інтерфейс [2, с. 9–10].

Збереження та оперативна обробка текстових даних реалізуються через модуль векторного пошуку (RAG Module), який відповідає за векторизацію (embedding) корпоративних документів коледжу та їх ефективне індексування у векторній базі даних [3, с. 4].

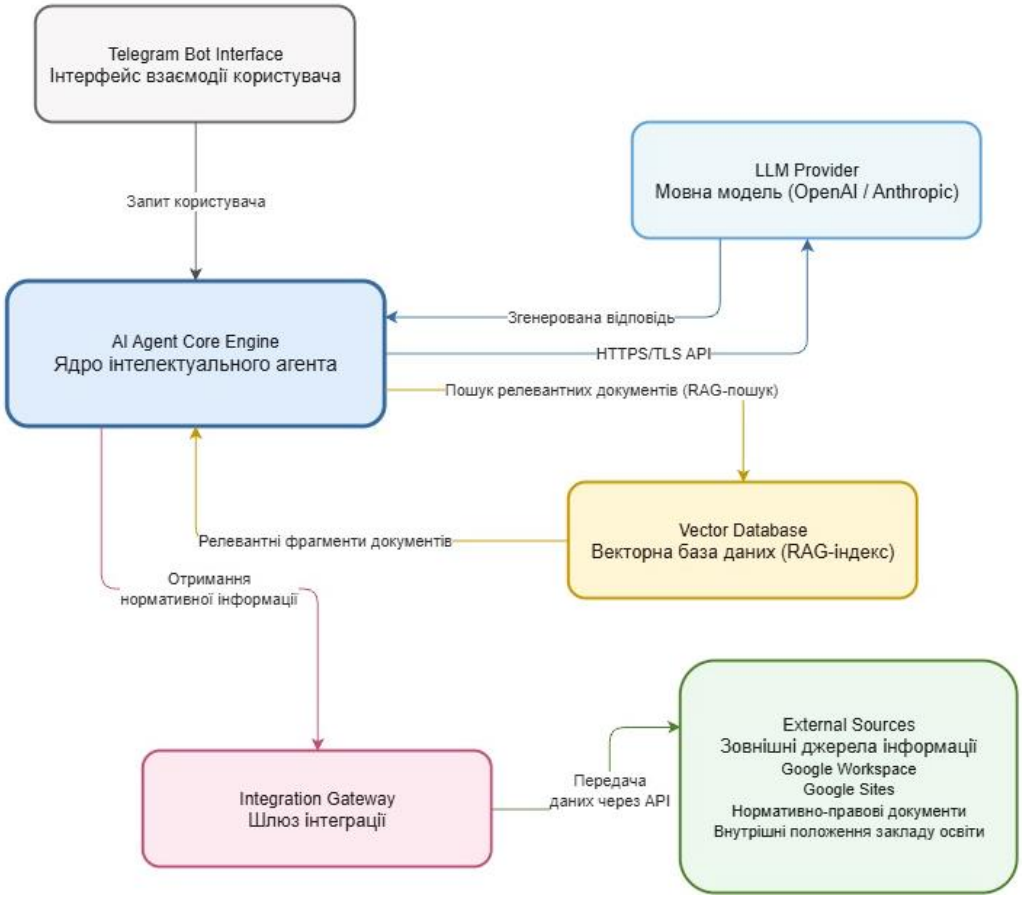


Рисунок 2 – Сервіс-орієнтована архітектура

Нарешті, інтеграційний шлюз виступає програмним містком, призначеним для перспективного поєднання системи з екосистемами Google Workspace, Google Classroom, а також офіційними вебресурсами коледжу та університету.

Висновки. Розробка та впровадження AI-помічника на основі RAG-архітектури у ФКК НУК ім. адм. Макарова дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління закладом освіти. Застосування алгоритмів семантичного аналізу дає змогу скоротити витрати часу на пошук нормативної інформації до 70 %, забезпечує високий рівень юридичної чистоти внутрішніх положень шляхом автоматизованого виявлення колізій і зменшує навантаження на адміністративний апарат під час перевірки звітності.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні предметної області AI-агента шляхом додавання інтеграційних шлюзів до LMS Moodle та сервісів Google Workspace.

Література

[1] Закон України «Про фахову передвищу освіту» від 06.06.2019 № 2745-VIII (зі змінами). – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2745-19

[2] Huang, Y. A Survey on Retrieval-Augmented Text Generation for Large Language Models / Y. Huang, J. Huang // ACM Computing SurveysVolume 58, Issue 12, Sep 2026. – URL: https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3805774

[3] Retrieval-Augmented Generation for AI-Generated Content: A Survey / P. Zhao, H. Zhang, Q. Yu [et al.] // Springer. – 2026. – Vol. 11. – P. 1–29. – URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s41019-025-00335-5

ARCHITECTURE OF AN AI ASSISTANT FOR AUTOMATING ADMINISTRATIVE PROCESSES IN AN INSTITUTION OF PROFESSIONAL HIGHER EDUCATION

Marshak Olena[1]; Smykodub Tetiana[2], Ratushniak Ihor[3], Donchyk Tetiana[4], Bobrovskyi Oleksii[5]

[1, 4] Admiral Makarov National University of Shipbuilding

[2, 3, 5] Separate Structural Unit “Shipbuilders Professional College of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding”

Abstract. The paper investigates the conceptual and practical aspects of building an AI assistant for the Separate Structural Unit “Shipbuilders Professional College of Admiral Makarov National University of Shipbuilding” based on the Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture. The feasibility of a phased implementation of the system, with a primary focus on administrative and management personnel, is substantiated.

Keywords: artificial intelligence, AI assistant, Retrieval-Augmented Generation, RAG, educational management automation, regulatory collisions, professional higher education.

УДК 004:658.5

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Морозова Г.С.,
старший викладач кафедри Інформаційних управляючих систем та технологій
amorozova711004@gmail.com
Вичалковський Д.А.,
студент,
vjipol123@gmail.com
Пушкар Д.Р.,
Студентка, pushkardarina0@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто роль інформаційних систем у підтримці управління виробничими процесами в умовах воєнного стану. Запропоновано підхід до автоматизації планування, обліку виробництва, контролю ресурсів, браку та виробничих результатів. Практичну реалізацію підходу розглянуто на прикладі виробництва тракторної електропроводки.

Ключові слова: інформаційна система, виробничі процеси, управління виробництвом, автоматизація, база даних, Microsoft Access.

В умовах воєнного стану виробничі підприємства працюють у середовищі підвищеної невизначеності. Зміни виробничих планів, обмеженість ресурсів, необхідність оперативного контролю виконання робіт та швидкого реагування на відхилення підвищують вимоги до інформаційного забезпечення управління.

Інформаційна система виробничого підприємства повинна забезпечувати збір, зберігання та оброблення даних про виробничі операції, працівників, ресурси й результати роботи. При цьому її завданням є не лише автоматизація обліку, а й формування інформації, необхідної для оперативного управління. Дослідження впровадження інформаційних систем на виробничих підприємствах показує, що автоматизація виробництва є складним багатоетапним процесом, який потребує охоплення окремих функціональних напрямів єдиною інформаційною системою [1, с. 142–144].

Для виробничих підприємств важливим є поєднання інформації про виробничі операції, матеріальні ресурси та результати виконання робіт. У практичному прикладі, наведеному у [1], інформаційні потоки підприємства поділяються на взаємопов'язані функціональні модулі, а система використовується для відображення виробничого процесу та оперативного контролю його окремих етапів [1, с. 145–146].

Сучасні інформаційні системи також орієнтовані на підтримку оперативних управлінських рішень. Систематичний аналіз сучасних досліджень у сфері виробництва виокремлює такі напрями, як підтримка виробничого планування, календарного планування, розподілу потужностей та контролю виробництва [2, с. 453–454]. Окреме значення має інтеграція технологічної інформації з інформацією, яка використовується для прийняття оперативних рішень [2, с. 453–455].

Для виробничого підприємства доцільно виділити такі основні функції інформаційної системи:

- планування та формування виробничих завдань;
- облік працівників і робочого часу;
- контроль наявності виробничих ресурсів;
- облік виготовлення заготовок і готової продукції;
- реєстрація браку;
- контроль складських залишків;
- формування звітної та аналітичної інформації.

Поєднання цих функцій дозволяє створити єдиний інформаційний простір, у якому дані про виробничі операції можуть використовуватися не тільки для обліку, а й для контролю та управління. Такий підхід відповідає концепції систем підтримки прийняття рішень, що передбачає поєднання виробничої інформації, баз даних, окремих функціональних модулів та засобів формування рекомендацій для управлінських рішень [3, с. 49–52].

Практичним прикладом реалізації такого підходу є інформаційна система підтримки виробничих процесів підприємства, що спеціалізується на виготовленні тракторної електропроводки. Предметна область охоплює планування виробництва, роботу працівників, виготовлення заготовок, складання готових виробів, реєстрацію браку та управління складськими залишками.

Інформаційна система містить взаємопов'язані дані про працівників, номенклатуру заготовок, виготовлені заготовки, готові вироби, відвідування, дефекти та структуру готової продукції. Така організація дозволяє пов'язати виробниче завдання з його виконавцем, використаними ресурсами та результатом виконання.

Для опису функціонування системи використано моделювання потоків даних. На загальному рівні визначено взаємодію інформаційної системи з адміністрацією та працівниками виробництва. Адміністрація формує виробничі плани й отримує узагальнені результати, а працівники отримують завдання та передають інформацію про виконані операції й виявлені дефекти.

Функціонально систему можна поділити на декілька взаємопов'язаних напрямів: планування виробництва, управління діями працівників, виконання виробничих операцій, облік робочого часу, складський облік та аналітичний контроль. Такий поділ забезпечує структуроване зберігання інформації та формування необхідних інформаційних потоків.

Важливим аспектом є забезпечення цілісності даних. Для цього інформація про різні об'єкти виробництва зберігається у взаємопов'язаних таблицях. Структурована організація інформації дає можливість пов'язувати дані про окремі технологічні операції з виробничими ресурсами та результатами їх виконання. Подібний принцип використовується і в інтегрованих системах підтримки прийняття рішень, де окремі програмні модулі взаємодіють із базами даних та обмінюються вхідною і вихідною інформацією [3, с. 49–51].

Практичну реалізацію системи виконано в середовищі Microsoft Access із використанням таблиць, запитів, форм, звітів та програмної логіки VBA. Запити забезпечують реалізацію основних функцій системи: формування виробничих завдань, контроль складських залишків, облік виконаних робіт та аналіз діяльності працівників.

Таким чином, система не обмежується зберіганням інформації, а забезпечує її оброблення та перетворення на дані, придатні для управління. Це відповідає підходу, за якого виробнича інформаційна система повинна охоплювати різні функціональні напрями та забезпечувати їх поступову інтеграцію [1, с. 142–145].

Практична перевірка системи показала можливість автоматизації основних етапів виробничого обліку: формування виробничих завдань, виконання операцій, реєстрації дефектів, контролю складських залишків та отримання інформації про результати роботи.

Важливою перевагою автоматизованого обліку є можливість оперативного контролю виробничого процесу. У дослідженні [1] показано, що відображення виробничих операцій в інформаційній системі дає змогу здійснювати оперативний контроль окремих етапів виробництва та аналізувати відхилення виробничих показників [1, с. 146–148].

В умовах воєнного стану подальший розвиток системи доцільно спрямувати на розширення аналітичних можливостей. Зокрема, перспективним є використання інформаційних панелей для відображення стану виробництва, динаміки виконання плану та завантаження працівників. Також доцільним є впровадження рольового розмежування доступу, резервного копіювання та додаткової перевірки коректності введених даних.

Окремим напрямом розвитку може бути інтеграція оперативної інформації з аналітичними засобами підтримки управлінських рішень. Сучасні дослідження наголошують на необхідності поєднання технологічної інформації та засобів оперативної підтримки прийняття рішень у виробничому середовищі [2, с. 453–455].

Інтеграція окремих функціональних модулів також відповідає підходам до побудови систем підтримки прийняття рішень. Зокрема, у [3] запропоновано модульну структуру системи, в якій окремі програмні модулі взаємодіють із базами даних та забезпечують виконання розрахункових, оптимізаційних і рекомендаційних функцій [3, с. 49–52].

У разі збільшення обсягів виробництва перспективним напрямом є перехід від локальної бази даних до серверної системи керування базами даних. Це створить можливість одночасної роботи більшої кількості користувачів та подальшого масштабування системи.

Висновки. Інформаційні системи є важливим засобом підтримки управління виробничими процесами в умовах нестабільного виробничого середовища. Їх використання дозволяє об’єднати дані про виробничі завдання, працівників, ресурси, продукцію та результати роботи в єдиному інформаційному середовищі. Практична реалізація на прикладі виробництва тракторної електропроводки демонструє можливість автоматизації основних виробничих інформаційних процесів та формування даних для оперативного управління.

Література

[1] Григорків В. С., Буяк Л. М., Верстяк А. В., Григорків М. В., Савко О. Я. Впровадження інформаційних систем управління виробничими підприємствами: прикладний аналіз. Науковий вісник Чернівецького університету. Економіка. 2018. Вип. I–II (69–70). С. 142–149.

[2] Machnik P., Deptuła A. Operational Decision Support in Manufacturing and Technological Information Processing: A Systematic References Review. Management Systems in Production Engineering. 2026. Vol. 34, No. 3. P. 453–480. DOI: 10.2478/mspe-2026-0040.

[3] Zheldak T., Ziborov I. The structure and functions of the integrated DSS in the multi-stage rolling production management processes. Advanced Information Technology. 2023. Vol. 1, No. 2. P. 49–56. DOI: 10.17721/AIT.2023.1.07.

INFORMATION SYSTEM FOR SUPPORTING PRODUCTION PROCESS MANAGEMENT UNDER MARTIAL LAW

Morozova G.S., Vychalkovskyi D.A., Pushkar D.R.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

The role of information systems in supporting the management of production processes under martial law is considered. An approach to automating production planning, production accounting, resource control, defect management, and monitoring of production results is proposed. The practical implementation of the approach is considered using the example of tractor wiring harness production.

Keywords: information system, production processes, production management, automation, database, Microsoft Access.

УДК 005.8:629.5:681.5

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Блінцов В.С.,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bvs050803@ukr.net
Надточій І.І.,
доктор економічних наук, професор,
заступник директора ХННІ з навчально-методичної та наукової роботи
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
nira@ukr.net
Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
tasman.leh.85@gmail.com

Анотація. Обґрунтовано концептуальну модель системного управління проєктами створення та застосування інтегрованих систем морської робототехніки для гуманітарного розмінування акваторій. Запропоновано вісім взаємопов'язаних принципів, що визначають цілі, життєвий цикл, інтеграцію засобів, простежуваність даних, адаптацію, безпеку, критерії результативності та зворотний зв'язок. Модель пов'язує ці принципи з проєктною системою та її результатом – перевіреними даними про акваторію. Визначено напрями подальшої кількісної перевірки положень.

Ключові слова: управління проєктами, системний підхід, морська робототехніка, інтегрована система, гуманітарне розмінування.

Постановка проблеми. Гуманітарне розмінування акваторій потребує узгодження завдань обстеження, виявлення, класифікації та документування вибухонебезпечних об'єктів із можливостями надводних, підводних і повітряних роботизованих засобів. Технічний результат окремого апарата не дорівнює результату всього проєкту: пропуски в даних, несумісні формати, затримка перевірки цілей або невраховані обмеження безпеки можуть знизити придатність результатів обстеження для подальших рішень. Відомі роботи з робототехнічного забезпечення мілководних акваторій описують технологічні етапи та добір засобів [1]; IMAS 09.60 визначає вимоги до підводного обстеження й очищення від вибухонебезпечних предметів [2]. Тому потрібна єдина модель управління створенням системи та її застосуванням у конкретній акваторії.

Мета роботи – сформувати й представити концептуальну модель системного управління проєктами створення та застосування інтегрованих систем морської робототехніки для гуманітарного розмінування акваторій.

Основний матеріал. Об'єктом управління визначено проєктну систему $P = [G, R, A, D, C, E]$, де G – цілі та критерії приймання результату; R – ресурси, включно з роботизованими платформами й персоналом; A – роботи та їх залежності; D – дані обстеження і підтвердження; C – обмеження безпеки, строків, вартості та нормативної відповідності; E – умови акваторії. Такий опис дозволяє пов'язати зміну умов середовища або достовірності даних із рішенням про маршрут, склад засобів чи повторне обстеження. Загальні настанови з управління проєктами допускають добір прогнозного, ітеративного або змішаного підходу залежно від характеру результату [3]; системна інженерія наголошує на узгодженні вимог і перевірки протягом життєвого циклу [4].

Перший принцип – цільова узгодженість. Цілі гуманітарного розмінування перетворюють на перевірювані вимоги до системи, місії та приймання результату. Це встановлює зв'язок між очікуваним результатом для акваторії та складом проєктних робіт.

Другий принцип – цілісність життєвого циклу. Вимоги, створення й інтеграцію засобів, випробування та застосування розглядають як взаємозалежні етапи. Зміна вимог до обстеження повинна бути простежуваною в конфігурації системи й плані місії.

Третій принцип – функціональна інтеграція. Завдання надводних, підводних і повітряних апаратів, операторів та засобів оброблення даних розподіляють за функціями й узгоджують через інтерфейси, часові мітки, координати та правила обміну інформацією.

Четвертий принцип – простежуваність результатів. Кожне повідомлення про підозрілий об’єкт пов’язують із первинним вимірюванням, умовами спостереження, координатами, оцінкою достовірності, перевіркою й рішенням відповідального фахівця.

П’ятий принцип – адаптивність. Фактичні умови акваторії, покриття, невизначеність класифікації та доступність ресурсів зіставляють із планом. Відхилення є підставою для документованого коригування маршруту, засобів, строків або складу робіт.

Шостий принцип – пріоритет безпеки. Допустимість альтернативи визначають з урахуванням обов’язкових вимог до безпеки персоналу й операцій. Рішення про фізичне поводження з вибухонебезпечними предметами належить уповноваженим і кваліфікованим організаціям [2].

Сьомий принцип – багатокритеріальність. Рішення оцінюють за повнотою та підтвердженістю обстеження, ризиком, строками й витратами. Показники визначають для конкретної місії; безпекові обмеження застосовують перед порівнянням допустимих альтернатив.

Восьмий принцип – зворотний зв’язок. Дані місії повертаються до керівника проєкту для зіставлення плану й факту. Результати перевірки змінюють наступні роботи, а за потреби – вимоги до системи; причини рішень фіксують у реєстрі змін і ризиків.



Рисунок 1 – Концептуальна модель системного управління проєктами створення та застосування інтегрованих систем морської робототехніки

Висновки. Розроблено концептуальну модель, яка пов’язує проєктну систему з вісьмома принципами її управління та результатом обстеження акваторії. Принципи визначають логіку узгодження цілей, інтеграції засобів, перевірки результатів і коригування рішень за умов невизначеності. Модель має концептуальний характер; подальша робота передбачає формалізацію взаємозв’язків, добір вимірюваних показників і перевірку на сценаріях обстеження акваторій.

Література

[1] Блінцов В. С., Надточий А. В. Гуманітарне розмінування мілководних акваторій: технології та робототехнічне забезпечення. Shipbuilding & Marine Infrastructure. 2024. № 1 (18). С. 4–10.

[2] International Mine Action Standards. IMAS 09.60: Underwater survey and clearance of explosive ordnance (EO). URL: https://www.mineactionstandards.org/standards/09-60/ (дата звернення: 23.09.2026).

[3] ISO 21502:2020. Project, programme and portfolio management – Guidance on project management. Geneva: ISO, 2020. URL: https://www.iso.org/standard/74947.html (дата звернення: 23.09.2026).

[4] INCOSE. Systems Engineering Handbook. URL: https://www.incose.org/resources-publications/technical-publications/se-handbook/ (дата звернення: 23.09.2026).

CONCEPTUAL PRINCIPLES OF A SYSTEMS APPROACH TO MANAGING PROJECTS FOR THE CREATION AND USE OF INTEGRATED MARINE ROBOTIC SYSTEMS

Blintsov Volodymyr Stepanovich, Nadtochii Iryna Ihorivna, Nadtochyi Anatolii Viktorovych
Kherson Educational and Research Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper presents a conceptual model for managing projects that create and deploy integrated marine robotic systems for humanitarian demining of water areas. Eight interrelated principles connect project goals, life-cycle decisions, system integration, data traceability, adaptation, safety, performance criteria and feedback. The model links these principles to the project system and the verified survey data it produces. Quantitative validation on water-area survey scenarios is proposed as the next research step.

Keywords: project management, systems approach, marine robotics, integrated system, humanitarian demining.

УДК 005.8:629.5:681.5

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОЄКТУ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ ЯК СКЛАДНОЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Блінцов В.С.,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bvs050803@ukr.net
Надточій І.І.,
доктор економічних наук, професор,
заступник директора ХННІ з навчально-методичної та наукової роботи
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
nira@ukr.net
Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
tasman.leh.85@gmail.com

Анотація. Запропоновано системне представлення проєкту створення та застосування інтегрованої морської робототехніки для гуманітарного розмінування акваторій. Виокремлено організаційну, технічну, інформаційну й операційну підсистеми та визначено їхні зв'язки із цілями, обмеженнями і зовнішніми умовами. Формально описано структуру проєкту, залежності робіт, інтерфейси та контури управлінського зворотного зв'язку. Запропоноване представлення є основою для подальшого моделювання й перевірки управлінських рішень.

Ключові слова: управління проєктами, організаційно-технічна система, морська робототехніка, системний підхід, гуманітарне розмінування.

Постановка проблеми. Проєкт інтегрованої системи морської робототехніки охоплює більше, ніж розроблення сукупності апаратів. Для обстеження акваторій необхідно одночасно координувати цілі замовника, ресурси, організації, надводні, підводні та повітряні засоби, збирання й перевірку даних, а також обмеження безпеки. Порушення зв'язку між результатом обстеження та рішеннями про склад засобів чи порядок робіт впливає на результат усього проєкту. Дослідження робототехнічного забезпечення розмінування мілководних акваторій уже визначає технологічні етапи та потребу в організаційному й ресурсному забезпеченні [1]. Міжнародний стандарт IMAS 09.60 окреслює вимоги до підводного обстеження і відповідальність кваліфікованих організацій [2]. Потрібне формальне представлення, у якому технічні та управлінські складові пов'язані в одну проєктну систему.

Мета роботи – визначити склад, межі та взаємозв'язки проєкту інтегрованої системи морської робототехніки як складної організаційно-технічної системи для гуманітарного розмінування акваторій.

Основний матеріал. Представимо проєкт як $P = \{G, W, R, S, I, D, E, C\}$, де G – цілі й критерії приймання; W – роботи та залежності між ними; R – ресурси; S – множина організаційних і технічних елементів; I – інтерфейси; D – дані; E – зовнішні умови; C – обмеження. Це представлення розділяє результат проєкту, його процеси та засоби виконання, але зберігає зв'язки між ними. Настанови ISO 21502

допускають добір способу реалізації відповідно до характеру результату [3], а системна інженерія пов'язує вимоги, інтеграцію, перевірку та застосування протягом життєвого циклу [4].

Організаційна підсистема визначає учасників, ролі, повноваження, розподіл робіт і порядок зміни плану. Технічна підсистема містить роботизовані платформи, сенсори, навігаційні й комунікаційні засоби. Інформаційна підсистема забезпечує приймання, перетворення, узгодження координат і часу, зберігання та перевірку даних. Операційна підсистема пов'язує ці елементи з конкретними місіями обстеження. Склад підсистем не є фіксованим для кожного проєкту: він уточнюється за умовами акваторії, масштабом робіт і доступними ресурсами.

Функціональні зв'язки задають графом $B = (V,L)$, де V – містить роботи, ресурси, інформаційні продукти та управлінські рішення, а дуги L – передавання результатів і залежності. Для дуги $i \rightarrow j$, яка задає залежність типу «завершення–початок», виконується умова $s_j \geq s_i + d_i$, де s_i та s_j – моменти початку робіт i та j відповідно; d_i – тривалість роботи i. Зв'язок між вимогою і результатом повинен бути простежуваним через роботу, вимірювання та перевірку. У такий спосіб граф відображає як планову послідовність, так і точки, у яких брак даних або несумісність інтерфейсів може затримати наступні роботи.

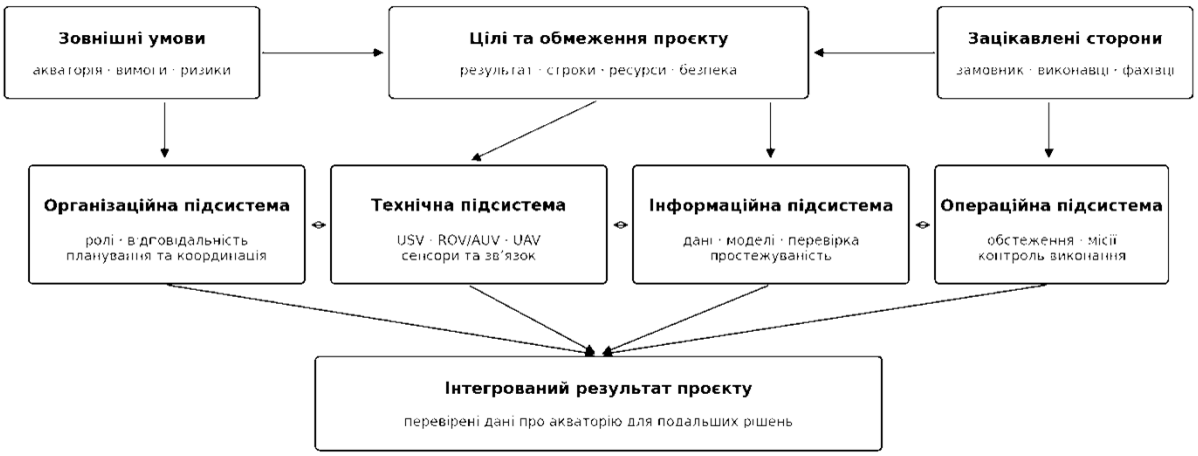


Рисунок 1 – Структура проєкту інтегрованої системи морської робототехніки як організаційно-технічної системи

Динаміку такої системи можна описати дискретною моделлю переходу:

$$X(t+1)=F\,(X(t),u(t),E(t)),$$

де t – номер дискретного кроку; $X(t)$ – вектор стану проєкту; $u(t)$ – управлінське рішення; $E(t)$ – вектор зовнішніх умов; F – функція переходу до наступного стану. Фактичні показники якості даних, виконання робіт, дотримання строків і використання ресурсів порівнюють із плановими значеннями, а виявлені відхилення використовують для коригування управлінських рішень

За виявлення відхилень керівник проєкту обирає коригування лише з множини рішень, допустимих за встановленими обмеженнями безпеки. Після коригування перевіряють не тільки стан окремого апарата, а й придатність результату обстеження для наступного управлінського рішення.

Особливість запропонованого представлення полягає в розмежуванні двох взаємопов'язаних результатів: технічної готовності інтегрованої роботизованої системи та перевірених відомостей про акваторію, отриманих у проєкті її застосування. Їх пов'язують вимоги до місії, конфігурація засобів, протоколи даних і критерії приймання. Таке розмежування дає змогу встановити відповідальність за кожний результат і виявити, на якому рівні потрібна зміна – конструкції, інтеграції, плану робіт або процедури перевірки.

Висновки. Запропоновано структурне та формальне представлення проєкту інтегрованої системи морської робототехніки як складної організаційно-технічної системи. Визначено чотири взаємопов'язані підсистеми, зовнішні впливи, граф залежностей та контур управлінського зворотного зв'язку. Представлення дозволяє пов'язати рішення про створення засобів із результатами їх застосування для обстеження акваторій. Подальше дослідження передбачає деталізацію графа для конкретного проєкту, формування показників і перевірку моделі на сценаріях місій.

Література

[1] Блінцов В. С., Надточий А. В. Гуманітарне розмінування мілководних акваторій: технології та робототехнічне забезпечення. Shipbuilding & Marine Infrastructure. 2024. № 1 (18). С. 4–10.

[2] International Mine Action Standards. IMAS 09.60: Underwater survey and clearance of explosive ordnance (EO). URL: https://www.mineactionstandards.org/standards/09-60/ (дата звернення: 29.09.2026).

[3] ISO 21502:2020. Project, programme and portfolio management – Guidance on project management. Geneva: ISO, 2020.

[4] INCOSE. Systems Engineering Handbook. Fifth edition. Hoboken: Wiley, 2023.

REPRESENTING AN INTEGRATED MARINE ROBOTIC SYSTEM PROJECT AS A COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM

Blintsov Volodymyr Stepanovich, Nadtochii Iryna Ihorivna, Nadtochyi Anatolii Viktorovych,

Kherson Educational and Research Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. The paper represents a project for creating and using an integrated marine robotic system for humanitarian demining as a complex organizational and technical system. It identifies organizational, technical, information and operational subsystems and their links to project goals, constraints and external conditions. A project structure, work dependency graph and management feedback loop are formulated. The proposed representation provides a basis for subsequent modeling and assessment of project decisions.

Keywords: project management, organizational and technical system, marine robotics, systems approach, humanitarian demining.

СЕКЦІЯ 8. ЕКОНОМІКА НА ЗАХИСТІ НЕЗАЛЕЖНОСТІ ТА СВОБОДИ УКРАЇНИ

UDC 338.24:620.9

ECONOMIC SECURITY OF UKRAINE UNDER CONDITIONS OF MILITARY AND GLOBAL RISKS: BUILDING A RESILIENT ENERGY SYSTEM AS THE FOUNDATION OF NATIONAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Zhuvahina I.O.,
PhD in Economics, Associate Professor
Iryna.zhuvahina@nuos.edu.ua
Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The transformation of the global security environment has significantly expanded the concept of economic security, placing energy resilience among its key determinants. For Ukraine, the full-scale war has demonstrated that the stability of the energy sector is a prerequisite for maintaining economic activity, social services, and national resilience [1]. The paper analyzes the current state of Ukraine's preparation for the 2026–2027 autumn–winter period, identifies the major financial, technological, and institutional challenges affecting energy resilience, and evaluates the implementation of government support measures [2]. Particular attention is paid to the transition from centralized energy infrastructure toward distributed generation, decentralized energy systems, and the Build Back Better approach as the foundation of post-war recovery. The study concludes that strengthening energy resilience through technological modernization, diversified energy generation, improved financing mechanisms, and enhanced cyber and physical protection is a strategic prerequisite for ensuring Ukraine's long-term economic security under the new global risk architecture [3].

Keywords: economic security, energy security, critical infrastructure, distributed generation, energy resilience, Build Back Better, post-war recovery, energy transition, Ukraine.

Introduction. The global system of economic security is undergoing profound transformations under the influence of geopolitical instability, military conflicts, energy crises, climate change, cyber threats, and disruptions in global supply chains. These factors have substantially expanded the traditional understanding of economic security, which is no longer limited to macroeconomic stability and financial sustainability. In the modern world, the resilience of critical infrastructure, particularly the energy sector, has become one of the key determinants of national economic security [4].

For Ukraine, the issue of economic security has acquired exceptional significance due to the consequences of the full-scale military aggression of the Russian Federation. Systematic attacks on energy infrastructure have demonstrated the direct relationship between energy resilience and the country's ability to maintain economic activity, ensure the functioning of social services, and preserve national security. Consequently, the development of a resilient energy system has become one of the strategic priorities of state policy [5].

Within the new global risk architecture, energy security is increasingly viewed not only as a sectoral issue but also as a fundamental component of economic stability and sustainable development. This requires a transition from traditional post-crisis recovery approaches toward comprehensive modernization based on decentralization, diversification of energy sources, digitalization, and resilience-oriented development principles [6].

Purpose of the Study. The purpose of this study is to assess the role of energy resilience in ensuring Ukraine's economic security, analyze the current state of preparation for the 2026–2027 autumn–winter period, identify key challenges and risks affecting the energy sector, and substantiate strategic directions for strengthening national resilience within the new global risk architecture [7].

Main Body. Preparation for the 2026–2027 autumn–winter period demonstrates generally positive dynamics; however, the implementation of regional resilience plans remains uneven. Despite significant achievements in restoring damaged infrastructure, Ukraine continues to face substantial risks associated with possible attacks on critical energy facilities. Therefore, public policy should focus not only on repairing damaged assets but also on building a fundamentally new architecture of energy security based on the Build Back Better concept [8].

The experience of the 2022–2026 heating seasons revealed the vulnerability of the centralized energy model. Large-scale attacks on generation, transmission, and distribution facilities highlighted the necessity of developing

distributed generation, cogeneration systems, modular boiler houses, energy storage facilities, and autonomous backup power sources [9].

The Government of Ukraine has identified several priorities for the upcoming heating season, including strengthening the protection of energy infrastructure, accelerating repair campaigns, expanding distributed generation, and increasing natural gas reserves. As part of these efforts, Ukraine has already received more than 3,200 units of energy equipment, including generators, transformers, modular boiler houses, and cogeneration units. Additional equipment deliveries are expected throughout the year [10].

A significant achievement has been the implementation of engineering protection measures for critical infrastructure facilities. The first stage of the protection program has been completed, and dozens of energy facilities have already received enhanced protection. Nevertheless, financial constraints remain the primary obstacle to the large-scale implementation of resilience measures. The estimated funding required for regional resilience plans exceeds UAH 278 billion, while local governments can finance only a fraction of the necessary investments.

The example of Kyiv illustrates the scale of this challenge. Although the capital has implemented projects involving approximately 40 MW of distributed generation capacity and expanded backup power systems for critical municipal services, available local budget resources remain insufficient to meet all planned resilience objectives. Similar situations can be observed across many Ukrainian regions.

Another challenge concerns the long production and delivery cycles for energy equipment. The lead time for manufacturing and supplying modular boiler houses, transformers, and energy storage systems ranges from nine to fourteen months. Consequently, simplifying import procedures and supporting domestic production capacities are important policy priorities [11].

To stimulate investment in distributed energy generation, the government launched targeted financing programs that provide preferential lending conditions for projects involving gas engine plants, gas turbines, cogeneration facilities, biomass and biogas units, and energy storage systems. Additional support mechanisms include the Affordable Loans 5–7–9 % Program and the SvitloDIM Program, which encourage businesses and households to invest in energy resilience projects.

The expansion of distributed generation also raises new challenges related to physical security, information protection, and cybersecurity. The concentration of significant generation capacity at a single location creates additional risks in wartime conditions. Therefore, new energy facilities should be geographically dispersed, supported by secure digital communication systems, and integrated into a coordinated national energy management framework.

At the same time, decentralization alone cannot guarantee energy resilience. The development of a modern energy architecture requires maintaining the integrity of the Integrated Power System of Ukraine, ensuring a continuous balance between electricity generation and consumption, creating adequate reserve capacities, and strengthening coordination between transmission and distribution system operators. Compliance with internationally recognized reliability and security standards should remain a fundamental principle of energy sector modernization.

Conclusions. The study confirms that energy resilience has become one of the most important components of Ukraine’s economic security in the context of the new global risk architecture. The experience of recent years demonstrates that traditional centralized energy systems are highly vulnerable to military and hybrid threats.

Although Ukraine has achieved considerable progress in protecting and restoring energy infrastructure, significant financial, technological, and organizational challenges remain. The successful implementation of regional resilience plans requires substantial investment, accelerated modernization, and improved coordination among national and local authorities. A strategic transition toward distributed generation, energy storage systems, decentralized infrastructure, and advanced cybersecurity solutions should become the foundation of Ukraine’s future energy model. Such an approach will not only strengthen the resilience of the energy sector but will also enhance the country’s economic stability, competitiveness, and ability to withstand long-term external challenges.

References

[1] Zhuvahina, I. (2026). Strategic transformation of the Ukrainian peat industry: From state-owned stagnation to private-sector modernization. In *Imperatives of Economic Growth in the Context of the Implementation of the Sustainable Development Goals*. Kyiv National University of Technologies and Design.

[2] Iermakova, O., Zhuvahina, I., Metelytsia, V., & Dmytryshyn, R. (2024). Conceptual principles of ecologically safe development of aquaculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1429* (1), 012004. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1429/1/012004

[3] Zhuvahina, I. (2024). Ensuring an effective energy efficiency policy based on appropriate energy audit systems. *European Science, SGE27-03*, 44–71.

[4] Kovshun, N., Solodkyy, V., Zhuvahina, I., Malanchuk, L., Banar, O., & Krysak, A. (2025). Substantiation of business projects for the transition of the regional heat and power industry to the use of local

fuels: Energy, economic and environmental aspects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1576* (1), 012011. IOP Publishing.

[5] Zhuvahina, I., et al. (2023). Accelerating the development of the digital economy in Ukraine in the framework of the course of European integration. *Revista Românească pentru Educaţie Multidimensională, 15* (3), 107–118.

[6] Murashko, O., Havrylyuk, R., Zhuvahina, I., Chornovol, A., & Andriyenko, M. (2021). Economic and legal aspects of EU insurance market development.

[7] Zhuvahina, I. (2025). Strategy for the transition of the regional energy sector to local fuel resources: Substantiation of investment projects. *Modern Engineering and Innovative Technologies, 42-01*, 232–242.

[8] Zhuvahina, I. (2022). The role of the global pandemic in the formation of the digital economy as the future of technological progress. *Modern Engineering and Innovative Technologies, 21-02*, 30–35.

[9] Razumkov Centre. (2026). *Review of the energy sector performance in May 2026 (Review of the Energy Sector Performance in May 2026)* https://razumkov.org.ua/images/2026/06/19/2026_ENERGY_June_UKR.pdf

[10] Taranenko, I., et al. (2021). Management of the process of e-commerce development in business on the example of the European Union. *Studies of Applied Economics, 39* (5).

[11] Zhuvahina, I. (2022). War in Ukraine and its economic consequences. In Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference “International Scientific Innovations in Human Life” (June 8–10, 2022). Cognum Publishing House.

UDC 620.9:662.6:338.2:504.06

BUSINESS PROJECTS FOR ENERGY-EFFICIENT DEVELOPMENT OF REGIONAL HEAT AND POWER SYSTEMS: ECONOMIC SUBSTANTIATION OF LOCAL FUEL UTILIZATION

Zhuvahina I.O.,
PhD in Economics, Associate Professor
Iryna.zhuvahina@nuos.edu.ua
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The study develops a comprehensive approach to substantiating the feasibility of local fuel utilization as a strategic direction for the transformation of regional heat and power systems. The potential of peat resources in Ukraine is assessed through an integrated analysis of their spatial distribution and the energy, economic, and environmental prerequisites and constraints associated with their involvement in regional energy supply. A methodological framework for evaluating business projects aimed at transitioning regional heat and power systems to local fuels is proposed, combining integral and partial indicators that reflect the overall project effects as well as specific dimensions of energy efficiency, economic performance, environmental sustainability, and regional socio-economic development. The analysis demonstrates that peat extraction in the Rivne region could reach
100–180 thousand tonnes annually, with the potential production of up to 20 thousand tonnes of lump peat and approximately 75 thousand tonnes of peat briquettes, while the environmentally permissible extraction capacity exceeds 600 thousand tonnes per year. The proposed assessment framework provides for determining the effectiveness of such business projects through a comparative analysis of projected and actual indicator values, thereby enabling an objective evaluation of the achieved energy, economic, and environmental outcomes.

Keywords: local fuels, regional heat and power systems, energy security, energy efficiency, business projects, economic feasibility, environmental sustainability, energy transition, regional energy development.

Introduction. Energy security is an integral part of national security. Ukraine’s subsoil contains significant reserves of hard and brown coal and natural gas, oil, and shale. Compared to these energy carriers, the energy potential of peat resources is relatively small. However, peat fuel is adequate for both the economy and socio-cultural development of many areas of the Northwestern region and Ukrainian Polissya. The use of peat is assessed differently in terms of environmental and economic efficiency in different countries. For example, Paul et al. (2022) examine the use of local resources for the energy sector in India, namely, the energy of peatlands in northeastern India for power plants. The country is interested in increasing peat-based energy production. At the same time, Finland is discussing the transition from peat to the municipal heating system in favour of wind energy and biofuels (Javanshir et al., 2022). A study by Vainio et al. (2024) proving the benefits of peat-based heat supply based on its impact on biodiversity is practical. The transformation of district heating in Finland involves increasing the share of wood fuel from 22.3 % to 42.1 % between 2011 and 2021 (Statistics Finland, 2021). However, these processes

may have a negative impact on biodiversity. Notably, the authors emphasize the importance of approaches to assessing the consequences of using a particular fuel. The transition to new types of fuel is becoming increasingly relevant in view of the transformation processes in the energy sector, their principles, and safety issues. (Sotnyk et al., 2021; Nifatova et al., 2024).

Purpose of the Research. The purpose of the research is to substantiate business projects for the transition of regional heat and power systems to the use of local fuels. The study aims to assess the energy potential of locally available fuel resources and their capacity to contribute to the reliable operation of regional energy infrastructure. Particular attention is paid to evaluating the economic feasibility and investment attractiveness of projects based on local fuels. The research also considers the environmental implications of replacing conventional imported or fossil fuels with locally available energy resources. The obtained results are intended to support economically justified and environmentally sustainable decisions regarding the development of regional heat and power systems.

Main Part. An operational analysis of the consolidated statistics on peat extraction and produc-tion of the State Concern "Ukrtorf" shows a significant underperformance of the industry's targets as of January 1, 2021. Total peat production amounted to 290.5 thousand tons, which corresponds to only 72.6 % of the approved annual plan. A study of the performance of individual state-owned enterprises reveals the following results: State Enter-prise "Volyntorf" produced 111.2 thousand tons, which is 62.1 % of the planned target; State Enterprise "Rivnotorf" – 127.2 thousand tons, which is 1.8 % higher than the annual plan (101.8 %); State Enterprise "Chernihivtorf" – 52.1 thousand tons, which is 71.3 % of the planned volume. At the same time, the production of peat briquettes also shows a lag behind the planned figures: 14 thousand tons were actually produced, which is 84.2 % of the annual plan. In terms of enterprises, the largest production volumes were achieved at "Volyntorf" State Enterprise – 57,477 tons (65.3 % of the plan), "Rivnetorf" State Enterprise – 74,598.3 tons (124.3 % of the plan), while "Chernihivtorf" State Enterprise produced only 12,805.2 tons, which corresponds to 53.4 % of the planned volume. Insufficient performance against targets, limited investment attractiveness, and financial and economic difficulties in the operations of state-owned peat extraction companies were among the key factors that led to the government's decision to privatize the industry (Prokopenko et al., 2024) [1].

In particular, the Cabinet of Ministers of Ukraine returned to the active phase of selling the enterprises only in the fall of 2022, and the practical implementation of privatization procedures took place in 2023. One of the most significant results of this process was the alienation of the State Enterprise "Rivnotorf", which was privatized as a single property complex in early July 2023 for UAH 20 million at a starting price of UAH 47. million. Currently, the company operates under the name Land Grow LLC as a private entity engaged in peat extraction and processing in the Rivne region. The post-industrial society era is characterized by the rise of the digital economy. Thanks to digitalization, there are positive changes in the efficiency of the use of factors and production time, competition among companies due to the openness and accessibility of markets, opportunities to find consumers and target audience [2]. The company's production capacity ensures the extraction of 100-180 thousand tons of peat annually, mainly for fuel purposes, with the subsequent production of up to 20 thousand tons of lump peat and about 75 thousand tons of peat briquettes per year. In view of the above, we consider it expedient to consider the use of peat as a resource for heat supply at the regional level as part of the transformation of Ukraine's energy supply. The implementation of the blue economy meets the SDG 14. In the European Union, the blue economy together with the Green Deal forms the EU's strategic course for the coming decades. In 2012, within the framework of new approaches to maritime activity, the European Commission developed the Blue Growth Strategy. This initiative is aimed at the effective use of the economic potential of the sea waters and coastal areas of the European Union to create new jobs and ensure socio-economic development. The main goal is to achieve smart, sustainable and inclusive growth in maritime sectors with an emphasis on innovation [3].

Conclusions. Currently, conditions have developed in Ukraine under which the peat industry has become economically and socially relevant and should become an efficient mining and processing industry that will strengthen the country's energy independence, produce inexpensive fuel for public sector facilities and the poorest segments of the population, and contribute to improving land fertility, horticulture, mushroom farming, animal husbandry, and floriculture [4]. The proposed system of indicators for substantiating business projects for the transition of regional heat and power industry to the use of local fuels can be recommended for use in the process of monitoring the transition of the regional economy to local fuel resources, as well as in general in the process of its forecasting and control over the achievement of energy security in the region [5]. At the current stage of development, Ukraine has created conditions under which the peat industry is gaining economic and social relevance and has the potential to transform into an efficient mining and processing sector. Its development can contribute to strengthening the country's energy independence, ensuring an affordable fuel supply for public-sector institutions and socially vulnerable population groups, and improving the efficiency of land resource utilization in agriculture, horticulture, mushroom cultivation, animal husbandry, and floriculture. The proposed system of indicators for substantiating business projects aimed at the transition of regional heat and power systems to local fuels can be recommended as a tool for monitoring the transformation of regional economies toward the use of locally available fuel and energy resources. In addition, this system can be applied to strategic forecasting,

evaluation of energy policy effectiveness, and monitoring the achievement of an appropriate level of regional energy security [6]. The practical implementation of the proposed approach requires a comprehensive assessment of the energy efficiency, economic feasibility, and environmental implications of using local fuel resources. This provides a basis for developing economically justified business projects for the modernization of regional heat supply systems and enhancing their resilience to external energy risks. Further research should focus on developing methodological approaches to the comprehensive assessment of the investment attractiveness of such projects, determining the optimal structure of local fuel and energy resources, and modeling the economic and environmental effects of their implementation at the regional level.

References

[1] Zhuvahina, Iryna. “Strategic transformation of the Ukrainian peat industry: from state-owned stagnation to private-sector modernization." *Імперативи економічного зростання в контексті реалізації Глобальних цілей сталого розвитку*. Київський національний університет технологій та дизайну, 2026.

[2] Zhuvahina, Iryna, et al. “Accelerating the Development of the Digital Economy in Ukraine in the Framework of the Course of European Integration.” Revista Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala 15.3 (2023): 107–118.

[3] Iermakova, Olga, et al. “Conceptual principles of ecologically safe development of aquaculture.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1429. No. 1. IOP Publishing, 2024.

[4] Zhuvahina, Iryna. “Ensuring an effective energy efficiency policy based on appropriate energy audit systems." *European Science* sge27-03 (2024): 44–71.

[5] Kovshun, Nataliia, et al. “Substantiation of Business Projects for the Transition of Regional Heat and Power Industry to the Use of Local Fuels: Energy, Economic and Environmental Aspects.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1576. No. 1. IOP Publishing, 2025.

[6] Iryna, Zhuvahina. “War In Ukraine And Its Economic Consequences." The 12 th International scientific and practical conference “International scientific innovations in human life”(June 8–10, 2022) Cognum Publishing House, Manchester, United Kingdom. 2022. 991 p. 2022.

УДК 338.43:330.322:339.564

АГРОБІЗНЕС УКРАЇНИ В УМОВАХ ТРИВАЛОЇ ВІЙНИ: УПРАВЛІННЯ КАПІТАЛОМ ТА СТРАТЕГІЇ ПРОСУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ НА ЗОВНІШНІ РИНКИ ЗА ЛОГІСТИЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ

Івата В.В.,
кандидат економічних наук, доцент кафедри обліку і економічного аналізу
vyacheslav.ivata@nuos.edu.ua
Германчук А.В.,
аспірант, germanchuka@gmail.com
Дробот Д.В.,
аспірант, drobot.d.v@icloud.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджено взаємозв’язок управління капіталом аграрних підприємств і стратегій просування продукції на зовнішні ринки в умовах затяжної війни та хронічних логістичних обмежень. Показано, що АПК залишається головним валютним генератором економіки: у 2025 р. частка агропродукції в товарному експорті становила 56,1 % ($22,5 млрд) за падіння вартості поставок на 8,8 %. Обґрунтовано переорієнтацію капіталу з сировинної моделі на глибоку переробку, резервну логістику та інструменти розподілу ризику (Ukraine Facility, PCGF) як умову збереження присутності на турбулентних зовнішніх ринках.

Ключові слова: агробізнес, управління капіталом, залучення інвестицій, логістичні обмеження, експортні стратегії, зовнішні ринки, воєнна економіка.

Постановка проблеми. Повномасштабна війна перетворила логістику з операційної функції на стратегічний фактор виживання аграрного підприємства. Обстріли портів Великої Одеси, перевантаження західних переходів, скасування автономних торговельних преференцій ЄС у червні 2025 р. та зростання вартості фрахту й страхування одночасно звужують доступ до капіталу і змінюють географію збуту. До 2021 р. сільське господарство формувало понад 10 % ВВП і близько 41 % товарного експорту; у воєнні роки

частка АПК у валютній виручці зросла до 56–61 %, тоді як внесок у ВВП знизився приблизно до 7 %. Сектор став критичним для макрофінансової рівноваги, але працює в режимі високої невизначеності. Проблема полягає в тому, як одночасно управляти обмеженим капіталом і вибудовувати стратегії просування продукції, коли логістичні центри функціонують з перебоями, а війна набуває затяжного характеру.

Аналіз останніх досліджень. Стійкість агросектору, інвестиційну активність та експортну логістику висвітлюють огляди УКАБ, НІСД, KSE, Мінагрополітики, а також дослідження Solidarity Lanes і морського коридору [1–5]. Бракує інтегрованого погляду, що поєднує управління капіталом (джерела фінансування, пріоритети вкладень, страхування воєнних ризиків) зі стратегіями просування продукції за турбулентності зовнішніх ринків.

Мета роботи. Обґрунтувати взаємопов'язані напрями управління капіталом і просування аграрної продукції на зовнішні ринки в умовах логістичних обмежень та економічної невизначеності воєнного періоду.

Виклад основного матеріалу. Експортна динаміка 2024–2025 рр. фіксує перехід від відновлення до «логістичного плато». У 2024 р. фізичний агроекспорт сягнув близько 70, млн т, валютна виручка АПК – $24, млрд (59,3 % товарного експорту). У 2025 р. вартість агроекспорту знизилася до $22,5 млрд (–8,8 %), фізичні обсяги – приблизно до 4 млн т; частка галузі лишилася високою – 56,1 %. Частка ЄС уперше з 2022 р. впала нижче 50 % і склала 47,5 % ($10, млрд) після повернення тарифних квот. Імпорт агропродукції зріс до $8,7 млрд – максимуму за п'ять років [1, 3].

Логістика стала триконтурною. Водний транспорт у 2025 р. забезпечив перевалку 76, млн т, з яких 67, млн т – порти Одеси. Морський коридор від запуску пропустив понад 16 млн т вантажів, зокрема близько 10 млн т агропродукції. Дунайські порти обробили понад 8, млн т і зберегли роль резервного маршруту. Морська частка експорту зерна, пшениці та сої зросла з 91 % у 2024 р. до 95 % у 2025 р., залізниця через західний кордон – приблизно до 5 %. Концентрація підвищує ефективність у «вікна безпеки», але робить грошовий потік заручником ударів по елеваторах, причалах і енергосистемі [4, 6].

Наслідки для капіталу є прямими. Накопичені збитки й утрати агросектору з 2022 р. оцінюються в $72–8 млрд, прямі пошкодження активів – $10,3–11, млрд; до 20 % угідь заміновані або недоступні. Підприємства утримують більший оборотний капітал (запаси, логістика, страхові премії) за обмеженого довгострокового кредиту. Власні кошти домінують у капіталовкладеннях. Водночас капітальні інвестиції в сільське, лісове та рибне господарство у 2025 р. сягнули 107, млрд грн (близько 12 % загальнодержавного обсягу); за оцінками KPMG, в АПК зафіксовано 10 M&A-угод вартістю понад $ млн кожна на суму близько $51 млн. Капітал є селективним: він іде в логістику, зберігання, енергонезалежність, розмінування та переробку, а не в розширення сировинного клину [2, 5, 7].

Таблиця 1 – Ключові індикатори агроекспорту, логістики та капіталу

Індикатор	2024	2025
Вартість агроекспорту	$24, млрд (59,3 % експорту)	$22,5 млрд (56,1 %; –8,8 %)
Фізичний агроекспорт	близько 70, млн т	близько 4 млн т
Частка ЄС у агроекспорті	понад 50 %	47,5 % ($10, млрд)
Морська частка зерна / олійних	близько 91 %	близько 95 %
Капітал і угоди в АПК	відновлення капвкладень	капінвестиції с/г 107, млрд грн; 10 M&A ≈ $51 млн

Джерело: складено за даними [1–4, 6, 7].

Підготовку бізнесу до тривалої війни доцільно будувати як трирівневу модель капіталу. Перший рівень – операційна ліквідність: запаси, передоплата логістики, страхування воєнних ризиків, гнучкі контракти FOB/CIF з опцією зміни порту. Другий – портфель стійкості: елеватори та сухі порти на заході й Дунаї, генерація енергії, глибока переробка (олія, шрот, борошно, біоетанол), що зменшує тоннаж і підвищує маржу. Третій – фінансування з розподілом ризику: «5–7–9 %», аграрні розписки, гарантії PCGF (на квітень 2026 р. – 344 учасники, портфель 660, млн грн), гранти Ukraine Facility. Попит у PCGF зміщений в оборотний капітал (частка інвестиційних кредитів 18,4 %), тому окремо потрібні «довгі» гроші під переробку й інфраструктуру [5, 8].

Стратегії просування слід синхронізувати з цією моделлю: географічна диверсифікація (Північна Африка, Близький Схід, Південно-Східна Азія, Туреччина); зсув від сирого зерна до продукції з вищою доданою вартістю; форварди, складські свідоцтва, електронні ТТН; відповідність стандартам ЄС після скасування автономних преференцій; експортні пули МСП для набору суднових партій. Логістичне

обмеження є фільтром інвестицій: капітал у переробку та резервні канали одночасно страхує грошовий потік і створює продукт, який легше продавати на турбулентних ринках.

Висновки. Агробізнес України функціонує як системоутворювальний експортний сектор за стискання логістичного й фінансового простору. Дані 2025 р. ($22,5 млрд, 56,1 % товарного експорту, частка ЄС 47,5 %, 95 % зернового потоку морем) фіксують нову норму: залежність від портів Великої Одеси за збереження Дунаю та Solidarity Lanes як страхового контуру. Управління капіталом має зміщуватися від максимізації площ до фінансування стійкості – переробки, зберігання, енергетики та змішаного фінансування. Стратегії просування ефективні лише тоді, коли спираються на цей зсув: інша географія, інша структура продукту, інша контрактна дисципліна.

Література

[1] Україна скоротила експорт агропродукції у 2025 році на $ млрд, частка ЄС впала нижче 50 % – УКАБ. Forbes Ukraine. 06.01.2026. URL: https://forbes.ua (дата звернення: 07.06.2026).

[2] Капінвестиції в Україні у 2025 р. зросли на 20,3 % – Держстат. Інтерфакс-Україна. 12.06.2026. URL: https://interfax.com.ua/news/economic/1176094.html (дата звернення: 17.06.2026).

[3] Зовнішня торгівля України товарами: підсумки 2025 року. НІСД. 2026. URL: https://niss.gov.ua (дата звернення: 13.07.2026).

[4] Ukraine grew logistics in 2025 despite damage – Kuleba. Transport Corridors. 14.01.2026. URL: https://www.transportcorridors.com (дата звернення: 02.08.2026).

[5] KPMG in Ukraine. Your business in Ukraine 2026. KPMG, 2026. URL: https://kpmg.com/ua (дата звернення: 13.08.2026).

[6] USDA AMS. Ukraine Grain Transportation Report, July 2026. USDA, 2026. URL: https://www.ams.usda.gov (дата звернення: 17.08.2026).

[7] Challenges of the agribusiness sector in 2025. We Build Ukraine Fund, 2025. URL: https://www.webuildukrainefund.org (дата звернення: 22.08.2026).

[8] World Bank. ISR Report: Partial Credit Guarantee Fund in Agriculture (P180242). 2026. URL: https://documents.worldbank.org (дата звернення: 22.08.2026).

UKRAINIAN AGRIBUSINESS UNDER PROLONGED WAR: CAPITAL MANAGEMENT AND STRATEGIES FOR PROMOTING PRODUCTS TO FOREIGN MARKETS UNDER LOGISTICAL CONSTRAINTS

Ivata Viacheslav V. V., Hermanchuk A.V., Drobot D.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper examines the interrelation between capital management of agricultural enterprises and strategies for promoting products to foreign markets under prolonged war and chronic logistical constraints. It is shown that the agri-food sector remains the main foreign-currency generator of the economy: in 2025, agricultural products accounted for 56.1 % of merchandise exports ($22.53 billion), despite an 8.8 % decline in the value of supplies. The reorientation of capital from a raw-material model toward deep processing, backup logistics and risk-sharing instruments (Ukraine Facility, PCGF) is substantiated as a condition for maintaining presence in turbulent foreign markets.

Keywords: agribusiness, capital management, investment attraction, logistical constraints, export strategies, foreign markets, wartime economy

УДК 339.138:339.13:339.9:004.62

ПЕРЕДУМОВИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ АНАЛІТИКИ BIG DATA В МІЖНАРОДНОМУ МАРКЕТИНГУ

Мандра О.Є.,
доктор філософії з економіки,
викладач кафедри економіки та цифрового бізнесу
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна,
olesia.mandra@nuos.edu.ua
Парсяк В.Н.,
доктор економічних наук, професор,
заступник голови правління Миколаївського обласного осередку
Спілки економістів України, м. Миколаїв, Україна,
volodymyr.parsyak@nuos.edu.ua

Анотація. Доповідь присвячена висвітленню проблем, з якими стикаються промислові підприємства (зокрема суднобудівні), що прихильно ставляться до втілення у життя концепції цифрового переходу, започаткованої в країнах Європейського Союзу. З недавнього часу вона набула популярності і в Україні. Водночас на шляху до реалізації цифрової трансформації виникає низка викликів, усвідомлення яких є важливою запорукою їх успішного подолання. Це повною мірою стосується царини міжнародного маркетингу. Його роль зростає разом із формуванням амбітних планів інтеграції вітчизняних товаровиробників у глобальні ланцюги створення вартості.

Ключові слова: економіка, промисловість, суднобудування, маркетинг, міжнародний маркетинг, цифровізація, великі дані, аналітика великих даних.

Результати досліджень свідчать, що запровадження аналітики Big Data в царині міжнародного маркетингу створює підґрунтя для:

Скорочення операційних витрат підприємств суднобудівної галузі;

прогнозування змін валютних курсів, що важливо з огляду на тривалість спорудження комерційних суден, а військових кораблів – й поготів;

врахування наслідків запровадження митних бар'єрів та регуляторних вимог (урядів, міжнародних організацій);

прогнозування собівартості інженерних споруд, яка залежить від перебігу подій на світових ринках матеріалів, енергії, суднового обладнання.

Водночас для ефективного впровадження аналітики Big Data необхідно забезпечити виконання низки передумов, а саме:

– доповнити структуру персоналу маркетингової, фінансової та інших служб підприємства фахівцями з аналітики даних. Вони мають розв'язувати такі завдання, як моделювання маржі, підготовка аналітичних аргументів під час перемовин та окреслення меж перегляду цін з огляду на накопичені та систематизовані дані;

– налагодити підтримку цифрового переходу з боку власників або керівників вищого рівня. Про її наявність свідчать: усвідомлення особливостей актуального ціноутворення на основі аналізу великих даних, чітке визначення відповідних цілей та регламентів (щодо того, хто володіє даними, хто має до них доступ, як дотримуватися вимог відповідності), налагодження контролю з боку призначеного очільника, який наділений належним бюджетом. Якщо корабельня має узгоджений план змін, налагоджену комунікаційну стратегію, програми актуалізації компетенцій персоналу та мотивації його креативних зусиль, підвищується ймовірність успішної реалізації проєктів цифрової трансформації;

– подолати опір реформам з боку співробітників, які вбачають у них загрозу своїй поточній позиції у штаті або відрізняються ретроградним мисленням. Перед першими треба відкрити перспективи оновлення знань та вмінь, набутих раніше. Щодо других, то їм краще знайти інше місце роботи;

– створити платформи для візуалізації великих обсягів інформації, зібраних з різних джерел, накопичених, структурованих та проаналізованих. Як наслідок, менеджмент отримує їх у формі звітів, графіків, панелей моніторингу, придатних для знаходження та нейтралізації «слабких ланок»;

– консолідувати ERP- та CRM-систем, створюючи у такий спосіб єдиний інформаційний простір для всіх співробітників підприємства, налагоджуючи взаємодію підрозділів, уникаючи дублювання процедур введення інформації в кожну з них окремо. Тим більше, що для цього наразі представлені програмні рішення;

– зарезервувати потужності для обробки великих масивів інформації (серверів, швидкісних мережевих з'єднань, хмарної інфраструктури, програмних засобів);

– опанувати інструменти забезпечення кібернетичної безпеки, які спроможні протистояти кібератакам. А вони, маємо визнати, стають дедалі складнішими й інтенсивнішими.

Під час підготовки доповіді автори використовували розвідки науковців лабораторії «Дослідження економічних трансформацій» кафедри економіки та цифрового бізнесу НУК [1-4].

Висновок. Цифровізація бізнес-процесів в українському суднобудуванні є ключовою стратегією його відновлення після завершення війни. Вона – ключова передумова налагодження співпраці з європейськими та світовими гравцями ринку. Це однаково стосується маркетингу та всіх його інструментів: товару, просування, стимулювання збуту й ціноутворення. Аналітика великих даних створює нові можливості для підвищення ефективності діяльності підприємств, удосконалення процесів управління та обґрунтування управлінських рішень. Усе це разом – запорука високої конкурентоспроможності українських верфей. Треба лише подбати про виконання низки важливих умов.

Література

[1]. Жукова О.Ю., Полєтаєв Д.О. Аналітика великих даних у суднобудуванні: економічний зміст та послідовність процесу. *Управління змінами та інновації*. Випуск 14. 2025. С . 14–18 DOI: https://doi.org/10.32782/CMI/2025-14-2

[2]. Жукова О.Ю. Вплив глобалізаційних процесів у світовій економіці на промислову діяльність. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. № 4. С. 463-470. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.63

[3]. Полєтаєв Д.О. Економічна роль великих даних в контексті тотального цифрового переходу корабелень. *Проблеми системного підходу в економіці*. Випуск 1 (91). 2025. С. 29-34. DOI: https://doi.org/10.32782/2520-2200/2025-1-4

[4]. Мандра О.Є., Парсяк В.Н. Аналітика великих даних як інструмент обґрунтування цінової стратегії в міжнародному маркетингу. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Економічні науки»*. 2026. Випуск 2 (120). С. 258-264 DOI: https://doi.org/10.37734/2409-6873-2026-2-33.

PREREQUISITES FOR THE IMPLEMENTATION OF BIG DATA ANALYTICS IN INTERNATIONAL MARKETING

Mandra O.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Parsyak V.
Mykolaiv Regional Branch of the Union of Economists of Ukraine

Abstract. The study is devoted to the analysis of challenges faced by industrial enterprises, particularly shipbuilding companies, that support the implementation of the digital transformation concept initiated in the countries of the European Union. In recent years, this concept has also gained increasing attention in Ukraine. At the same time, the process of digital transformation is associated with a number of challenges, the understanding of which is essential for their successful mitigation. This fully applies to the field of international marketing. Its importance is growing in *parallel* with the development of ambitious plans aimed at integrating domestic manufacturers into global value chains.

Keywords: economy, industry, shipbuilding, marketing, international marketing, digitalization, big data, big data analytics.

УДК 338.24:338.012(26)

СТРАТЕГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ РОЗВИТКУ МОРЕГОСПОДАРСЬКОГО КОМПЛЕКСУ: НОВІ ВИКЛИКИ І РІШЕННЯ

Рогов Г.К.,
доктор економічних наук, професор,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
georgii.rogov@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі викладено результати порівняльного аналізу стратегічних правових актів України та Європейського Союзу у царині управління розвитком морського господарського комплексу та прибережних територій. Визначено, що стратегічному плануванню в Україні, на відміну від ЄС, не притаманне системне бачення трансформації існуючої незбалансованої бізнес-моделі. Зроблено висновок щодо необхідності застосування нового комплексного концептуального підходу, побудованого на засадах сталого розвитку.

Ключові слова: стратегія; сталий розвиток; морська індустрія; прибережні території; методи фінансування.

Вступна частина. Морегосподарський комплекс як територіальне поєднання об'єктів морської індустрії доводить свою стійкість навіть під час повномасштабної збройної російської агресії. Разом з тим, цілком очевидними стають нові виклики, такі як зростаюча конкуренція на міжнародних ринках і посилення вимог до підвищення екологічних і соціальних стандартів. За таких умов, актуальності набуває задача інтеграції принципів сталого розвитку в систему стратегічного планування.

Метою роботи є визначення напрямів удосконалення стратегічного планування збалансованого розвитку морегосподарського комплексу України в економічному, соціальному та екологічному вимірах. Методом дослідження є компаративний системний аналіз стратегічних правових актів України та Європейського Союзу, які встановлюють пріоритети, цілі й завдання сталого розвитку морського господарського комплексу та прибережних територій.

Основна частина. Промислова морська стратегія ЄС [1] побудована на концепції сталого розвитку. Вона націлює на досягнення нульових викидів парникових газів у міжнародному судноплавстві до 2050 року, зменшення забруднення морів, здійснення цифрової та циркулярної трансформації суднобудівних заводів. Стратегією передбачається стимулювання попиту на чисте паливо, електричні та вітрові двигуни, морські відновлювані джерела енергії, технології уловлювання та зберігання вуглецю. Документ наголошує на необхідності комплексної реалізації програм декарбонізації, цифровізації та автоматизації з метою забезпечення синергетичного ефекту. Варто підкреслити, що стратегічні завдання мають чітку прив'язку до джерел фінансування.

Портова стратегія Європейського Союзу [2] визначає об'єкти й суб'єкти управління, окреслює системні взаємозв'язки, висвітлює основні ринкові тенденції та очікувані зміни у публічному регулюванні. Вона враховує багатоаспектність проблем збалансованого розвитку. Ця особливість методологічного підходу створює передумови для розробки реалістичних програм їх розв'язання.

Наприклад, замість традиційної цільової установки на зменшення забруднення довкілля, формулюється мета підвищення екологічних стандартів за одночасного підтримання конкурентоспроможності суб'єктів господарювання. Задля її досягнення наводяться ініціативи Єврокомісії, спрямовані на зменшення податкового навантаження, а також ключові завдання щодо декарбонізації морських перевезень, розробки та упровадження блакитних технологій і бізнес-моделей циркулярної економіки. Значна увага приділяється ресурсному забезпеченню екологічних проєктів. Йдеться про фінансування через механізми *CEF 3* і транссередземноморського співробітництва у сфері відновлюваної енергії, використання доходів від торгівлі квотами на викиди парникових газів у системі *EU ETS,* одержання коштів від Європейського фонду конкурентоспроможності (*ECF*) тощо.

Сучасне бачення сталого розвитку морегосподарського комплексу знайшло свій відбиток у низці чинних стратегічних правових актів України, а саме Морській доктрині [3], Основних засадах державної екологічної політики [4], а також таких стратегіях, як національна економічна [5], морська природоохоронна [6], водна [7] та розвитку морських портів [8]. У Морській доктрині України на період до 2035 року сформульовані основні принципи збалансованого розвитку, але за своєю суттю вона є документом, який лише визначає концептуальні орієнтири та окреслює шляхи їх досягнення. Що стосується інших зазначених стратегічних правових актів, то як показує дослідження, їм бракує системного бачення трансформації існуючої незбалансованої бізнес-моделі. Цілі й завдання щодо запровадження сучасних енергозберігаючих технологій, зменшення забруднення водних об'єктів і прибережних територій,

сформульовані у занадто неконкретній формі та переважно не мають надійних джерел фінансування. Не визначені канали комунікацій між суб'єктами морського кластера, розробниками технологій та інвесторами. Це значно знижує ефективність стратегічного управління.

Очевидні переваги концепції управління морською галуззю, яку покладено в основу морської та портової стратегій Європейського Союзу, диктують доцільність запозичення досвіду ЄС у цій сфері для повоєнного відновлення морської індустрії та прибережних територій.

Висновок. Стратегічне планування морегосподарського комплексу потребує нового концептуального підходу, побудованого на засадах сталого розвитку, системності та комплексності, який ураховує етапи проведення економічних реформ, міжгалузеві зв'язки, вплив діяльності підприємств морської індустрії на екосистему прибережних територій та реалістичні механізми фінансування. З огляду на євроінтеграційні процеси, перспективним напрямком подальших наукових розвідок є дослідження трансформації управління морським господарським комплексом в умовах адаптації українського законодавства до екологічних і соціальних стандартів ЄС.

Література

[1]. European Commission. (2026, March 4). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the EU Industrial Maritime Strategy (COM(2026) 111 final). EUR-Lex. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52026DC0111

[2]. European Commission. (2026). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: EU Ports Strategy (SWD (2026) 81 final). Publications Office of the European Union. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52026SC0081

[3]. Кабінет Міністрів України. (2009, 7 жовтня). Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року (Постанова № 1307). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF

[4]. Верховна Рада України. (2019, 28 лютого). *Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року* (Закон № 2697-VIII). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text.

[5]. Кабінет Міністрів України. (2021, 3 березня). *Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року* (Постанова № 179). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text.

[6]. Кабінет Міністрів України. (2021, 11 жовтня). Про схвалення Морської природоохоронної стратегії України (Розпорядження № 1240-р). URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1240-2021-р

[7]. Кабінет Міністрів України. (2022, 9 грудня). *Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року* (Розпорядження № 1134-р). База даних «Законодавство України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1134-2022-%D1%80.

[8]. Кабінет Міністрів України. (2013, 11 липня). Про затвердження Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року (Розпорядження № 548-р). [База даних «Законодавство України»]. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/548-2013-%D1%80

STRATEGIC PLANNING FOR THE MARITIME COMPLEX'S DEVELOPMENT: NEW CHALLENGES AND SOLUTIONS

Rohov Heorhiy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper presents the results of a comparative analysis of strategic legal acts of Ukraine and the European Union in managing the development of the maritime economic complex and coastal areas. The analysis reveals that strategic planning in Ukraine, unlike in the EU, lacks a cohesive vision for transforming the existing imbalanced business model. It concludes that a new, comprehensive conceptual approach based on sustainable development principles is needed.

Keywords: strategy; sustainability; maritime industry; coastal areas; financing methods.

УДК 338.47:658

ТРАНСФОРМАЦІЙНІ ВИКЛИКИ ЛОГІСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

Мігай Н.Б.,
кандидат економічних наук, доцент
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
natalia.mihai@nuos.edu.ua

У статті досліджено трансформацію та адаптацію логістичної діяльності підприємств в умовах війни та цифрової економіки. Проаналізовано ключові виклики галузі, зокрема зростання безпекових ризиків, здорожчання страхування та необхідність інтеграції з європейськими нормативними стандартами. Обґрунтовано роль штучного інтелекту, диверсифікації експортних шляхів та мультимодальних маршрутів у підвищенні гнучкості й безперебійності ланцюгів постачання. Зроблено висновок, що головною запорукою стійкості сучасної логістики є висока адаптивність, поєднана з інноваційними технологіями та ефективним ризик-менеджментом.

Ключові слова: логістична діяльність, ланцюги постачання, трансформація, управління ризиками, адаптивність

Вступ. Сучасний розвиток економіки супроводжується посиленням глобалізації, динамічністю ринку, зміною ланцюгів постачання та високим рівнем невизначеності. У таких умовах логістика стає однією з найуразливіших сфер бізнесу, адже будь-які зрушення в русі матеріальних, фінансових чи інформаційних потоків загрожують суттєвими збитками та дестабілізацією всієї системи.

Мета роботи – дослідити особливості трансформації логістичної діяльності підприємств в умовах війни та цифровізації, обґрунтувати шляхи підвищення її стійкості через впровадження інноваційних технологій, диверсифікацію маршрутів і ризик-орієнтоване управління.

Особливої уваги потребують виклики, зумовлені цифровізацією логістики. Якщо впровадження цифрових платформ, автоматизованих систем і технологій штучного інтелекту суттєво підвищує ефективність бізнес-процесів, то зворотним боком стає критична залежність підприємств від IT-інфраструктури, що генерує високі кіберризики, загрозу втрати даних і технічних збоїв. При цьому цифровізація стає критичним фактором виживання та розвитку логістичної системи в умовах війни, коли зростання вимог до швидкості й прозорості операцій вимагає миттєвої перебудови традиційних ланцюгів постачання. Інтеграція новітніх інформаційних технологій дозволяє автоматизувати управління, оптимізувати транспортні потоки та сформувати єдине цифрове середовище для швидкого прийняття рішень, перетворюючи цифрові інструменти на головний важіль адаптації та кардинальної трансформації логістичної діяльності. Одним із головних інструментів ефективного ризик-менеджменту є впровадження цифрових платформ управління бізнес-процесами, які гарантують прозорість інформаційних потоків, автоматизують операції та забезпечують миттєву реакцію на зовнішні зміни. У 2026 році технології штучного інтелекту вийшли за межі звичайного прогнозування попиту та базової оптимізації маршрутів. Сьогодні ШІ здатен автономно перенаправляти транспортні потоки, обирати оптимальні альтернативні шляхи, керувати складськими залишками та коригувати графіки постачань у режимі реального часу. При цьому цифровий розвиток має гармонійно поєднуватися з принципами сталості, враховуючи екологічні, соціальні та економічні виклики функціонування логістичних систем.

Трансформація логістичної діяльності бізнесу в умовах війни вимагає екстреної адаптації підприємств до екстремальних викликів: від оновлення інфраструктури та кіберзахисту ланцюгів постачання до прискореного навчання персоналу й перебудови управлінських структур. Втрата традиційних маршрутів, загрози безпеці даних і динамічні зміни міжнародного ринку роблять глибокий аналіз механізмів цифрової логістики критично необхідним для забезпечення стійкості, безперебійності та розвитку підприємств під час воєнного стану. Сьогодні логістика перетворилася з допоміжної функції транспортування та складування на головний стратегічний інструмент виживання та конкурентоспроможності бізнесу. Втрата традиційних маршрутів і постійні безпекові ризики змушують підприємства критично оптимізувати витрати, скорочувати час митного оформлення та створювати максимально гнучкі ланцюги постачання, адже саме здатність оперативно реагувати на критичні зміни й забезпечувати безперебійну доставку на міжнародні ринки визначає життєздатність компанії під час воєнного стану.

Ключовими викликами на даний час фахівці вважають: геополітичну та регуляторну нестабільність, адже ризики й раптові зміни правил гри здатні миттєво перенаправляти маршрути, переглядати тарифні ставки та блокувати доступ до інфраструктури; інфраструктурний дефіцит – наявні склади, термінали та залізничні вузли на альтернативних коридорах не перекривають зростаючий попит, до того ж додаються

ризики щоденних руйнувань логістичної інфраструктури в середині країни; тиск на маржинальність – вимога клієнтів зберігати мирний рівень сервісу в умовах суттєвого зростання витрат і ризиків; дефіцит нової кадрової формації – критична потреба у фахівцях, здатних мислити сценаріями, оцінювати ризики та прораховувати фінансові наслідки.

Серед найбільш ефективних рішень логістичної діяльності виділяють:

– мультимодальність та адаптивність – побудова маршрутів з можливістю оперативного перемикання між різними портами, країнами й видами транспорту. Гнучкість потребує не лише технічної інтеграції, а й побудови партнерств нового формату – із відкритими API, високим рівнем довіри та миттєвим узгодженням умов. Перевагу отримують компанії, які сприймають логістику як живий організм, здатний адаптуватися до ринкових трансформацій завдяки ключовим плюсам такого підходу: оперативна мультимодальність – швидка зміна видів транспорту залежно від обставин, незалежність – зниження ризиків завдяки відмові від монополії одного перевізника, наскрізна оптимізація – ефективне управління витратами на кожному ланцюжку доставки, антикризова стійкість – висока адаптивність у форс-мажорних ситуаціях, раціональне використання ресурсів – максимальна ефективність наявних потужностей.

– регіоналізація та наближення до клієнта – активне використання сухих портів, прикордонних хабів та складів тимчасового зберігання. Бізнес дедалі активніше переносить складські потужності ближче до кінцевих споживачів, створюючи міські мікрофулфілмент-центри для скорочення термінів доставки з кількох днів до годин. Цей тренд на регіоналізацію виробництва та логістики, особливо відчутний у Європі, виник як пряма відповідь на кризу довгих ланцюгів постачання, спричинену пандеміями та військовими конфліктами [2]. Перехід до такої моделі забезпечує підприємствам низку переваг: мінімізація ризиків – суттєве зменшення вразливості перед глобальними збоями, скорочення витрат – оптимізація паливних та транспортних видатків, підвищення стійкості – трансформація єдиної централізованої системи в гнучку та адаптивну мікромережу;

– диверсифікація перевізників – комбінування морських ліній із альтернативними сервісами для уникнення залежності від одного глобального оператора. Головною запорукою стійкості сьогодні є диверсифікація та повний контроль над ланцюгом постачання, а не покладання на єдиний маршрут. Розподіляючи вантажопотоки, варто брати до уваги локальні ризики, на які орієнтуються й самі імпортери. Окремої уваги потребують тарифи та страхування, яке стрімко подорожчало – вартість страхових послуг зросла з 1 % до 3,5 % і продовжує підвищуватися [1].

При цьому необхідно зазначити, що за роки повномасштабної війни український бізнес адаптувався, альтернативні експортні шляхи пройшли випробування реальністю: якщо у 2022 році обсяги пропуску через Дунай та західний кордон лише оцінювалися, то зараз ці показники чітко розраховані. Пропускна спроможність залізниці через західні кордони з 2023 року стабільно тримається на позначці близько 1, млн т. на місяць, автотранспорт додає ще орієнтовно 600 тис. т., а дунайські порти здатні щомісяця перевалювати до 2, млн т. вантажів. Навіть за умов цілковитого блокування морського коридору Україна володіє перевіреною на практиці альтернативною експортною мережею, яка здатна пропускати орієнтовно 4, млн т. вантажів щомісяця [3]. У 2026 році вітчизняний ринок логістики перебуває у стані безперервної адаптації. Спостерігається зростання внутрішніх перевезень, складські потужності працюють на межі заповненості, а міжнародний сегмент активно переформатовується під нові нормативні вимоги Євросоюзу. Компанії, які завчасно інтегрують у свої процедури нові експортні стандарти (зокрема документообіг за вимогами AES/ECS2 PLUS) та враховують механізм вуглецевого коригування (CBAM) у фінансових розрахунках, отримують суттєву конкурентну перевагу. Натомість зволікання з адаптацією загрожує штрафними санкціями та вимушеними простоями після повноцінного запуску нових правил.

Висновок. У сучасних умовах трансформацій логістичної діяльності галузі головну перевагу здобувають не наймасштабніші, а найадаптивніші компанії. Переможцями ринку стають ті, хто здатен ефективно поєднати у своїй діяльності прозорість процесів, штучний інтелект, екологічні стандарти, локалізацію потужностей та системний розвиток людського капіталу.

Література

[1] Линник П., Гузь В. Виклики, ризики та тренди логістики у 2026 році. Бліц-інтерв'ю з Global Ocean link https://usm.media/gol-about-logistics-2026/

[2] Логістика України 2026: тенденції, проблеми, перспективи https://www.marketing-ua.com/article/logistika-ukrayini-2026-tendentsiyi-problemi-perspektivi/

[3] Чи повертається 2022 рік? Чому нинішня логістична криза може розвиватися зовсім за іншим сценарієм https://latifundist.com/blog/read/3209-chi-povertayetsya-2022-rik-chomu-ninishnya-logistichna-kriza-mozhe-rozvivatisya-zovsim-za-inshim-stsenariyem

TRANSFORMATIONAL CHALLENGES OF LOGISTICS ACTIVITIES IN CONDITIONS OF WAR

Mihai Natalia Borysivna
Pervomaisk Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article investigates the transformation and adaptation of logistics activities of enterprises under conditions of war and the digital economy. Key challenges of the industry are analyzed, including growing security risks, increasing insurance costs, and the need for integration with European regulatory standards. The role of artificial intelligence, diversification of export routes, and multimodal supply chains in enhancing flexibility and continuity is substantiated. It is concluded that the main key to the resilience of modern logistics is high adaptability, combined with innovative technologies and effective risk management.

Keywords: logistics activities, supply chains, transformation, risk management, adaptability.

УДК 005.332

ІНСТИТУЦІЙНИЙ DOUBLE BIND ЯК ДЖЕРЕЛО ОРГАНІЗАЦІЙНОГО ТЕРТЯ

Рогов В.Г.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри економіки та цифрового бізнесу
Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
viacheslav1988rogov@gmail.com

Анотація. Досліджено інституційний подвійний зв'язок (double bind) як системне джерело організаційного тертя в управлінні людським капіталом. Обґрунтовано, що суперечливі інституційні сигнали формують середовище, в якому економічно раціональною стає адаптивна поведінка уникнення ризику. Виявлено причинно-наслідковий механізм, за якого суперечливість інституційних вимог породжує невизначеність стимулів, яка веде до зростання бюрократичних процедур, інформаційних викривлень, асиметрії між рівнями управління та зниження швидкості прийняття рішень. Доведено, що традиційні HR-інструменти мають обмежений ефект за умови збереження суперечливої інституційної архітектури.

Ключові слова: double bind, організаційне тертя, управління людським капіталом, інституційна архітектура, інформаційна асиметрія, транзакційні витрати, суб'єктність працівника

Сучасні організації декларують необхідність розвитку ініціативності, автономії, інноваційності та відповідальності працівників. Водночас фактична система управління нерідко містить суперечливі інституційні сигнали: працівнику пропонується проявляти ініціативу, але помилки караються; менеджеру делегуються повноваження, але основні рішення постійно переглядаються керівництвом; декларується відкритість комунікації, але незгода з позицією керівника має негативні наслідки. Така ситуація може бути концептуалізована через категорію double bind – подвійного зв'язку, за якого учасник організаційної взаємодії одночасно отримує взаємовиключні вимоги, виконання однієї з яких створює ризик порушення іншої [1].

У межах економіки організацій double bind доцільно розглядати не лише як психологічну проблему, а як інституційний механізм формування організаційного тертя. Працівник, стикаючись із суперечливими стимулами, здійснює раціональну адаптацію своєї поведінки. Якщо потенційна винагорода за ініціативу є невизначеною, а санкція за помилку – високою та передбачуваною, економічно раціональною стає поведінка уникнення ризику. Вона проявляється у зростанні кількості погоджень, бюрократичних процедур, дублюванні комунікацій, перенесенні відповідальності на вищі рівні управління та зниженні швидкості прийняття рішень.

Таким чином, організаційне тертя можна трактувати як сукупність додаткових часових, інформаційних та координаційних витрат, що виникають унаслідок невідповідності між формальними правилами, реальними стимулами та поведінкою учасників організації.

Особливо важливим є те, що double bind змінює не лише індивідуальну поведінку, а й інформаційні потоки підприємства. Якщо працівники розуміють, що повідомлення про проблему може мати негативні наслідки, виникає стимул приховувати негативну інформацію. У результаті управлінський центр отримує не реальний стан організації, а його відфільтровану версію. Формується інформаційна асиметрія між рівнями управління, яка знижує якість управлінських рішень.

Подібний механізм можна представити як причинно-наслідковий ланцюг:

суперечливі інституційні вимоги → невизначеність стимулів → адаптивна поведінка → інформаційні викривлення → зростання організаційного тертя → зниження інноваційної та управлінської ефективності.

Особливого значення ця проблема набуває в управлінні людським капіталом, який не може повністю реалізувати свою економічну цінність у системі, де формально декларується суб'єктність працівника, але інституційно підтримується модель виконавця. Працівник може володіти знаннями, компетентностями та інноваційним потенціалом, проте якщо організаційна система не забезпечує йому права на рішення, помилку, незгоду та ініціативу, відповідний потенціал залишається економічно нереалізованим.

У цьому контексті пропонується розглядати суб'єктність людського капіталу як здатність працівника самостійно інтерпретувати інформацію, приймати рішення, нести відповідальність за їхні наслідки, висловлювати незгоду та ініціювати зміни в межах визначених інституційних правил.

Відповідно, інституційна ефективність організації залежить не тільки від якості формальних процедур, а й від того, наскільки ці процедури узгоджені із системою стимулів. Якщо організація одночасно вимагає автономії та забороняє автономні рішення, інноваційності та карає експерименти, відкритості та санкціонує незгоду, виникає системний double bind.

Науково-практична проблема полягає тому, що традиційні HR-підходи часто намагаються компенсувати такі суперечності розвитком мотивації, корпоративної культури або проведенням тренінгів. Проте за умови збереження суперечливої інституційної архітектури такі заходи мають обмежений ефект. Якщо організація хоче отримати іншу поведінку, вона повинна змінювати не лише поведінку працівника, а правила, стимули та інформаційні умови, які цю поведінку породжують.

У цьому сенсі подолання double bind передбачає перехід від управління поведінкою до проєктування інституційної архітектури. Основними механізмами такого переходу можуть бути узгодження KPI, чітке визначення зон автономії, диференціація допустимих і критичних помилок, інституціоналізація права на конструктивну незгоду, прозорість процедур прийняття рішень та забезпечення безпечних каналів передачі негативної інформації.

Отже, double bind доцільно розглядати як один із механізмів, через які інституційна архітектура підприємства перетворює людський капітал із джерела інновацій та управлінської суб'єктності на пасивного виконавця. Його економічний ефект проявляється у зростанні транзакційних витрат, інформаційної асиметрії, бюрократизації та втраті інноваційного потенціалу.

Висновок. Інституційна проблема сучасного підприємства полягає не лише в недостатній мотивації працівників, а й у суперечливості правил, які визначають межі їхньої поведінки. Double bind формує середовище, у якому раціональна адаптація працівника може бути економічно нераціональною для організації. Тому одним із напрямів розвитку сучасного HR-менеджменту має стати виявлення та усунення інституційних суперечностей, які блокують суб'єктність людського капіталу. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення кількісних методів діагностики такого організаційного тертя на основі даних про поведінку, комунікації та процеси прийняття рішень.

Література

[1] Julmi C. More than just a special case: The value of double bind theory for bringing light into the dark side of organizational paradoxes. Scandinavian Journal of Management. 2022. Vol. 38 (2). №. 101198.

INSTITUTIONAL DOUBLE BIND AS A SOURCE OF ORGANIZATIONAL FRICTION

Viacheslav Rogov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The study examines the institutional double bind as a systemic source of organizational friction in human capital management. It is substantiated that contradictory institutional signals create an environment where adaptive risk-avoidance behavior becomes economically rational. A causal mechanism is identified whereby the contradiction of institutional requirements generates incentive uncertainty, leading to an increase in bureaucratic procedures, information distortions, asymmetry between management levels, and a decrease in decision-making speed. It is proven that traditional HR tools have a limited effect provided that a contradictory institutional architecture remains in place.

Keywords: double bind, organizational friction, human capital management, institutional architecture, information asymmetry, transaction costs, employee agency.

УДК 005.332

ОЦІНЮВАННЯ ІНСТИТУЦІЙНОГО DOUBLE BIND

Рогов В.Г.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри економіки та цифрового бізнесу
Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
viacheslav1988rogov@gmail.com

Анотація. Обґрунтовано підхід до операціоналізації та кількісної діагностики інституційного подвійного зв'язку (double bind) в управлінні людським капіталом. Запропоновано комплексну аналітичну модель, що інтегрує People Analytics, Organizational Network Analysis (ONA) та Behavioral Analytics для виявлення прихованих інституційних суперечностей. Модель охоплює чотири послідовні етапи: виявлення суперечності між формальними вимогами та фактичною поведінкою; визначення поведінкової адаптації працівників; оцінювання змін інформаційних потоків; визначення економічних наслідків організаційного тертя.

Ключові слова: інституційний подвійний зв'язок, організаційне тертя, People Analytics, Organizational Network Analysis, Behavioral Analytics, управління людським капіталом, інституційна архітектура.

Однією з основних проблем сучасного управління людським капіталом є складність виявлення прихованих суперечностей між формальними управлінськими правилами та реальною поведінкою працівників. Організація може декларувати автономію, відкритість, інноваційність та психологічну безпеку, однак фактичні поведінкові патерни можуть свідчити про протилежне. Працівники уникають прийняття рішень, не повідомляють про проблеми, погоджують навіть незначні питання та переміщують комунікацію з формальних каналів у неформальні.

Одним із пояснень таких явищ є інституційний double bind [1], за якого учасник організації отримує взаємовиключні сигнали щодо бажаної поведінки. Для виявлення таких суперечностей традиційних опитувань працівників недостатньо, оскільки респонденти можуть не усвідомлювати системного характеру проблеми або не бути готовими відкрито повідомляти про неї. Тому перспективним є застосування комплексної системи People Analytics, Organizational Network Analysis (ONA) та Behavioral Analytics.

People Analytics дозволяє пов'язувати кадрові, організаційні та поведінкові показники й виявляти закономірності між управлінськими практиками та результатами діяльності. Для діагностики double bind особливе значення можуть мати показники швидкості прийняття рішень, кількості погоджень, частоти ескалацій, плинності персоналу, залученості, кількості запропонованих інновацій та частоти повідомлення про проблеми.

ONA доповнює цей підхід аналізом реальних мереж взаємодії. Формальна організаційна структура не завжди відображає фактичні потоки знань. У системі з високим рівнем інституційного тертя працівники можуть обходити формальні канали, концентрувати комунікацію навколо окремих керівників або формувати неформальні інформаційні «острови». Це може бути сигналом надмірної централізації, дефіциту довіри або невідповідності між формальною та реальною структурою прийняття рішень.

Behavioral Analytics, своєю чергою, дозволяє аналізувати зміни поведінкових патернів у часі. Наприклад, зниження кількості пропозицій щодо вдосконалення процесів після зміни керівника або введення санкцій за помилки може бути непрямим індикатором того, що організаційна система створила несприятливі стимули для ініціативності.

На цій основі пропонується концептуальна модель аналітичної діагностики double bind, яка охоплює чотири послідовні етапи: виявлення суперечності між формальними вимогами та фактичною поведінкою; визначення поведінкової адаптації працівників; оцінювання змін інформаційних потоків; визначення економічних наслідків організаційного тертя.

Для практичної діагностики доцільно використати систему індикаторів. Зокрема, Індекс бюрократичного тертя (BTI) визначається через нормовані показники часу погодження, кількості ітерацій та кількості рівнів прийняття рішення.

Індекс автономності (AI) визначає питому вагу управлінських рішень, що приймаються суб'єктом у межах делегованих повноважень без потреби в їх погодженні на вищих рівнях ієрархії.

Індекс інформаційної відкритості (IOI) враховує частку проблем та негативних сигналів, які безпосередньо надходять до відповідального рівня управління.

Індекс інноваційної суб'єктності (ISI) відображає співвідношення між кількістю ініціатив працівників, їх реалізацією та фактичною відповідальністю авторів за результат.

Індекс суперечливості стимулів (ICI) використовується для оцінювання ситуацій, у яких одночасно встановлюються KPI, що створюють взаємно конфліктні поведінкові стимули.

Зведений показник інституційного double bind може бути представлений як функція:

$$DBI = f(ICI, BTI, AI^{-1}, IOI^{-1}, ISI^{-1}),$$

де зростання суперечливості стимулів і бюрократичного тертя, а також зниження автономності, інформаційної відкритості та інноваційної суб'єктності свідчать про посилення інституційного double bind.

Важливо, що така модель не повинна використовуватися для індивідуального контролю працівників. Її призначення полягає в аналізі системних патернів, а не у покаранні окремих людей. У цьому полягає принципова відмінність між People Analytics як інструментом інституційного розвитку та People Analytics як системою цифрового нагляду.

Інтеграція трьох аналітичних підходів (People Analytics, ONA, Behavioral Analytics) дозволяє перейти від питання «чому працівники не проявляють ініціативу?» до значно продуктивнішого питання: «які інституційні стимули змушують раціонального працівника уникати ініціативи?» Це змінює саму роль HR у стратегічному управлінні. HR-аналітика стає не лише інструментом прогнозування плинності персоналу чи оцінювання залученості, а механізмом діагностики економічної архітектури людського капіталу [2]. Дані дозволяють виявити, де формальні правила суперечать реальним стимулам, де інформація блокується, де виникає надмірна концентрація управлінських рішень та де організація втрачає здатність використовувати знання власних працівників.

У перспективі така система може бути інтегрована до моделі IEHR (Institutional Engineering for Human Resilience), у якій People Analytics, ONA та Behavioral Analytics виконують функцію зворотного зв'язку між поведінкою людського капіталу та інституційною архітектурою підприємства. Це дозволяє розглядати організацію як динамічну систему, у якій зміна правил та стимулів повинна відображатися у зміні поведінкових та мережевих характеристик.

Висновок. Інституційний double bind може бути не лише концептуально описаний, а й операціоналізований через систему кількісних індикаторів. Поєднання People Analytics, ONA та Behavioral Analytics створює можливість виявляти приховані суперечності між декларованою культурою та реальною поведінкою організації. Такий підхід переводить дослідження організаційного страху, мовчання, бюрократизації та втрати ініціативності з рівня загальних психологічних характеристик на рівень вимірюваної інституційної ефективності. Перспективним напрямом подальшого дослідження є побудова економіко-математичної моделі залежності між рівнем інституційного double bind, транзакційними витратами та результативністю людського капіталу.

Література

[1] Julmi C. More than just a special case: The value of double bind theory for bringing light into the dark side of organizational paradoxes. Scandinavian Journal of Management. 2022. Vol. 38 (2). №. 101198.

[2] Рогов В. Г. HR-аналітика як драйвер оптимізації людського капіталу в умовах індустрії 5.0. Зб. наук. пр. НУК. 2025. № 2 (500). С. 316–325.

EVALUATION OF INSTITUTIONAL DOUBLE BIND

Viacheslav Rogov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An approach to operationalizing and quantitatively diagnosing the institutional double bind in human capital management is substantiated. A comprehensive analytical model integrating People Analytics, Organizational Network Analysis (ONA), and Behavioral Analytics is proposed for identifying hidden institutional contradictions. The model encompasses four sequential stages: identifying contradictions between formal requirements and actual behavior; determining employees' behavioral adaptation; assessing changes in information flows; and evaluating the economic consequences of organizational friction.

Keywords: institutional double bind, organizational friction, People Analytics, Organizational Network Analysis, Behavioral Analytics, human capital management, institutional architecture.

УДК 005.336

ІНСТИТУЦІЙНА АРХІТЕКТУРА ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ

Рогов В.Г.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри економіки та цифрового бізнесу
Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
viacheslav1988rogov@gmail.com

Анотація. Концептуалізовано категорію «інституційна архітектура людського капіталу» як інтегральну систему формальних правил, реальних стимулів, інформаційних каналів та неформальних норм, що визначають умови реалізації економічного потенціалу працівників. Доведено, що розбалансованість між цими рівнями породжує інституційний подвійний зв'язок, наслідками якого є зростання транзакційних витрат, інформаційна асиметрія та втрата інноваційної активності. Обґрунтовано необхідність зміни управлінської парадигми: переходу від прямого контролю за поведінкою до цілеспрямованого проєктування організаційного середовища, яке мінімізує організаційне тертя та забезпечує працівникам простір для автономних рішень і суб'єктності.

Ключові слова: інституційна архітектура, людський капітал, суб'єктність працівника, транзакційні витрати, інституційний подвійний зв'язок, організаційне тертя.

Поняття архітектури людського капіталу описує сукупність інституційних правил, організаційних механізмів, інформаційних каналів, стимульних структур та управлінських практик, які визначають умови формування, накопичення, використання та розвитку економічного потенціалу працівників у межах конкретної організації. На відміну від традиційного розуміння людського капіталу як набору знань, навичок та компетентностей, якими володіє індивід, архітектурний підхід [1] акцентує увагу не на самому носії потенціалу, а на системі умов, які або дозволяють цьому потенціалу реалізуватися, або блокують його економічну віддачу.

Архітектура людського капіталу охоплює кілька взаємопов'язаних рівнів. Перший рівень становить формальна інституційна структура, яка охоплює посадові інструкції, регламенти, процедури прийняття рішень, системи оцінювання та винагородження, правила кар'єрного просування та формальні вимоги до компетенцій. Цей рівень є найбільш видимим та задокументованим, він фіксує декларовані очікування організації щодо поведінки працівників.

Другий рівень включає реальну систему стимулів, яка може суттєво відрізнятися від формальної. На цьому рівні визначається, які дії працівника фактично винагороджуються, а які караються, незалежно від того, що записано у внутрішніх документах.

Третій рівень охоплює інформаційну архітектуру, тобто канали, через які інформація рухається всередині організації, ступінь її прозорості, наявність або відсутність зворотного зв'язку, а також правила доступу до знань та прийняття рішень.

Четвертий рівень становить неформальна організаційна культура, яка включає неписані правила, очікування, ритуали, мовні патерни та символічні сигнали, що формують реальне розуміння працівниками меж допустимої поведінки.

Принципово важливим є те, що ці рівні не завжди узгоджені між собою. Організація може формально декларувати цінність ініціативності та інноваційності, закріплюючи це у стратегічних документах та корпоративних цінностях, водночас реальна система оцінювання може карати за будь-яке відхилення від встановлених процедур, а неформальна культура може стигматизувати тих, хто висловлює незгоду або пропонує альтернативні рішення. Така невідповідність між рівнями архітектури створює ситуацію інституційного подвійного зв'язку, за якої працівник одночасно отримує взаємовиключні сигнали щодо бажаної поведінки. Виконання однієї вимоги автоматично створює ризик порушення іншої, і раціональною адаптацією стає не активна участь та ініціативність, а пасивне очікування, уникнення ризику та перенесення відповідальності на вищі рівні ієрархії.

Економічні наслідки неузгодженої архітектури людського капіталу проявляються у кількох вимірах. По-перше, зростають транзакційні витрати внутрішньої взаємодії, оскільки працівники витрачають час та когнітивні ресурси не на продуктивну діяльність, а на погодження, перестрахування, дублювання комунікацій та пошук неформальних шляхів вирішення питань, які мали б вирішуватися в межах формальних процедур.

По-друге, формується системна інформаційна асиметрія, за якої управлінський центр отримує не реальний стан організації, а його відфільтровану та прикрашену версію, оскільки працівники мають

раціональний стимул приховувати негативну інформацію, якщо її повідомлення може мати для них негативні наслідки.

По-третє, знижується швидкість та якість прийняття рішень, оскільки рішення перекладаються на вищі рівні, де вони приймаються без достатнього розуміння операційного контексту.

По-четверте, втрачається інноваційний потенціал, оскільки працівники, які могли б генерувати нові ідеї та пропонувати вдосконалення, обирають стратегію мовчання та відповідності мінімальним вимогам.

Архітектура людського капіталу не є статичною конструкцією. Вона перебуває у постійній динаміці, реагуючи на зміни зовнішнього середовища, трансформації ринку праці, технологічні зрушення та еволюцію суспільних очікувань щодо умов праці. Сучасні тенденції, пов'язані з цифровізацією, віддаленою роботою, гібридними форматами зайнятості та зростанням ролі інтелектуальних працівників, суттєво ускладнюють архітектурні вимоги до організацій. Якщо в індустріальну епоху архітектура людського капіталу могла будуватися на принципах жорсткої ієрархії, стандартизації процедур та чіткого розподілу функцій, то в умовах економіки знань та інноваційного розвитку така модель стає дисфункціональною.

Перехід від ієрархічної до мережевої архітектури людського капіталу не є автоматичним чи безконфліктним процесом. Багато організацій формально декларують перехід до гнучких моделей управління, впроваджують плоскі структури та декларують цінність автономії, але фактично зберігають механізми контролю, які суперечать цим деклараціям.

Сучасні аналітичні інструменти, зокрема People Analytics, Organizational Network Analysis та Behavioral Analytics, створюють принципово нові можливості для діагностики архітектури людського капіталу. Аналіз цифрових слідів комунікації дозволяє виявити реальні мережі взаємодії, які можуть суттєво відрізнятися від формальної організаційної структури. Відстеження патернів прийняття рішень дозволяє ідентифікувати точки надмірної централізації та бюрократичного тертя. Аналіз динаміки поведінкових показників у часі дозволяє виявити моменти, коли зміна формальних правил або управлінських практик призводить до неочікуваних поведінкових реакцій. Проте принципово важливим є те, щоб ці інструменти використовувалися саме для аналізу системних патернів та інституційної архітектури, а не для індивідуального контролю та покарання працівників.

Проблема проєктування архітектури людського капіталу ускладнюється тим, що вона не може бути зведена до набору універсальних найкращих практик. Кожна організація має унікальний контекст, який включає специфіку галузі, розмір, стадію життєвого циклу, національну інституційну культуру, історію управлінських рішень та поточну конфігурацію інтересів стейкхолдерів.

Висновок. Архітектура людського капіталу визначає, чи зможе організація перетворити потенціал своїх працівників на реальну економічну цінність, чи цей потенціал залишиться нереалізованим через суперечливі стимули, надмірний контроль, інформаційну непрозорість та відсутність інституційно забезпеченої суб'єктності. Перехід від управління поведінкою працівників до проєктування інституційних умов, які цю поведінку породжують, є фундаментальним зрушенням у парадигмі управління людським капіталом, яке відповідає викликам сучасного організаційного середовища та вимогам сталого економічного розвитку.

Література

[1] Тараєвська Л., Литвинець Р. Інституційно-економічна архітектура ефективного розвитку людського капіталу в умовах сталого розвитку. Сталий розвиток економіки. 2026. №. 1 (58). С. 726-733.

INSTITUTIONAL HUMAN CAPITAL ARCHITECTURE

Viacheslav Rogov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The category of "Institutional human capital architecture" is conceptualized as an integral system of formal rules, actual incentives, information channels, and informal norms that determine the conditions for realizing employees' economic potential. It is demonstrated that the imbalance among these levels generates an institutional double bind, the consequences of which include increased transaction costs, information asymmetry, and loss of innovative activity. The necessity of a paradigm shift in management is substantiated: a transition from direct behavioral control to the purposeful design of an organizational environment that minimizes organizational friction and provides employees with space for autonomous decision-making and agency.

Keywords: institutional architecture, human capital, employee agency, transaction costs, institutional double bind, organizational friction.

УДК 331.5

ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ В УМОВАХ ДОВГОТРИВАЛОЇ ВІЙНИ

Хмарська І.А.,
кандидат економічних наук,
доцент кафедри економіки та суспільного розвитку
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
hmarska@ukr.net

Анотація. Досліджено особливості функціонування економіки України та управління персоналом підприємств в умовах воєнного стану. Проаналізовано основні виклики, що впливають на діяльність суб'єктів господарювання, зокрема дефіцит трудових ресурсів, порушення логістичних ланцюгів, енергетичні ризики, інфляційні процеси та наслідки масової мобілізації й міграції населення. Визначено основні причини зростання плинності кадрів, охарактеризовано її вплив на продуктивність праці, конкурентоспроможність підприємств і економічну стабільність держави. Обґрунтовано необхідність адаптації сучасних підходів до управління персоналом відповідно до нових умов функціонування бізнесу. Особливу увагу приділено ролі матеріальної та нематеріальної мотивації, забезпеченню безпечних умов праці, підтримці психологічного здоров'я працівників і розвитку їхнього особистісного потенціалу. Розглянуто практичні заходи щодо утримання кваліфікованих працівників, зокрема релокацію виробничих потужностей, впровадження програм психологічної підтримки, створення безпечного робочого середовища та застосування сучасних мотиваційних інструментів.

Ключові слова: воєнний стан, управління персоналом, плинність кадрів, мотивація персоналу, кадровий потенціал, людські ресурси, психологічна підтримка, релокація підприємств, економічна стійкість, підприємство.

В умовах воєнного стану економіка України стала одним із визначальних чинників забезпечення національної стійкості. Саме за рахунок внутрішніх податкових надходжень і зборів здійснюється фінансування Збройних Сил України, що суттєво підвищує роль ефективного функціонування суб'єктів господарювання. Водночас економічний розвиток стримується низкою серйозних викликів, серед яких особливо гострими є нестача кваліфікованої робочої сили внаслідок міграційних процесів, порушення логістичних маршрутів, інфляційний тиск, а також постійні загрози для енергетичної інфраструктури.

Систематичні атаки на об'єкти енергетики призводять до необхідності значних фінансових витрат на їх відновлення, викликають перебої в енергопостачанні, втрати робочого часу та скорочення виробничих обсягів, особливо в промисловому секторі. За таких умов економіка країни змушена адаптуватися до нових реалій, долаючи одночасно дефіцит енергоресурсів, значний бюджетний дисбаланс і нестачу трудових ресурсів.

Однією з найважливіших передумов стабільного функціонування економіки сьогодні та її майбутнього розвитку є достатній кадровий потенціал. Воєнні дії суттєво впливають на діяльність підприємств, змінюючи умови організації праці та управління персоналом. Однією з найбільш гострих проблем стала висока плинність кадрів, яка негативно позначається на безперервності виробничих процесів, ефективності роботи підприємств і рівні їх конкурентоспроможності. Скорочення чисельності персоналу призводить до зменшення обсягів виробництва продукції або надання послуг, що, своєю чергою, знижує податкові надходження до державного бюджету. У найскладніших випадках підприємства змушені повністю припиняти господарську діяльність [3].

Традиційні підходи до управління персоналом, сформовані в довоєнний період, уже не забезпечують належної ефективності, тому потребують перегляду та адаптації до сучасних умов. Масове скорочення кадрового потенціалу призводить до втрати досвідчених працівників, погіршення продуктивності праці та збільшення витрат, пов'язаних із пошуком, адаптацією і професійною підготовкою нових співробітників.

Основними чинниками кадрової нестабільності стали мобілізація працівників до лав Збройних Сил України, вимушена евакуація населення із зон активних бойових дій, економічна нестабільність та значне психологічне навантаження. Масова мобілізація особливо відчутно позначилася як на великих підприємствах, так і на малому та середньому бізнесі, діяльність яких часто залежить від вузькопрофільних спеціалістів. Втрата ключових працівників впливає на всі рівні управління підприємством – від керівного складу до виробничого персоналу, що потребує оперативного пошуку тимчасової або постійної заміни [2].

Не менш вагомою причиною кадрових втрат стала евакуація населення із територій, наближених до бойових дій. Через загрозу життю та втрату житла багато працівників були змушені залишити свої робочі

місця, а після переїзду нерідко втрачали можливість продовжувати трудову діяльність на попередніх підприємствах.

Вагомий вплив на кадрову ситуацію має і психологічний стан працівників. Постійна небезпека, повітряні тривоги, інформаційний тиск та невизначеність щодо майбутнього негативно впливають на рівень мотивації, працездатність і бажання продовжувати професійну діяльність. Особливо гостро ці проблеми проявляються у регіонах, розташованих поблизу зон ведення бойових дій.

За таких умов особливого значення набуває система мотивації персоналу. Мотивація являє собою комплекс матеріальних і нематеріальних заходів, спрямованих на стимулювання ефективної праці співробітників. Для подолання дефіциту кадрів підприємства впроваджують різноманітні мотиваційні програми, які сприяють не лише утриманню висококваліфікованих працівників, а й розвитку їхнього професійного та особистісного потенціалу [3]. Особистісний потенціал працівника охоплює його знання, професійні компетентності, практичні навички, здібності, мотиваційні установки та індивідуальні ресурси, що забезпечують ефективне виконання професійних обов'язків і здатність адаптуватися до нових умов діяльності. Вплив війни на розвиток такого потенціалу може мати як негативний, так і позитивний характер.

В умовах воєнних ризиків матеріальне стимулювання набуває особливої актуальності. Гідний рівень оплати праці дозволяє працівникам забезпечити власні базові потреби, зменшити рівень тривожності та підтримувати фінансову стабільність, тому заробітна плата залишається ключовим елементом матеріальної мотивації.

Не менш важливим фактором є створення безпечних умов праці. Працівники демонструють вищий рівень довіри та залученості, коли відчувають турботу з боку роботодавця. Незалежно від територіального розташування підприємства важливо забезпечити наявність укриттів, чітких алгоритмів дій під час повітряних тривог, безпечного транспорту для доставки персоналу, медичних пунктів, запасів води, продуктів харчування, аптечок, джерел автономного живлення, генераторів та інших засобів, необхідних для безперервної роботи підприємства під час надзвичайних ситуацій. Водночас працівники дедалі більше цінують не лише власну безпеку, а й упевненість у збереженні робочого місця та стабільності трудових відносин [1].

Одним із найважливіших напрямів збереження кадрового потенціалу є підтримка психологічного благополуччя персоналу. З цією метою підприємства можуть запроваджувати програми психологічної допомоги, які передбачають індивідуальні консультації психологів, групові заняття, тренінги та дистанційні курси, спрямовані на подолання стресу. Такі заходи сприяють зміцненню морального стану працівників, підвищенню їхньої мотивації та формуванню більшої лояльності до роботодавця.

Щоб забезпечити безперервність виробничої діяльності та зберегти кадровий потенціал, багато українських підприємств приймають рішення про тимчасове або постійне переміщення виробничих потужностей до відносно безпечних регіонів країни. Така релокація дозволяє підтримувати безперервність виробничих процесів, зберігати кваліфікований персонал і створювати необхідні умови для подальшого функціонування та розвитку підприємств навіть у складних умовах воєнного часу.

Література

[1] Горбаль Н.І., Мельничук К.Ю. Підвищення мотивації працівників українських підприємств в умовах кризи. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія «Проблеми економіки та управління». 2023. № 7 (1). С. 107–119. DOI: https://doi.org/10.23939/semi2023.01.107

[2] Середа О.Г., Швець Н.М. Актуальні питання мотивації працівників в умовах воєнного стану. *Юридичний науковий електронний журнал.* 2023. № 11. С. 229–232. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0374/2023-11/53

[3] Шапа Н.М., Калініченко А.А. Проблема плинності кадрів на підприємствах в умовах воєнного стану та шляхи її вирішення. *Економічний простір.*2024. № 195 С. 102–107 DOI: https://doi.org/10.30838/EP.195.102-107

[4] Чорнодід І. С., Василець Н. М., Петренко В. М. Особливості управління персоналом в умовах воєнного стану . URL: http://surl.li/veptwg (дата звернення 11.07.2026)

HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PROBLEMS IN THE CONDITIONS OF PROLONGED WAR

Khmarska I.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding: Mykolaiv, UA

Abstract. The article examines the peculiarities of the functioning of Ukraine's economy and personnel management under martial law. The main challenges affecting business entities are analyzed, including labor shortages, disruptions in logistics chains, energy security risks, inflationary pressures, and the consequences of large-scale mobilization and population migration. The necessity of adapting modern personnel management approaches to the new conditions of business operation is substantiated. Particular attention is paid to the role of financial and non-financial motivation, the provision of safe working conditions, psychological support for

employees, and the development of their personal potential. Practical measures aimed at retaining qualified personnel are considered, including the relocation of production facilities, the implementation of psychological support programs, the creation of a safe working environment, and the application of modern motivational tools.

Keywords: martial law, personnel management, employee turnover, staff motivation, human resources, workforce potential, psychological support, enterprise relocation, economic resilience, enterprise.

УДК 330.322:338.246.8(477)

ІНВЕСТИЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Година О.В.,
заступник директора із загальних питань
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
godyna.olena.kbnuos@gmail.com

Анотація. Досліджено інвестиційне забезпечення повоєнної відбудови економіки України як ключову передумову відновлення виробничого, інфраструктурного та людського потенціалу держави. Розглянуто масштаби фінансових потреб, основні джерела інвестування, роль міжнародної підтримки та приватного капіталу. Особливу увагу приділено Ukraine Facility, державно-приватному партнерству, страхуванню воєнних ризиків і змішаному фінансуванню. Визначено пріоритетні напрями інвестування та обґрунтовано необхідність формування сприятливого інституційного середовища.

Ключові слова: інвестиції, відбудова, відновлення, приватний капітал, міжнародна допомога, державно-приватне партнерство, економічна стійкість.

Повномасштабна збройна агресія Російської Федерації спричинила значні руйнування виробничого, інфраструктурного, житлового та соціального потенціалу України. Тому інвестиційне забезпечення повоєнної відбудови набуває стратегічного значення, оскільки від обсягів та ефективності залучення ресурсів залежатимуть темпи відновлення країни та формування нової економічної моделі.

За даними п’ятої Швидкої оцінки завданої шкоди та потреб на відновлення України – RDNA5, станом на 31 грудня 2025 р. сукупна вартість відновлення та реконструкції України протягом наступного десятиліття оцінюється майже у 58 млрд дол. США [1]. Такий масштаб потреб свідчить про неможливість фінансування відбудови виключно за рахунок державного бюджету або міжнародної допомоги.

Основними джерелами інвестиційного забезпечення мають стати:

- державні та місцеві бюджети;
- фінансування країн-партнерів і міжнародних організацій;
- кредити міжнародних фінансових інституцій;
- грантові програми;
- прямі іноземні інвестиції;
- внутрішній приватний капітал;
- державно-приватне партнерство;
- гарантії та страхування політичних і воєнних ризиків.

Одним із провідних механізмів підтримки є Ukraine Facility, створений Європейським Союзом на 2024–2027 рр. із загальним обсягом фінансування до 5 млрд євро [2]. Його важливою складовою є Ukraine Investment Framework, орієнтований на мобілізацію приватних і державних інвестицій через гарантії, гранти та пільгове кредитування.

Пріоритетними напрямами повоєнного інвестування мають стати відновлення транспортної та енергетичної інфраструктури, житлового фонду, промисловості, аграрного сектору та соціальної сфери.

Особливе значення має транспортна інфраструктура, оскільки її відновлення визначає можливості внутрішньої мобільності, експорту та інтеграції України до європейських логістичних мереж. Інвестиції мають спрямовуватися не лише на ремонт пошкоджених об’єктів, а й на модернізацію доріг, мостів, залізниці, портів і логістичних центрів.

В енергетичній сфері доцільно орієнтувати інвестиції на децентралізовану генерацію, відновлювані джерела енергії, модернізацію електромереж та підвищення енергоефективності. Це дозволить одночасно відновити систему та зменшити її вразливість.

Важливою складовою відбудови є відновлення промислового потенціалу. Пріоритет слід надавати розвитку переробної промисловості, машинобудування, оборонного сектору, виробництва будівельних матеріалів, агропереробки, фармацевтики й цифрових технологій.

Окремого значення набуває залучення приватного капіталу. Головною перешкодою для інвесторів залишаються високі воєнні та політичні ризики. Тому необхідним є розвиток механізмів їх страхування та гарантування.

Перспективним інструментом є змішане фінансування (blended finance), коли державні або донорські кошти використовуються для зниження ризиків приватного інвестора. Це дозволяє значно збільшити кінцевий обсяг інвестицій і створити мультиплікативний ефект.

Значний потенціал має й державно-приватне партнерство, особливо у відбудові транспортної, енергетичної, комунальної та соціальної інфраструктури. Приватний сектор у такому разі забезпечує не лише фінансові ресурси, а й технології, управлінські компетенції та ефективність реалізації проєктів.

Водночас залучення значних обсягів інвестицій потребує покращення інституційного середовища. Ключовими умовами є:

- верховенство права;
- захист прав власності;
- прозорість державних закупівель;
- протидія корупції;
- цифровізація взаємодії бізнесу з державою;
- зниження регуляторних бар'єрів;
- розвиток страхування інвестицій;
- наближення законодавства до стандартів Європейського Союзу.

Повоєнна відбудова має базуватися на принципі Build Back Better – «відбудувати краще, ніж було». Це означає перехід до більш технологічної, енергоефективної, цифрової та екологічно орієнтованої економіки.

Особливої уваги потребуватимуть регіони, що найбільше постраждали від бойових дій. Для них доцільно передбачити державні гарантії, податкові стимули, спеціальні кредитні програми та механізми компенсації інвестиційних ризиків.

Отже, інвестиційне забезпечення повоєнної відбудови економіки України потребує поєднання державних, міжнародних та приватних ресурсів. Пріоритетами мають стати розвиток гарантій і страхування інвестицій, державно-приватне партнерство, змішане фінансування та використання інструментів Ukraine Facility.

Ефективна відбудова має забезпечити не повернення до довоєнної моделі, а формування модернізованої, конкурентоспроможної та інтегрованої до Європейського Союзу економіки, здатної забезпечити довгострокову стійкість і зміцнення незалежності України.

Література

[1]. World Bank Group. Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment Released (RDNA5). 23.02.2026. URL: https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2026/02/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released (дата звернення: 05.09.2026).

[2]. European Commission. The Ukraine Facility. URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/ukraine-facility_en (дата звернення: 01.09.2026).

[3]. European Commission. Recovery and reconstruction of Ukraine. URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/recovery-and-reconstruction-ukraine_en (дата звернення: 05.09.2026).

[4]. World Bank Group. New World Bank Group Support Will Help Mobilize Investment for Ukraine's Recovery. 29.06.2026. URL: https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2026/06/29/new-world-bank-group-support-will-help-mobilize-investment-for-ukraine-recovery (дата звернення: 02.09.2026).

INVESTMENT SUPPORT FOR THE POST-WAR RECONSTRUCTION OF UKRAINE'S ECONOMY

Godyna Olena

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article examines investment support for the post-war reconstruction of Ukraine's economy. The main sources of financing, the role of international support, private capital, public-private partnerships and war-risk insurance are considered. Priority investment areas include transport, energy, housing, industry and social infrastructure. The need to improve the investment climate and integrate reconstruction with Ukraine's European integration is substantiated.

Keywords: investment, reconstruction, recovery, private capital, international assistance, public-private partnership, economic resilience.

УДК 339.924:338.246.8(477)

ЄВРОПЕЙСЬКА ІНТЕГРАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ ВЕКТОР ПОВОЄННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Качула Т.В.,
провідний фахівець
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
tatka.nov1992@gmail.com

Анотація. Розглянуто європейську інтеграцію як стратегічну основу повоєнної трансформації економіки України. Визначено її роль у модернізації економічних інститутів, структурній перебудові господарства, розвитку людського капіталу та регіональному відновленні. Окреслено напрями наближення економічної політики України до принципів функціонування Єдиного ринку ЄС. Обґрунтовано необхідність поєднання процесів повоєнного відновлення з виконанням критеріїв членства в Європейському Союзі.

Ключові слова: європейська інтеграція, повоєнна трансформація, Європейський Союз, структурна модернізація, Єдиний ринок, інституційна конвергенція, людський капітал.

Повоєнне відновлення України має відбуватися не як механічне повернення економіки до довоєнного стану, а як її глибока структурна та інституційна трансформація. Визначальним орієнтиром цього процесу є інтеграція до Європейського Союзу, яка формує довгострокові параметри економічної політики та встановлює вимоги до якості інститутів, конкуренції, державного управління і функціонування ринків.

Надання Україні статусу кандидата на членство в ЄС у червні 2022 р., а згодом початок переговорного процесу створили принципово нові умови для економічного розвитку [1]. Європейська інтеграція поступово перетворюється із зовнішньополітичного орієнтира на внутрішній механізм модернізації економіки.

Одним із ключових напрямів є інституційна конвергенція. Наближення українського законодавства до acquis ЄС охоплює конкурентну політику, державну допомогу, державні закупівлі, корпоративне управління, захист прав споживачів, ринковий нагляд та інші сфери. Виконання цих вимог має сприяти формуванню більш передбачуваного бізнес-середовища та підвищенню ефективності економічних інститутів.

Стратегічним завданням є поступове включення України до Єдиного ринку ЄС. Для українських підприємств це означає необхідність переходу від переважно цінової конкуренції до конкуренції за якістю, технологічністю, продуктивністю та відповідністю європейським стандартам.

Така інтеграція потребує структурних змін у національній економіці. Перспективним є збільшення частки продукції з високою доданою вартістю, розвиток сучасного машинобудування, переробної промисловості, інформаційних і професійних послуг. Таким чином, євроінтеграція може стати каталізатором поступового переходу від сировинно орієнтованої моделі до більш технологічної структури економіки.

Важливою складовою повоєнної трансформації є розвиток людського капіталу. Масштабна зовнішня міграція, демографічні втрати та дефіцит кваліфікованих кадрів посилюють необхідність модернізації освіти, професійної підготовки та системи навчання протягом життя. Наближення до європейського освітнього та професійного простору має забезпечувати відповідність компетентностей працівників новій структурі економіки.

Окремого значення набуває регіональний вимір європейської інтеграції. Відновлення постраждалих територій має поєднуватися з принципами політики згуртованості ЄС, яка орієнтується на скорочення територіальних диспропорцій, підтримку місцевого розвитку та посилення спроможності громад [2]. Для України це особливо важливо через суттєву нерівномірність воєнних втрат між регіонами.

Повоєнна трансформація також потребуватиме зміни підходів до державної економічної політики. В умовах інтеграції до ЄС державна підтримка має поступово переходити від прямого субсидування окремих суб'єктів до створення горизонтальних умов для розвитку конкуренції, підвищення продуктивності, професійної підготовки та технологічного оновлення.

Особливе місце займає Ukraine Facility, що поєднує фінансову підтримку з реалізацією реформ, передбачених Планом України [3]. Важливим у цьому механізмі є принцип взаємозалежності: доступ до ресурсів пов'язується з виконанням конкретних інституційних та структурних перетворень. Це створює умови, за яких фінансування відновлення одночасно стимулює модернізацію державного управління й економічного середовища.

Основними напрямами євроінтеграційної трансформації економіки України доцільно визначити:
- гармонізацію законодавства та економічних інститутів з acquis ЄС;
- поглиблення інтеграції до Єдиного європейського ринку;
- структурний перехід до виробництва продукції з вищою доданою вартістю;
- модернізацію системи професійної підготовки та розвитку людського капіталу;
- застосування принципів європейської політики згуртованості у відновленні регіонів.

Таким чином, європейська інтеграція повинна розглядатися не як окремий напрям повоєнної політики, а як рамкова модель трансформації української економіки. Відбудова фізичної інфраструктури має супроводжуватися модернізацією інститутів, ринків, системи управління та людського капіталу.

Поєднання відновлення з євроінтеграційними реформами дозволить не лише компенсувати воєнні втрати, а й змінити якісні характеристики національної економіки. Саме відповідність правилам ЄС, інтеграція до Єдиного ринку та інституційна конвергенція створюють передумови для формування конкурентоспроможної економічної моделі України у повоєнний період.

Література

[1]. European Commission. *Ukraine – EU Enlargement Policy*. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/ukraine_en (дата звернення: 05.09.2026).

[2]. European Commission. *Regional and Urban Policy. Cohesion Policy*. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy (дата звернення: 03.09.2026).

[3]. European Commission. *The Ukraine Facility*. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/stronger-europe-world/eu-solidarity-ukraine/ukraine-facility_en (дата звернення: 05.09.2026).

[4]. Кабінет Міністрів України. *План України для Ukraine Facility*. URL: https://www.ukrainefacility.me.gov.ua (дата звернення: 02.09.2026).

[5]. European Commission. *EU Accession Process*. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/enlargement-policy/steps-towards-joining_en (дата звернення: 01.09.2026).

EUROPEAN INTEGRATION AS A STRATEGIC VECTOR OF THE POST-WAR TRANSFORMATION OF UKRAINE'S ECONOMY

Kachula Tatyana

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. European integration is considered as a strategic basis for the post-war transformation of Ukraine's economy. Its role in institutional modernization, structural changes, human capital development and regional recovery is determined. The main directions of Ukraine's integration into the EU Single Market and approximation to European economic rules are outlined. The combination of post-war recovery with EU accession reforms is substantiated as a prerequisite for building a competitive and institutionally sustainable economy.

Keywords: European integration, post-war transformation, European Union, structural modernization, Single Market, institutional convergence, human capital.

УДК 658.012.4:330.341.1

ІННОВАЦІЙНІ БІЗНЕС-МОДЕЛІ ЯК ІНСТРУМЕНТ АДАПТАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ДО ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ

Надточій І.І.,

доктор економічних наук, професор,
заступник директора з навчально-методичної та наукової роботи
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
nira@ukr.net

Анотація. Досліджено роль інноваційних бізнес-моделей у забезпеченні адаптації та стійкості підприємств в умовах воєнного стану. Визначено основні чинники трансформації традиційних моделей ведення бізнесу під впливом безпекових, логістичних, енергетичних і фінансових ризиків. Охарактеризовано цифрові, платформні, мережеві, диверсифіковані та циркулярні бізнес-моделі. Обґрунтовано напрями їх розвитку на основі цифровізації, диверсифікації, партнерства та гнучкості бізнес-процесів.

Ключові слова: інноваційна бізнес-модель, адаптація підприємств, воєнні ризики, цифровізація, диверсифікація, бізнес-стійкість, циркулярна економіка.

Руйнування виробничої та енергетичної інфраструктури, порушення логістичних ланцюгів, скорочення внутрішнього попиту, міграція населення та високі фінансові ризики зумовили необхідність швидкої трансформації традиційних моделей ведення бізнесу.

У таких умовах конкурентоспроможність підприємства дедалі більше визначається його здатністю оперативно змінювати способи створення, пропозиції та отримання цінності. Інноваційна бізнес-модель перетворюється з інструменту розвитку на важливий механізм адаптації та забезпечення економічної стійкості.

Основними чинниками трансформації бізнес-моделей українських підприємств є:

1) безпекові – загроза втрати виробничих активів, необхідність релокації та територіальної диверсифікації;
2) логістичні – порушення маршрутів постачання та зростання транспортних витрат;
3) енергетичні – нестабільність енергопостачання та необхідність автономізації;
4) кадрові – міграція населення, мобілізація та дефіцит кваліфікованих працівників;
5) фінансові й ринкові – обмеженість ресурсів, зміна попиту та необхідність пошуку нових ринків.

Однією з найбільш поширених форм адаптації стали цифрові бізнес-моделі. Електронна комерція, дистанційне обслуговування, цифрові платежі, хмарні технології, CRM-системи та автоматизація дозволяють підприємствам забезпечувати безперервність діяльності та скорочувати операційні витрати. Національний проєкт «Дія.Бізнес» сприяє цифровій трансформації малого та середнього підприємництва, розвитку експорту й електронної комерції [1].

Значного поширення набувають платформні бізнес-моделі, які дозволяють підприємствам використовувати маркетплейси та цифрові платформи для виходу на внутрішні й міжнародні ринки. Це зменшує територіальну залежність бізнесу та розширює потенційне коло споживачів.

Важливим механізмом адаптації є диверсифікація бізнес-моделі – розширення асортименту, освоєння нових ринків, використання альтернативних каналів збуту та формування декількох джерел доходів. Диверсифікація знижує залежність підприємства від одного виду продукції, регіону або групи клієнтів.

Воєнні виклики сприяли розвитку територіально розподілених бізнес-моделей. Релокація підприємств із небезпечних територій до інших регіонів дозволила частині бізнесу зберегти виробничий потенціал, робочі місця та сформувати нові ланцюги постачання.

Перспективною є мережева бізнес-модель, що передбачає партнерство підприємств, стартапів, університетів, органів влади та міжнародних організацій. Така взаємодія дозволяє об’єднувати фінансові, технологічні та інтелектуальні ресурси, прискорювати розроблення нових продуктів і впровадження технологій.

В умовах дефіциту ресурсів особливо актуальними стають циркулярні бізнес-моделі, орієнтовані на повторне використання матеріалів, ремонт, модернізацію, переробку та мінімізацію відходів. Для українських підприємств циркулярні підходи дозволяють не лише зменшувати негативний вплив на довкілля, але й скорочувати витрати та залежність від дефіцитних ресурсів.

Важливим чинником трансформації бізнес-моделей є доступ до фінансування. Державні грантові програми, зокрема «єРобота», програми підтримки ветеранів, міжнародні гранти та кредитні інструменти створюють можливості для започаткування нових підприємств, відновлення діяльності та реалізації інноваційних проєктів [2].

Таким чином, інноваційні бізнес-моделі забезпечують: підвищення гнучкості підприємств; диверсифікацію ринків і джерел доходу; цифровізацію бізнес-процесів; формування альтернативних ланцюгів постачання; ефективніше використання ресурсів; вихід підприємств на зовнішні ринки.

Подальший розвиток таких моделей доцільно пов’язувати з поглибленням цифровізації та використанням штучного інтелекту, диверсифікацією ринків збуту, розвитком кластерної співпраці, формуванням гнучких ланцюгів постачання та поширенням циркулярних принципів виробництва.

Отже, воєнні виклики стали потужним каталізатором трансформації бізнес-моделей українських підприємств. Цифровізація, диверсифікація, релокація, партнерські мережі та циркулярні підходи дозволяють бізнесу не лише зберігати операційну діяльність, а й формувати нові конкурентні переваги. Розвиток інноваційних бізнес-моделей сприятиме зміцненню стійкості приватного сектору та формуванню економічної основи повоєнного відновлення України.

Література

[1] Дія.Бізнес. Національний проєкт з розвитку підприємництва та експорту. URL: https://business.diia.gov.ua (дата звернення: 02.09.2026).

[2] Дем’яненко Н. В., Свистун М. А., Александрович О. Ю. Механізми державної грантової підтримки традиційного та соціального підприємництва в Україні як інструмент інноваційного розвитку та сталого економічного зростання. *Економічна парадигма*. 2026. № 6 (110). С. 177–183.

[3] OECD. Social Entrepreneurship and Social Innovation. Paris: OECD Publishing, 2023.
[4] Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України. Підтримка підприємництва та грантові програми. URL: https://me.gov.ua (дата звернення: 01.09.2026).
[5] Дія.Бізнес. Соціальне підприємництво. URL: https://business.diia.gov.ua/initiative/socialne-pidpriemnictvo (дата звернення: 02.09.2026).

INNOVATIVE BUSINESS MODELS AS A TOOL FOR ENTERPRISE ADAPTATION TO WARTIME CHALLENGES

Nadtochii Iryna
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The role of innovative business models in ensuring the adaptation and resilience of enterprises under martial law is investigated. Digital, platform, network, diversified and circular business models are characterized. The main directions of their development based on digitalization, diversification, flexible supply chains and partnerships are substantiated. Innovative business models are considered an important tool for strengthening the resilience of Ukrainian enterprises and creating the economic basis for post-war recovery.

Keywords: innovative business model, enterprise adaptation, wartime risks, digitalization, diversification, business resilience, circular economy.

УДК 330.341.1:502.131.1(477)

ЦИРКУЛЯРНА ВІДБУДОВА УКРАЇНИ: ПОЄДНАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ Й ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Руснак А.В.,
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економіки Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
rusnak_av@meta.ua

Анотація. Обґрунтовано доцільність застосування принципів циркулярної економіки у процесі повоєнної відбудови України. Розкрито взаємозв'язок циркулярної трансформації з економічною стійкістю, ресурсною безпекою та європейською інтеграцією. Визначено перспективи повторного використання будівельних матеріалів, переробки відходів руйнувань, розвитку промислового симбіозу та ресурсоефективного виробництва. Обґрунтовано стратегічне значення циркулярної відбудови для модернізації економіки України відповідно до стандартів ЄС.

Ключові слова: циркулярна економіка, відбудова, ресурсна стійкість, вторинні ресурси, промисловий симбіоз, європейська інтеграція, зелена трансформація.

Масштабні руйнування, спричинені повномасштабною збройною агресією Російської Федерації, ставлять перед Україною завдання не лише відновлення втрачених виробничих потужностей та інфраструктури, але й формування нової моделі економічного розвитку. Відтворення довоєнної ресурсомісткої структури може закріпити існуючі технологічні та екологічні диспропорції. Тому відбудова має стати основою переходу до ресурсоефективної та циркулярної економіки.

Циркулярна відбудова передбачає інтеграцію принципів повторного використання ресурсів, продовження життєвого циклу продукції, переробки та мінімізації відходів у будівництво, промисловість, енергетику та інші сфери. Для України цей підхід дозволяє поєднати три стратегічні завдання: відновлення зруйнованих територій, підвищення ресурсної стійкості та інтеграцію до економічного простору Європейського Союзу.

Одним із найбільших викликів є утворення значних обсягів відходів руйнувань – бетону, цегли, металу, скла, деревини та інших матеріалів. У межах циркулярної моделі значна їх частина може використовуватися як вторинна сировина для відбудови.

Для цього необхідно забезпечити:

- сортування відходів на місцях демонтажу;
- створення регіональних потужностей із переробки;
- сертифікацію вторинних будівельних матеріалів;
- цифровий облік матеріальних потоків;

– використання вторинної сировини у новому будівництві.

Такий підхід одночасно зменшує екологічне навантаження та потребу у первинних ресурсах.

Важливим напрямом циркулярної трансформації є промисловий симбіоз, за якого відходи або побічні продукти одного суб'єкта господарювання використовуються як ресурси іншого. Такі зв'язки доцільно формувати в межах промислових парків і територіальних кластерів. Органічні залишки аграрного виробництва можуть використовуватися у біоенергетиці, відходи промисловості – у виробництві будівельних матеріалів, а вторинне тепло – у локальних системах теплопостачання.

Не менш важливим є екодизайн. Нові будівлі, інфраструктурні об'єкти та продукція повинні проєктуватися з урахуванням довговічності, ремонтопридатності, енергоефективності та можливості повторного використання матеріалів. Таким чином принципи циркулярності закладаються вже на початковому етапі життєвого циклу.

Циркулярна відбудова безпосередньо пов'язана з європейською інтеграцією України. Європейський зелений курс визначає перехід до кліматично нейтральної та ресурсоефективної економіки стратегічним напрямом розвитку ЄС [1]. Circular Economy Action Plan передбачає скорочення ресурсомісткості виробництва, підвищення довговічності продукції та зменшення утворення відходів [2].

Для українських підприємств адаптація до цих принципів матиме не лише екологічне, але й економічне значення. Конкурентоспроможність на європейському ринку дедалі більше залежатиме від ресурсоефективності, вуглецевої інтенсивності виробництва, простежуваності матеріалів та відповідності продукції вимогам сталого розвитку.

Основними пріоритетами циркулярної відбудови України доцільно визначити:

1) створення системи обліку та переробки відходів руйнувань;
2) формування ринку вторинних будівельних матеріалів;
3) розвиток промислового симбіозу та циркулярних кластерів;
4) запровадження принципів екодизайну та ресурсоефективності;
5) підтримку підприємств із ремонту, відновлення, повторного використання та переробки продукції;
6) гармонізацію політики управління ресурсами та відходами з вимогами ЄС.

Отже, циркулярна відбудова України не повинна обмежуватися лише переробкою відходів. Вона передбачає перехід від лінійної моделі споживання ресурсів до системи максимального збереження їх економічної цінності.

Поєднання відбудови з циркулярною трансформацією сприятиме зменшенню ресурсної залежності, розвитку нових видів економічної діяльності, підвищенню стійкості регіонів та прискоренню європейської інтеграції. Тому циркулярність доцільно розглядати як один із базових принципів формування нової моделі економіки України.

Література

[1] European Commission. *The European Green Deal*. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення: 05.09.2026).

[2] European Commission. *Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe*. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en (дата звернення: 04.09.2026).

[3] Ellen MacArthur Foundation. *Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org (дата звернення: 05.09.2026).

[4] OECD. *The Circular Economy in Cities and Regions*. Paris: OECD Publishing. URL: https://www.oecd.org (дата звернення: 02.09.2026).

[5] European Commission. *Ukraine: Enlargement and European Integration*. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/ukraine_en (дата звернення: 04.09.2026).

CIRCULAR RECONSTRUCTION OF UKRAINE: COMBINING ECONOMIC RESILIENCE AND EUROPEAN INTEGRATION

Rusnak Alla

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The application of circular economy principles to Ukraine's post-war reconstruction is substantiated. The relationship between circular transformation, resource resilience and European integration is revealed. Particular attention is paid to the reuse of construction materials, processing of demolition waste, industrial symbiosis and resource-efficient production. Circular reconstruction is considered an important basis for modernizing Ukraine's economy and adapting it to EU standards.

Keywords: circular economy, reconstruction, resource resilience, secondary resources, industrial symbiosis, European integration, green transformation.

УДК 658.15:338.124.4:355.01(477)

СТРАТЕГІЇ АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ В УМОВАХ ВОЄННОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Руснак А.В.,
доктор економічних наук, професор,
в.о. завідувача кафедри економіки Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
rusnak_av@meta.ua

Анотація. Досліджено особливості формування стратегій антикризового управління підприємствами в умовах воєнної невизначеності. Обґрунтовано необхідність переходу від реактивного реагування до превентивного управління, заснованого на ранньому виявленні загроз, сценарному плануванні та стрес-тестуванні. Визначено напрями забезпечення фінансової стабільності, резервування ресурсів та безперервності бізнесу.

Ключові слова: антикризове управління, воєнна невизначеність, сценарне планування, стрес-тестування, ліквідність, безперервність бізнесу.

Воєнна невизначеність принципово змінює характер антикризового управління підприємствами. Загрози пошкодження активів, припинення діяльності, втрати персоналу, контрагентів та фінансових ресурсів можуть реалізовуватися раптово, що значно ускладнює традиційне стратегічне планування.

За таких умов класична модель реагування на кризу після її виникнення є недостатньою. Стратегічного значення набуває проактивне антикризове управління, спрямоване на виявлення слабких сигналів загроз і підготовку відповідних рішень до моменту критичного погіршення ситуації.

Основою такого підходу має бути система раннього попередження, що передбачає постійний моніторинг ключових індикаторів:

- грошових потоків і ліквідності;
- дебіторської та кредиторської заборгованості;
- строків постачання;
- рівня критичних запасів;
- стану ключових контрагентів;
- кадрового забезпечення.

Важливим інструментом є сценарне планування. В умовах високої невизначеності доцільно розробляти декілька сценаріїв діяльності – базовий, кризовий та критичний. Для кожного з них необхідно заздалегідь визначити набір управлінських рішень: від оптимізації витрат і використання резервів до тимчасового припинення окремих операцій та переходу на резервні механізми роботи.

Сценарне планування доцільно доповнювати стрес-тестуванням. Воно дозволяє оцінити наслідки різкого скорочення доходів, втрати ключового покупця, припинення енергопостачання, зростання собівартості або неможливості використання частини активів. Результати стрес-тестування дають змогу визначити критичні межі фінансової та операційної стійкості підприємства.

Особливого значення набуває управління ліквідністю. В умовах війни першочерговим завданням є забезпечення здатності підприємства фінансувати заробітну плату, податки, закупівлю критичних ресурсів та інші обов’язкові платежі. Для цього необхідно прогнозувати грошові потоки, формувати резерв ліквідності та чітко розмежовувати критичні й другорядні витрати.

Окремим елементом антикризової стратегії є резервування критичних ресурсів. Підприємству необхідно визначити мінімальний обсяг матеріальних, енергетичних, фінансових та інформаційних ресурсів, необхідних для підтримання основних операцій.

Стратегічного значення набуває управління безперервністю бізнесу (Business Continuity Management). Відповідно до ISO 22301 воно передбачає визначення критичних функцій підприємства, оцінювання ризиків, розроблення процедур реагування та відновлення діяльності [1].

План безперервності бізнесу доцільно формувати за такими складовими:

1) критичні бізнес-процеси;
2) відповідальні особи та порядок прийняття рішень;
3) резервні канали зв’язку та збереження даних;
4) альтернативні джерела критичних ресурсів;
5) алгоритм відновлення діяльності.

Для оперативного реагування доцільним є створення кризового штабу, наділеного необхідними повноваженнями щодо прийняття термінових рішень, розподілу ресурсів та комунікації з персоналом і контрагентами.

Основними стратегіями антикризового управління підприємствами в умовах воєнної невизначеності доцільно визначити:

– превентивну – раннє виявлення та попередження загроз;
– стабілізаційну – підтримання ліквідності й контроль фінансових потоків;
– резервну – формування запасу критичних ресурсів;
– сценарну – підготовку альтернативних варіантів управлінських дій;
– відновлювальну – швидке відновлення критичних функцій після їх порушення.

Отже, антикризове управління в умовах війни має бути орієнтоване не стільки на прогнозування конкретної кризової події, скільки на готовність підприємства діяти за різних сценаріїв. Поєднання раннього попередження, стрес-тестування, резервування, управління ліквідністю та планування безперервності бізнесу дозволяє мінімізувати наслідки кризових явищ та забезпечити життєздатність підприємства в умовах тривалої невизначеності.

Література

[1] ISO 22301:2019. *Security and resilience – Business continuity management systems – Requirements*. International Organization for Standardization. Geneva, 2019.

[2] OECD. *OECD Economic Surveys: Ukraine 2025*. Paris: OECD Publishing, 2025. URL: https://www.oecd.org (дата звернення: 01.09.2026).

[3] Національний банк України. Звіти про фінансову стабільність. URL: https://bank.gov.ua/ua/stability/report (дата звернення: 02.09.2026).

[4] Міністерство економіки України. Підтримка бізнесу в умовах воєнного стану. URL: https://me.gov.ua (дата звернення: 01.09.2026).

STRATEGIES FOR ANTI-CRISIS MANAGEMENT OF ENTERPRISES UNDER WARTIME UNCERTAINTY

Rusnak Alla

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The peculiarities of anti-crisis management of enterprises under wartime uncertainty are investigated. The necessity of transition from reactive response to proactive management based on early warning, scenario planning and stress testing is substantiated. Particular attention is paid to liquidity management, resource reservation and business continuity. An integrated approach to anti-crisis management is considered a prerequisite for maintaining enterprise viability under different wartime scenarios.

Keywords: anti-crisis management, wartime uncertainty, scenario planning, stress testing, liquidity, business continuity.

УДК 657

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Бурунсуз К.С.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри фінансів і бухгалтерського обліку
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
kateryna.burunsuz@nuos.edu.ua

Анотація. Підкреслено важливість сталого розвитку промислових підприємств в умовах військових дій. Наведено загальну вартість відбудови та відновлення в Україні упродовж наступного десятиліття. Зазначено основні проблеми, з якими стикається економіка України. Виділено основні складові сталого розвитку промислових підприємств.

Ключові слова: сталий розвиток, економічне зростання, соціальна відповідальність, екологічний баланс.

В сучасних умовах військових дій в Україні, глобалізації світових економічних відносин важливе значення займає створення необхідних умов для дослідження проблем сталого розвитку промислових підприємств щодо оперативного реагування на процеси, які відбуваються в навколишньому бізнес-середовищі. Вирішення проблем забезпечення сталого розвитку промислових підприємств значною мірою визначається багатогранністю та складністю процесу управління.

Метою дослідження є обґрунтування необхідності сталого розвитку промислових підприємств в умовах військових дій.

Результати дослідження, яке проведено Україною, Групою Світового банку, Європейською комісією та Організацією Об'єднаних Націй, показали, що станом на 31 грудня 2025 р. загальна вартість відбудови та відновлення в Україні упродовж наступного десятиліття становить майже 58 млрд дол. США (понад 50 млрд євро). Це майже втричі перевищує прогнозований номінальний ВВП України за 2025 р.

Соціально-економічні втрати держави на 31 грудня 2025 р. становлять 66 млрд дол. США, що демонструє значні негативні наслідки для промисловості, зайнятості, доходів населення та надання послуг [1].

Ще до початку війни економіка України вирізнялася високою вуглецеємністю та неефективністю через залежність від викопного палива, а також застарілою інфраструктурою. Серед інших викликів, з якими стикалася Україна, були питання екологічного управління, зменшення забруднення та контролю за ним (промислове забруднення та ризики, стан повітря, води, поводження з хімічними речовинами), управління відходами, охорони довкілля, а також здатності органів влади впроваджувати та забезпечувати дотримання природоохоронного законодавства.

Збройна агресія Росії ще більше загострює екологічні проблеми в Україні. Обстріли та руйнування посилюють екологічні ризики, а зростання обсягів відходів – зокрема небезпечних і тих, що утворюються внаслідок руйнувань, – стає дедалі серйознішим викликом [2].

Саме тому питання сталого розвитку промислових підприємств в умовах військових дій стає все більш актуальним. Сталий розвиток можливий при рівновазі трьох основних складових: економічне зростання, соціальна відповідальність і екологічний баланс.

Одним із головних завдань будь-якого промислового підприємства є досягнення сталого розвитку. Для забезпечення сталого розвитку підприємству необхідно проаналізувати чинники, що на нього впливають, зокрема податкові механізми, які потребують належної уваги.

Здатність підприємства перемагати в конкурентній боротьбі та зберігати економічну стабільність значною мірою залежить від стану чинників внутрішнього середовища. До групи внутрішніх чинників належать технологія виробництва, персонал, стан науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, фінансові ресурси тощо [3]. В сучасних умовах військових дій об'єктивні зовнішні чинники безпосередньо впливають на сталий розвиток підприємства. Підприємство може реагувати на зміни чинників прямого впливу двома способами: перебудовувати внутрішнє середовище та здійснювати як політику адаптації, так і політику активної чи пасивної взаємодії.

Можемо виділити основні складові сталого розвитку промислових підприємств [4]:

1. Зменшення використання шкідливих для навколишнього середовища матеріалів і ресурсів.
2. Впровадження зелених технологій та інновацій, зокрема використання альтернативних джерел енергії, зменшення викидів шкідливих речовин та сприяння розвитку екологічно чистих технологій.
3. Сприяння екоосвіті та обізнаності про екологічні проблеми серед споживачів і працівників.
4. Збереження ресурсів. Промислові підприємства повинні раціонально використовувати природні ресурси, включаючи енергію, воду, сировину тощо. Пропонується застосування енергоефективних технологій, використання вторинної сировини, мінімізацію відходів та інші заходи для збереження ресурсів.
5. Промислові підприємства повинні діяти в рамках екологічних стандартів і враховувати вплив своєї діяльності на навколишнє середовище.

Для виживання і стабільного розвитку підприємств в умовах військових дій необхідно враховувати безпекову ситуацію, зміни в соціально-економічних процесах. Промисловість є важливим елементом сталого розвитку, стабільна робота підприємств має сприяти зростанню економіки країни, екологічній стійкості та соціальній справедливості. Сталий розвиток промислових підприємств передбачає збалансоване економічне зростання, ефективне використання ресурсів і збереження соціальних, культурних та екологічних аспектів.

Література

[1] Оновлена оцінка потреб України на відновлення та відбудову (2026). https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2026/02/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released (дата звернення 26.08.2026).

[2] Ukraine Plan 2024 – 2027. 331 p. https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/ukraine-facility-plan.pdf (дата звернення 22.08.2026).

[3] Gulshan Huseynzade (2026). Topical Issues of Sustainable Development of Industrial Enterprises. Topical Issues of Sustainable Development of Industrial Enterprises. International Multidisciplinary Conference on Innovation, Technology and Sustainability. https://doi.org/10.5281/zenodo.18979311 (дата звернення 10.08.2026).

[4] Лавроненко Г.Г. (2024). Сутність та принципи сталого розвитку сфери торгівлі. Економіка та суспільство. Випуск № 64. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-160 (дата звернення 28.08.2026).

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Burunsuz Kateryna
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The importance of the sustainable development of industrial enterprises amidst hostilities is emphasized. The total cost of reconstruction and recovery in Ukraine over the next decade is presented. The key challenges facing Ukraine's economy are outlined. The main components of the sustainable development of industrial enterprises are highlighted.

Keywords: sustainable development, economic growth, social responsibility, environmental balance.

УДК 339.9

ДЕГЛОБАЛІЗАЦІЯ ЧИ ТРАНСФОРМАЦІЯ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ: НОВІ МОДЕЛІ МІЖНАРОДНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПІСЛЯ 2022 РОКУ

Павлова М.,
доктор філософії з економіки
викладач кафедри економіки та цифрового бізнесу
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
mariia.pavlova@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах досліджується трансформація глобалізаційних процесів у сучасній світовій економіці під впливом геополітичних, економічних та технологічних змін після 2022 року. Проаналізовано ключові тенденції деглобалізації, регіоналізації та формування нових моделей міжнародної економічної взаємодії. Розглянуто вплив санкційної політики, фрагментації глобальних ринків та розвитку цифрових технологій на архітектуру сучасної міжнародної торгівлі й інвестицій. Обґрунтовано, що сучасні процеси слід розглядати не як відмову від глобалізації, а як її якісну трансформацію у напрямі формування багатополярної геоекономічної системи.

Ключові слова: глобалізація, деглобалізація, регіоналізація, міжнародна економіка, геоекономіка, глобальні ланцюги вартості, решоринг.

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується глибокими трансформаційними процесами, які різко посилилися після 2022 року внаслідок повномасштабного вторгнення росії в Україну, наростання геополітичної нестабільності, порушення глобальних ланцюгів створення вартості та прискорення економічного протекціонізму. Ці події стали потужним каталізатором, який прискорив раніше намічені тенденції до фрагментації глобальних ринків, які спостерігались ще в умовах торговельних воєн між США та Китаєм (2018–2020рр.) та пандемії COVID-19.

Центральним у наукових та практичних дискусіях стає питання: чи є ці зміни проявом деглобалізації як повернення до економічного протекціонізму та замкнутості, чи ми спостерігаємо якісно новий етап розвитку глобалізації, що характеризується переформатуванням архітектури міжнародних економічних відносин. Відповідь на це питання має принципове значення для вироблення стратегій розвитку як окремих країн, так і міжнародних економічних організацій.

Мета роботи – дослідити сучасні трансформаційні процеси у світовій економіці після 2022 року, визначити ключові тенденції геоекономічної фрагментації та з'ясувати, чи свідчать вони про деглобалізацію, чи про формування нової моделі глобалізації, а також окреслити можливості й виклики цих процесів для економічної інтеграції та повоєнного відновлення України.

Деглобалізація традиційно розглядається в науковій літературі як процес зниження рівня міжнародної економічної інтеграції, скорочення обсягів міжнародної торгівлі та прямих іноземних інвестицій, а також посилення ролі національних держав у регулюванні економіки [1]. Класичними ознаками таких процесів є переорієнтація виробництва на внутрішні ринки, запровадження торговельних бар'єрів, санкцій та фрагментація світових ринків капіталу й технологій.

Дослідники МВФ та СОТ фіксують суперечливість сучасних процесів: незважаючи на посилення протекціонізму, загальний обсяг світової торгівлі товарами та послугами продовжував зростати у 2023–2024 роках, хоча й зі зміною географічної структури [2]. Це свідчить про те, що радикальна деглобалізація не відбувається – натомість відбувається перерозподіл торговельних і інвестиційних потоків.

Більш адекватним є підхід, відповідно до якого сучасні зміни слід трактувати як «глобалізацію 3.0» або «геоекономічну фрагментацію» – перехід від ліберальної моделі відкритої глобальної економіки до

більш складної та суперечливої системи, що поєднує елементи регіоналізації, цифровізації, технологічного декаплінгу та геоекономічної конкуренції [3].

Першою ключовою тенденцією є регіоналізація економічних зв'язків, що проявляється у посиленні ролі регіональних інтеграційних об'єднань та формуванні «економічних блоків». Розширення АСЕАН, зміцнення економічного співробітництва в рамках RCEP, поглиблення інтеграції в рамках ЄС та активізація африканських регіональних ініціатив свідчать про зростання значення регіонального виміру в міжнародних економічних відносинах. Це дозволяє країнам зменшувати залежність від глобальних ризиків та підвищувати стійкість власних економічних систем.

Другою важливою тенденцією є трансформація глобальних ланцюгів створення вартості. Під впливом санкційного тиску, геополітичних ризиків та прагнення до підвищення економічної безпеки компанії все частіше застосовують стратегії reshoring (повернення виробництва на батьківщину), nearshoring (перенесення виробництва у близькі за географією та культурою країни) та friend-shoring (орієнтація на союзницькі держави). За оцінками McKinsey Global Institute, до 2025 року понад 25 % глобальних ланцюгів постачання зазнали суттєвої реструктуризації [4]. Особливо виразно ця тенденція проявляється у секторах напівпровідників, фармацевтики та стратегічних сировинних товарів.

Третьою тенденцією є технологічний декаплінг між провідними геоекономічними блоками. Обмеження у сфері експорту передових напівпровідників та технологій штучного інтелекту, запроваджені США щодо Китаю у 2022-2024 роках, поклали початок формуванню паралельних технологічних екосистем. Це несе в собі ризики виникнення так званого «технологічного залізного спустошення», що матиме довгострокові наслідки для глобальної інноваційної системи [5].

Четвертою тенденцією є цифрова трансформація міжнародної торгівлі. Цифрові платформи, транскордонна електронна комерція та обіг даних стають новими «магістралями» глобалізації. За даними ЮНКТАД, обсяг глобальної цифрової торгівлі послугами перевищив 3,5 трлн дол. США у 2023 році і продовжує зростати [6]. Парадоксально, але саме цифровізація утримує глобальну економіку від повної фрагментації, забезпечуючи нові форми взаємозалежності.

П'ятою тенденцією є посилення ролі держав у регулюванні зовнішньоекономічної діяльності через призму концепції «економічної безпеки». Промислова політика переживає справжній ренесанс: американський "Inflation Reduction Act" (2022), "CHIPS and Science Act" (2022), Закон ЄС про промисловий нульовий викид (2023) є яскравими прикладами повернення держав до активного формування конкурентних переваг у стратегічних галузях.

Для України трансформація глобалізації має подвійне значення. З одного боку, геополітична переорієнтація Заходу на зниження залежності від авторитарних держав відкриває можливості для поглиблення інтеграції України в ланцюги вартості ЄС, залучення інвестицій у рамках "friend-shoring" та прискорення євроінтеграційного процесу. Підписання угод про гарантії безпеки з провідними державами G7 та перспектива членства в ЄС формують нову геоекономічну реальність для України.

З іншого боку, реструктуризація глобальної торгівлі та енергетичних ринків, зростання вартості фінансування та конкуренція за іноземні інвестиції ускладнюють повоєнне відновлення. Успіх інтеграції України в нову модель глобалізації залежатиме від швидкості інституційних реформ, розвитку цифрової інфраструктури та здатності підприємств адаптуватися до нових вимог глобальних ланцюгів постачання.

Аналіз сучасних тенденцій дозволяє зробити висновок, що після 2022 року глобалізація зазнає суттєвих якісних змін, які не є простою деглобалізацією. Відбувається формування нової, більш фрагментованої, але водночас цифрово пов'язаної архітектури міжнародних економічних відносин, яку можна охарактеризувати як «геоекономічну глобалізацію».

Ключовими рисами нової моделі є: домінування логіки економічної безпеки над логікою економічної ефективності; посилення регіоналізації при збереженні глобальних зв'язків у цифровому просторі; трансформація ланцюгів вартості в напрямі стійкості та диверсифікації; технологічний декаплінг між провідними геоекономічними блоками; повернення активної промислової політики держави.

У таких умовах країни повинні адаптувати свої стратегії розвитку, поєднуючи інтеграцію у світову економіку з посиленням внутрішньої економічної стійкості, диверсифікацією партнерств та прискореним розвитком цифрових компетенцій. Для України це означає необхідність максимально використати «вікно можливостей», що відкривається в рамках євроінтеграції та реструктуризації глобальних ланцюгів постачання.

Література

[1] Rodrik D. The Globalization Paradox: Democracy and the Future of the World Economy. New York : W. W. Norton & Company, 2011. 368 p.

[2] International Monetary Fund. World Economic Outlook: Navigating Global Divergences. Washington, DC : IMF, 2023. 195 p. URL: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2023/10/10/world-economic-outlook-october-2023 (дата звернення: 11.09.2026).

[3] Farrell H., Newman A. Weaponized Interdependence: How Global Economic Networks Shape State Coercion. International Security. 2019. Vol. 44, № 1. P. 42–79. DOI: https://doi.org/10.1162/isec_a_00351.

[4] McKinsey Global Institute. Geopolitics and the Geometry of Global Trade. New York : McKinsey & Company, 2024. 112 p. URL: https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/geopolitics-and-the-geometry-of-global-trade (дата звернення: 11.09.2026).

[5] Antràs P. De-Globalisation? Global Value Chains in the Post-COVID-19 Age. National Bureau of Economic Research Working Paper. 2020. № 28115. URL: https://www.nber.org/papers/w28115 (дата звернення: 11.09.2025).

[6] UNCTAD. Digital Economy Report 2024: Shaping an Equitable Digital Future. Geneva : United Nations, 2024. 210 p. URL: https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2024 (дата звернення: 11.09.2026).

[7] Кібальник, Л., & Черкащенко, А. (2025). Фрагментація світової економіки як чинник економічного розвитку України. Економіка та суспільство, (81). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-81-35

[8] Кравчук Н. Я. Деглобалізація як виклик для країн з відкритою економікою. Міжнародна економічна політика. 2023. № 2 (39). С. 28–49.

[9] World Trade Organization. World Trade Report 2023: Re-Globalization for secure, inclusive and sustainable future: WTO, 2023. 230 p. URL: https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr23_e/wtr23_e.pdf (дата звернення: 11.09.2026).

DEGLOBALIZATION OR TRANSFORMATION OF GLOBALIZATION: NEW MODELS OF INTERNATIONAL ECONOMIC INTERACTION AFTER 2022

Mariia Pavlova

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The theses examine the transformation of globalization processes in the modern world economy under the influence of geopolitical, economic and technological changes after 2022. The key trends of deglobalization, regionalization and the formation of new models of international economic interaction are analyzed. The impact of sanctions policy, fragmentation of global markets and the development of digital technologies on the architecture of modern international trade and investment is considered. It is substantiated that modern processes should be considered not as a rejection of globalization, but as its qualitative transformation towards the formation of a multipolar geoeconomic system.

Keywords: globalization, deglobalization, regionalization, international economy, geoeconomics, global value chains, reshoring.

УДК 747:338.124

ЕКОНОМІЧНІ ЦИКЛИ ЯК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦІЇ ДИЗАЙНЕРСЬКИХ РІШЕНЬ В ІНТЕР'ЄРІ

Сергієнко О.М.,
старший викладач кафедри дизайну
Філатова В.М.,
студентка 3-го курсу кафедри дизайну
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
vvs64728@gmail.com, filatovavladislava13@gmail.com

Анотація. У дослідженні визначено взаємозв'язок між економічними циклами та трансформацією дизайну інтер'єру. На основі аналізу історичних прикладів і професійних видань визначено характерні зміни у виборі матеріалів, просторових рішень та принципів організації простору. Обґрунтовано роль концепції сталого дизайну як сучасного підходу до ресурсноефективного дизайну.

Ключові слова: дизайн інтер'єру, економічні цикли, сталий дизайн, матеріали, колір, апсайклінг

Дизайн інтер'єру є міждисциплінарною сферою, розвиток якої визначається не лише художньо-естетичними, а й соціально-економічними чинниками. Зміни економічної ситуації впливають на доступність ресурсів, структуру споживання та інвестиційну активність, що зумовлює трансформацію підходів до проєктування житлового середовища.

Метою роботи є дослідження впливу економічних циклів на трансформацію дизайнерських рішень в інтер'єрі, визначення характерних змін у використанні *матеріалів, кольорової палітри, принципів організації простору* та висвітлення цих тенденцій у професійних виданнях.

Економічні цикли є одним із чинників, що впливають на формування дизайнерських тенденцій, оскільки визначають рівень купівельної спроможності населення, інвестиційну активність та пріоритети споживачів. У періоди економічного підйому зростає попит на *індивідуальні інтер'єрні рішення* та *персоналізацію простору*. Дизайн дедалі частіше розглядається не лише як функціональне середовище, а й як спосіб самовираження та довгострокова інвестиція в якість житла. Це проявляється у формуванні середовища відповідно до особистості, досвіду, способу життя та естетичних уподобань користувача за допомогою авторських меблів, складних декоративних композицій із натуральної деревини (дуб, горіх), текстилю (бавовна, льон, шовк), кольорового скла та природного каменю (мармур, травертин). Поширюються відкриті планування, просторі кухні-вітальні та диференційоване зонування. У колірних рішеннях переважають «дорогі» на вигляд глибокі тони (смарагдовий, бордовий, темно-синій) у поєднанні з металевими акцентами золотистого та латунного кольорів, що підкреслюють статус інтер'єру. Конкретна палітра при цьому може варіюватися залежно від культурно-історичного контексту [3, 4].

Показовим прикладом впливу економічного підйому є післявоєнний економічний бум в США 1950–1960-х років, коли стиль Mid-century Modern став символом масового житлового будівництва та технологічного розвитку. Публікації House Beautiful і Architectural Digest популяризували ергономічні відкриті планування, серійні дизайнерські меблі з горіхової деревини, формованої фанери та пластику, а також поєднання гірчичного, оливкового, помаранчевого й бірюзового кольорів, що відображало суспільний оптимізм і зростання рівня життя [4, 5].

Водночас економічний спад суттєво змінює споживчу поведінку. За умов фінансової нестабільності основними критеріями вибору стають *функціональність, довговічність та економічна доцільність* дизайнерських способів організації простору. У відповідь на ці зміни поширюються принципи мінімалізму, використання багатофункціональних меблів, модульних конструкцій і систем вбудованого зберігання, а також компактні планувальні рішення з об'єднанням функціональних зон, що дають змогу максимально ефективно використовувати площу житла. Зростає попит до покриттів із тривалим терміном експлуатації (ламінат, керамічну плитку), а також до використання відновленої деревини, переробленого скла, металу, текстилю та реставраційних меблів. У кольоровій палітрі частіше домінують нейтральні відтінки (білому, сірому, бежевому та природним відтінкам). Ці кольори забезпечують універсальність інтер'єру та потребують меншої кількості декоративних елементів, спрощують його адаптацію до зміни потреб користувачів і візуально збільшують простір, що особливо актуально для компактного житла [5].

Аналогічні процеси простежуються під час великої депресії в США (1929–1939), коли економічна криза зумовила відмову від надмірної декоративності на користь функціональних і доступних інтер'єрів. Раціональне використання площі, універсальні меблі та прості конструктивні рішення стали відповіддю на обмежені фінансові можливості населення. Схожа тенденція наявна і після світової фінансової кризи 2008 року, коли професійні журнали Interior Design, Elle Decor та Architectural Digest акцентували увагу на інтер'єрах невеликих квартир, меблях трансформерах та відкритих стелажних системах. У матеріалах переважали ламінат, натуральна та відновлена деревина, метал, скло, а в оздобленні керамічна плитка та вінілові покриття (LTV), що поєднували практичність, довговічність і відносно доступну вартість. Такі рішення відповідали змінам споживчих пріоритетів в умовах економічноїх нестабільності [2, 6].

Відповіддю на такі зміни стало зародження та поширення концепції *Design for Sustainability* (D4S) (проєктування для сталого розвитку), яка інтегрує економічні, екологічні та соціальні аспекти створення продукції й просторового середовища [1]. Вона орієнтується на повний життєвий цикл виробу, приділяючи увагу довговічності, ремонту, модернізації, повторному та ефективному використанню ресурсів.

Практичним втіленням принципів D4S є *апсайклінг* (створення виробів із вищою цінністю шляхом переосмислення вже існуючих матеріалів або предметів) [1, 2, 6]. На відміну від традиційного перероблення (recycling), апсайклінг передбачає збереження якості матеріалу. У дизайні він реалізується через реставрацію вінтажних меблів, використанні деревини від демонтованих будівель, виготовлення світильників із промислових деталей, оздоблення стін переробленою цеглою або металом та інтеграцію текстильних виробів із вторинної сировини. Таким чином, апсайклінг у сучасному дизайні інтер'єру є не лише екологічною ініціативою, а й економічно обґрунтованою відповіддю на зміну споживчих пріоритетів у періоди кризи, що відкриває нові можливості для бюджетного відновлення пошкодженої інфраструктури в умовах обмежених ресурсів.

Висновки. Встановлено, що економічні цикли є важливим чинником трансформації дизайнерських рішень в інтер'єрі, впливаючи на вибір матеріалів, кольорової палітри, принципів організації простору та функціональність житлового середовища. Економічне зростання сприяє розвитку індивідуалізованих і декоративно насичених інтер'єрів, тоді як періоди економічної нестабільності актуалізують ресурсноефективні підходи, мінімалізм, використання вторинних матеріалів та апсайклінг. Аналіз історичних прикладів і професійних видань підтверджує взаємозв'язок між економічними процесами та еволюцією дизайнерських тенденцій. Отримані результати можуть бути використані при формуванні

сучасних концепцій сталого дизайну та проєктуванні інтер'єрів в умовах післявоєнного відновлення України.

Література

[1] Crul M., Diehl J. Design for Sustainability: A Step-by-Step Approach (D4S). – Paris: United Nations Environment Programme; Delft University of Technology, 2009. – 184 p.

[2] Sung K. A Review on Upcycling: Current Body of References, Knowledge Gaps and a Way Forward // Proceedings of the 17th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability. – 2015. – P. 28–40.

[3] Heskett J. Creating Economic Value by Design // International Journal of Design. – 2009. – Vol. 3, № 1. – P. 71–84.

[4] Pine B. J., Gilmore J. H. The Experience Economy. – Updated ed. – Boston: Harvard Business Review Press, 2011. – 416 p.

[5] Ching F. D. K. Interior Design Illustrated. – 4th ed. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018. – 352 p.

[6] Ellen MacArthur Foundation. Towards the Circular Economy. Vol. 1: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. – Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013. – 96 p.

ECONOMIC CYCLES AS A FACTOR IN THE TRANSFORMATION OF INTERIOR DESIGN SOLUTIONS

Serhiienko O. M., Filatova V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The study identifies the relationship between economic cycles and changes in interior design. It analyses changes in the use of materials, colour schemes and principles of spatial organisation during periods of economic upturns and downturns. It is concluded that economic changes contribute to the development of functional, resource-efficient and sustainable design.

Keywords: interior design, economic cycles, sustainable design, materials, colour, upcycling

УДК 331.101.262:330.341.1

СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ ТА ВІДТВОРЕННЯ ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

Шевчук С.В.,

доцент кафедри фінансів і бухгалтерського обліку

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджено вплив інтелектуалізації економіки та штучного інтелекту на трансформацію зайнятості в Україні. Визначено, що автоматизація змінює зміст професій і загострює ризики структурного безробіття на тлі гострого дефіциту кваліфікованих кадрів. Обґрунтовано пріоритетні напрями розвитку кадрового потенціалу через реформу освіти, розбудову системи безперервного навчання та стимулювання реінтеграції фахівців.

Ключові слова: інтелектуалізація економіки, штучний інтелект, зайнятість населення, людський капітал.

Вступ. Стрімка інтелектуалізація економіки, зумовлена поширенням цифрових технологій, штучного інтелекту (далі ШІ) і систем прийняття рішень суттєво докорінно змінює структуру зайнятості населення та вимоги до людського капіталу. За оцінками Міжнародної організації праці приблизно кожен четвертий працівник у світі зайнятий у професії, потенційно схильній до впливу ШІ, проте найімовірнішим наслідком такого впливу є трансформація змісту праці, а не масове заміщення працівників [1]. За прогнозами Всесвітнього економічного форуму (далі ВЕФ), до 2030 р. структурні зміни ринку праці створять 17 млн нових робочих місць і скоротять 9 млн наявних, а 39 % ключових навичок працівників буде трансформовано або вони застаріють [2].

Для України ця тенденція супроводжується рядом системних викликів. Повномасштабна війна спричинила вимушену міграцію та відплив висококваліфікованих фахівців за кордон, що вже нині послаблює якість і кількість наявного людського капіталу [3]. Нинішній прямий вплив ШІ на національний ринок праці поки що помірний. Проте динаміка попиту на відповідні компетенції та занепокоєння самих працівників свідчать про формування попиту щодо нових компетенцій в умовах економіки знань.

Метою дослідження є визначення основних наслідків впливу інтелектуалізації економіки на зайнятість населення України та обґрунтування пріоритетних напрямів трансформації відтворення людського капіталу, що відповідали б викликам економіки знань і забезпечували зниження ризиків структурного безробіття.

Аналіз наукових джерел і статистичних тенденцій дає підстави виокремити декілька ключових наслідків впливу інтелектуалізації економіки на зайнятість населення України. По-перше, попит на рутинну, стандартизовану працю (як фізичну, так і частину інтелектуальної) скорочується, тоді як зростає попит на працівників, здатних виконувати нестандартні, творчі та аналітичні завдання, а також на працівників, зайнятих у сферах, що важко піддаються автоматизації. ВЕФ прогнозує, що до 2030 р. структурні трансформації охоплять 22 % нинішніх робочих місць [2]. Про зміщення попиту свідчить і те, що кількість вакансій, які передбачають ШІ-компетенції, зросла на 69 % [4].

По-друге, змінюється сам зміст професій. Нові технології автоматизують окремі завдання в їх межах професії, що вимагає від фахівців постійного оновлення компетенцій, а не одноразового здобуття кваліфікації. За даними ВЕФ, роботодавці очікують, що 39 % ключових навичок працівників зміниться до 2030 р., а найбільш затребуваними залишаються навички аналітичного мислення [2].

По-третє, воєнні та демографічні втрати людського капіталу. Вимушена міграція, мобілізація та демографічна криза звужують кадрову базу, необхідну для заповнення нових, технологічно складних робочих місць, і посилюють диспропорцію між попитом і пропозицією кваліфікованої праці Обґрунтування мети дослідження полягає в тому, що подолання ризиків структурного безробіття можливе лише за умови стратегічного розвитку людського капіталу.

У зв’язку з цим доцільно виокремити такі пріоритетні напрями трансформації людського капіталу в Україні:

реформування системи освіти (середньої, професійної, вищої) в напрямі розвитку цифрових, аналітичних і соціально-емоційних компетенцій, які найменше піддаються цифровізації, зі збереженням фундаментальної підготовки;

формування національної моделі безперервного навчання, що включає визнання неформальної освіти та мікрокваліфікацій, доступних для дорослого населення і внутрішньо переміщених осіб;

державну підтримку перекваліфікації працівників професій, що перебувають під найбільшим ризиком цифровізації;

реалізацію соціальної інвестиційної політики, спрямованої на відновлення й нарощення людського капіталу як основи підвищення продуктивності економіки, зокрема через інвестиції в охорону здоров’я, освіту та безпечні умови праці;

створення умов для повернення й реінтеграції кваліфікованих кадрів, що виїхали за кордон, шляхом розвитку гідних робочих місць у сферах економіки знань;

розвиток гнучких форм зайнятості та цифрової інфраструктури ринку праці.

Реалізація зазначених напрямів у комплексі формує основу стратегії розвитку та відтворення людського капіталу, здатної одночасно пом’якшити негативні наслідки інтелектуалізації економіки для зайнятості та використати її як джерело зростання продуктивності й конкурентоспроможності національної економіки.

Висновки. Інтелектуалізація економіки чинить суперечливий вплив на зайнятість населення України: з одного боку, вона скорочує попит на рутинну працю і створює ризик зростання структурного безробіття, з іншого – формує нові робочі місця у сферах економіки знань, доступ до яких потребує якісно нового рівня людського капіталу. Міжнародні оцінки свідчать, що домінуючим наслідком ШІ є трансформація завдань і навичок, а не масове заміщення професій. В Україні нині ключовим викликом залишається дефіцит кваліфікованих кадрів, посилений війною, демографічною кризою та трудовою міграцією. Подолання зазначених ризиків можливе лише за умови реалізації стратегії розвитку та відтворення людського капіталу, що поєднує реформування освіти, розбудову системи безперервного навчання, соціальну інвестиційну політику та створення умов для повернення кваліфікованих кадрів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення кількісних моделей оцінювання впливу інтелектуалізації на структуру зайнятості в розрізі окремих галузей економіки України.

Література

[1] Gmyrek P. et al. Generative AI and Jobs: A Refined Global Index of Occupational Exposure. ILO Working Paper 140. Geneva : International Labour Organization, 2025. URL: https://webapps.ilo.org/static/english/intserv/working-papers/wp140/index.html

[2] World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2025. Geneva, 2025. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_Report_2025.pdf

[3] Зінченко М. Людський капітал – основний актив України: проблеми та механізми повернення після війни. Просторовий розвиток. 2024. № 10. С. 582–592. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.582-592

[4] PwC. Барометр впливу ШІ на глобальний ринок праці у 2026 році. PwC Україна. 2026. URL: https://www.pwc.com/ua/uk/survey/2026/ai-jobs-barometer-2026.html

STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT AND REPRODUCTION OF UKRAINE'S HUMAN CAPITAL IN THE CONDITIONS OF THE INTELLECTUALIZATION OF THE ECONOMY

S.V. Shevchuk

The Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article investigates the impact of the intellectualization of the economy and artificial intelligence on the transformation of employment in Ukraine. It determines that automation alters the professional content of occupations and exacerbates the risks of structural unemployment against the backdrop of an acute shortage of skilled personnel. The priority directions for human resource potential development are substantiated through educational reform, the deployment of a lifelong learning system, and the stimulation of specialist reintegration.

Keywords: intellectualization of the economy, artificial intelligence, population employment, human capital.

УДК 658.5:330.341.1:502.131.1

УПРАВЛІНСЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯРНИХ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ

Кирнос А.Є.,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
kirnos.anton11@gmail.com
Руснак А.В.,
доктор економічних наук, професор,
в.о. завідувача кафедри економіки Херсонського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
rusnak_av@meta.ua

Анотація. Обґрунтовано методичний підхід до оцінювання готовності підприємств до впровадження циркулярних бізнес-моделей. Визначено ключові складові циркулярної готовності та запропоновано систему індикаторів для їх оцінювання. Розроблено алгоритм визначення інтегрального індексу циркулярної готовності підприємства та запропоновано градацію його рівнів. Визначено відповідні управлінські рішення щодо вибору траєкторії циркулярної трансформації.

Ключові слова: циркулярна бізнес-модель, циркулярна готовність, управлінський інструментарій, діагностика, індикатори, інтегральний індекс, циркулярна трансформація.

Перехід підприємств до циркулярної економіки передбачає принципову зміну підходів до використання ресурсів, організації виробничих процесів та формування цінності. Циркулярна бізнес-модель орієнтується на скорочення споживання первинних ресурсів, продовження життєвого циклу продукції, повторне використання, ремонт, відновлення та повернення матеріалів у господарський оборот [1].

Однак можливість застосування окремих циркулярних практик ще не означає готовності підприємства до системної трансформації бізнес-моделі. Відсутність відповідної технологічної бази, компетентностей персоналу, фінансових ресурсів або партнерських зв'язків може суттєво обмежувати результативність таких змін. Тому впровадженню циркулярної бізнес-моделі має передувати комплексна діагностика готовності підприємства.

Під циркулярною готовністю підприємства доцільно розуміти його здатність здійснювати організаційні, технологічні, ресурсні, фінансові та ринкові зміни, необхідні для переходу від лінійної до циркулярної моделі створення цінності.

Оцінювання пропонується здійснювати за шістьма функціональними блоками:

1. Стратегічно-управлінська готовність – наявність циркулярних цілей у стратегії підприємства, підтримка змін керівництвом, визначення відповідальних осіб та готовність системи менеджменту до трансформації.
2. Ресурсна готовність – рівень матеріаломісткості, можливості скорочення використання первинної сировини, повторного застосування ресурсів та використання вторинних матеріалів.
3. Технологічна готовність – здатність виробничої системи забезпечувати ремонт, модернізацію, відновлення, переробку продукції та замикання матеріальних потоків.
4. Фінансово-інвестиційна готовність – наявність фінансових ресурсів для модернізації, можливість залучення зовнішнього фінансування та здатність оцінювати економічну ефективність циркулярних проєктів.
5. Ринкова готовність – наявність попиту на екологічні та відновлені товари, готовність споживачів до нових форм користування продукцією, можливості сервісного обслуговування та повторного продажу.
6. Кооперaційна готовність – здатність підприємства формувати партнерські зв'язки з постачальниками, споживачами, переробними підприємствами та іншими учасниками циркулярного ланцюга створення цінності.

Для практичного застосування кожен блок доцільно оцінювати за системою індикаторів із використанням п'ятибальної шкали: від 1 бала – фактична відсутність необхідних передумов, до 5 балів – високий рівень готовності.

На основі часткових оцінок пропонується визначати інтегральний індекс циркулярної готовності підприємства (ІЦГ):

$$ІЦГ = \Sigma (I_i \times w_i),$$

де I_i – оцінка і-ї складової циркулярної готовності; w_i – ваговий коефіцієнт відповідної складової; $\Sigma w_i = 1$.

Для інтерпретації результатів доцільно використовувати таку шкалу:

– 1,00–2,49 – низький рівень готовності;
– 2,50–3,74 – середній рівень готовності;
– 3,75–5,00 – високий рівень готовності.

За низького рівня підприємству доцільно зосередитися на формуванні базових передумов циркулярної трансформації: аудиті матеріальних потоків, підготовці персоналу, пошуку партнерів та визначенні потенційних напрямів повторного використання ресурсів.

Середній рівень дозволяє переходити до пілотних циркулярних проєктів – організації ремонту та відновлення продукції, повернення використаних виробів, застосування вторинної сировини або реалізації окремих рішень промислового симбіозу.

Високий рівень готовності створює передумови для комплексної трансформації бізнес-моделі, коли циркулярні принципи інтегруються у закупівлі, виробництво, логістику, збут, післяпродажне обслуговування та управління життєвим циклом продукції.

Для підвищення обґрунтованості управлінських рішень доцільно доповнити інтегральне оцінювання матрицею «циркулярний потенціал – організаційна готовність». Вона дозволяє виділити чотири типові ситуації:

– низький потенціал – низька готовність: моніторинг та підготовка передумов;
– високий потенціал – низька готовність: формування необхідних компетентностей і ресурсів;
– низький потенціал – висока готовність: пошук альтернативних циркулярних рішень;
– високий потенціал – висока готовність: масштабування циркулярної бізнес-моделі.

Таким чином, оцінювання готовності набуває не лише діагностичного, а й стратегічно-управлінського значення, оскільки дозволяє визначити конкретну траєкторію трансформації для кожного підприємства.

Важливою умовою є регулярність оцінювання. Циркулярна готовність не є статичною характеристикою: технологічне оновлення, навчання персоналу, зміна структури ресурсів, формування нових партнерств та реалізація пілотних проєктів поступово змінюють спроможність підприємства до переходу на циркулярні принципи господарювання.

Отже, запропонований управлінський інструментарій поєднує систему індикаторів, бальне оцінювання, інтегральний індекс циркулярної готовності та матрицю вибору управлінських рішень. Його застосування дозволяє перейти від декларативного прагнення до циркулярності до обґрунтованого визначення фактичної спроможності підприємства здійснювати відповідні зміни.

Оцінювання готовності доцільно розглядати як початковий етап управління циркулярною трансформацією підприємства. На його основі можуть формуватися дорожня карта переходу до циркулярної бізнес-моделі, пріоритети інвестування, система цільових показників та механізми контролю результативності трансформаційних заходів.

Література

[1] Bocken N. M. P., de Pauw I., Bakker C., van der Grinten B. Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*. 2016. Vol. 33, No. 5. P. 308–320.

[2] Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P., Hultink E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768.

[3] Ellen MacArthur Foundation. *Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. 2015. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org (дата звернення: 21.09.2026).

[4] European Commission. *Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe*. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en (дата звернення: 21.09.2026).

[5] OECD. The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report. Paris: OECD Publishing, 2020.

MANAGEMENT TOOLS FOR ASSESSING ENTERPRISE READINESS FOR THE IMPLEMENTATION OF CIRCULAR BUSINESS MODELS

Kyrnos A.Ye., Rusnak Alla

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. A methodological approach to assessing enterprise readiness for the implementation of circular business models is substantiated. The key components of circular readiness are identified and a system of indicators for their assessment is proposed. An integrated circular readiness index and a scale for interpreting its levels are developed. The relationship between the level of readiness and management decisions regarding the trajectory of circular transformation is determined.

Keywords: circular business model, circular readiness, management tools, diagnostics, indicators, integrated index, circular transformation.

УДК 005.2:658

ТРАНСФОРМАЦІЯ ТЕОРІЇ Й ПРАКТИКИ МЕНЕДЖМЕНТУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ КАСКАДНИХ КРИЗ

Трунін К.С.,
доцент кафедри двигунів та енергетичних установок,
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Первомайськ, Україна
trunin.konstantin.stanislav@gmail.com
Сіренко І.В.,
кандидат економічних наук, доцент
grayplusigor@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Сучасний менеджмент трансформується з урахуванням викликів та загроз, що виникають в умовах безперервних непов'язаних криз різного характеру та вимагають подолання низки обмежень для забезпечення резильєнтності організацій. Визначені та узагальнені такі трансформації. Дослідження дозволяє спрогнозувати напрямки майбутніх змін в загальній теорії управління та визначити найбільш перспективні механізми управління, які забезпечать тривале виживання вітчизняних підприємств в умовах *BANI*-світу.

Ключові слова: менеджмент, трансформація, антикрихкість, ефективність, адаптивність, стійкість, цифровізація, кризи, глобалізація, ланцюги постачання, людські ресурси, гуманізація, комунікації, децентралізація.

Вступ. Розвиток загальної теорії управління передбачає постійну трансформацію її положень відповідно до змін середовища функціонування організацій. В сучасному світі одним із факторів, що зумовлює таку трансформацію менеджменту, є вплив кризових явищ – економічних та енергетичних криз XXI століття, пандемії 2020-21 років, тероризму та збройних конфліктів високої інтенсивності, санкцій тощо. Україна є показовим комплексним кейсом, оскільки її бізнес-середовище протягом останніх десятиліть зазнало впливу більшості зазначених кризових факторів, у т.ч. одночасно.

Мета роботи – дослідити вплив сучасних конфліктів високої інтенсивності на необхідність та напрямки трансформації загальної теорії управління та її прикладного застосування.

Основна частина. Сучасні умови каскадних криз із нелінійними наслідками спонукають теорію і практику менеджменту до трансформації від орієнтації на класичний цикл управління у стабільних умовах до формування системи засобів, яка забезпечує виживання, адаптацію та швидке реагування в умовах, що можуть бути описані через рамку *BANI*. При цьому підприємства відчувають вплив не стільки фізичного знищення, як порушення ресурсного забезпечення і традиційних способів збуту [1]. Тож класичний менеджмент не замінюється, а доповнюється новими вимогами до стійкості, адаптивності та здатності працювати в умовах перманентної невизначеності [2].

Якщо вийти за межі України та проаналізувати сучасні високоінтенсивні конфлікти по всьому світу (на Близькому Сході, у Червоному морі, громадянські війни та прикордонні сутички в Африці, тощо), врахувати наслідки пандемії COVID-19 і численних економічних та енергетичних криз, можна виділити кілька ключових тенденцій трансформації менеджменту та корпоративного управління, що виникли або загострилися під впливом таких криз.

Перш за все виділимо зсув пріоритетів. Якщо традиційні підходи до управління орієнтовані на забезпечення ефективності, економічного результату і довгострокової прибутковості бізнесу, то в умовах масштабних криз і високої невизначеності пріоритетного значення набувають виживання, безперервність діяльності та організаційна резильєнтність, що забезпечуються передусім адаптивністю та людино-центричністю управління.

При цьому управління здійснюється в умовах одночасного дефіциту основних ресурсів: людського капіталу, фінансів, енергії, сировини, транспортних та інших виробничих потужностей. Тому в менеджменті відбувається перехід від концепції оптимального використання ресурсів до концепції забезпечення необхідного результату за їх обмеженої доступності. Відповідно, зростає значення гнучкого перерозподілу ресурсів, визначення критичних потреб, створення резервів та пошуку альтернативних джерел і способів їх використання.

В умовах, коли непередбачувано змінюються попит, логістика, енергопостачання, доступність ресурсів та безпекова ситуація, відбувається зміщення від переважно довгострокового стратегічного планування та управління ідентифікованими ризиками до більш адаптивного управління в умовах невизначеності: безперервного сценарного планування, коротких циклів *PDCA*, стрес-тестування рішень та симуляційного моделювання. Цю трансформацію управлінських акцентів умовно можна представити як рух від ефективності через ризик- та антикризове управління до безперервності бізнесу, організаційної стійкості та адаптивної організації [3].

Аналогічно в ресурсному забезпеченні ключова увага зміщується від максимізації ефективності використання наявних ресурсів до забезпечення їх доступності та стійкості. У практиці, орієнтованій на максимальну операційну ефективність, ця логіка часто набувала вигляду: «дешевий постачальник – мінімальний запас – максимальне завантаження потужностей – вузька спеціалізація – мінімальні витрати – максимальна оборотність – висока ефективність – максимальний прибуток». Низка криз XXI століття продемонструвала, що надмірна оптимізація ресурсів може підвищувати вразливість організації від впливу зовнішніх факторів [4], що підтверджується, зокрема, дослідженнями Світового банку [1].

Нова логіка менеджменту полягає не у відмові від ефективності, а в поєднанні *Efficiency* + *Resilience* + *Agility:* «диверсифікований пул постачальників – достатній запас – безпечне завантаження, створення резерву та розосередження потужностей – крос-функціональні компетентності в ланцюзі постачання – витрати, що забезпечують необхідний рівень гнучкості, надійності та стійкості – достатня (не максимальна) оборотність – висока резильєнтність – довгострокова життєздатність і розвиток». При цьому змінюється й саме розуміння ефективності: замість максимізації результату за мінімальних витрат критерієм управлінської оптимальності стає баланс між економічністю, надійністю, резервуванням і безпекою.

Для реалізації такої логіки в сучасному менеджменті активно розвиваються концепції *dynamic capabilities*, організаційної гнучкості, організаційної резильєнтності, управління безперервністю бізнесу та використання цифрових технологій як каталізаторів адаптації. Досвід українського бізнесу підтверджує цю тенденцію: за даними Світового банку, підприємства, які продовжили працювати після початку повномасштабного вторгнення, активно адаптували бізнес-стратегії та впроваджували цифрові інструменти [5]. Цифровізація управління взагалі стала трендом на всіх рівнях, дозволивши покращити інформаційну безпеку, налагодити дистанційну роботу, автоматизувати рутинні процеси тощо – для практики сучасного менеджменту цифровізація розглядається як один із ключових інструментів забезпечення організаційної резильєнтності, а науковці використовують не тільки ШІ, а й цифрові інструменти збору й обробки первинних даних [6].

У цьому контексті з'являється концепція *Antifragility* – здатності організації не лише витримувати потрясіння та відновлюватися після них, а й використовувати досвід стресів і криз для організаційного навчання, адаптації, інновацій та посилення власних можливостей [7]. Важливими передумовами

формування *antifragility* організації є людино-центричність управління, ефективні комунікації, гуманізація та децентралізація прийняття рішень.

Інформація та комунікації стали критичними чинниками організаційної стійкості не тільки в кризових умовах. Так, чітка моральна позиція та відповідальне ставлення до працівників, клієнтів, партнерів і суспільства формують основу сучасного підходу до корпоративної відповідальності, що знаходить відображення, зокрема, у підходах ILO [8] та OECD [9]. Прозорі комунікації із зацікавленими сторонами при цьому є важливою умовою формування та підтримання ділової репутації й одночасно елементом кризового управління. Водночас зростають вимоги до інформаційної стійкості організацій – захисту від дезінформації, кібер-загроз, deepfake-контенту та інших форм цілеспрямованого інформаційного впливу.

Гуманізація в сучасному менеджменті передбачає акцентування на психологічних аспектах взаємодії з людськими ресурсами, перетворюючи їх на важливий елемент організаційної резильєнтності. Трансформація *HRM* відбувається від класичного циклу «планування – набір – відбір – мотивація – оцінювання – розвиток» до значно ширшої схеми «формування – безпека – утримання – адаптивність – взаємозамінність – розвиток – відновлення» людських ресурсів. Класичні ролі менеджера, систематизовані Г. Мінцбергом [10], доповнюються рисами емпатичного лідера, здатного зменшувати ризики хронічного стресу та професійного вигоряння, підтримати підлеглих і колег у кризові моменти та сприяти подоланню інших негативних наслідків криз.

Водночас традиційні кризові моделі управління часто передбачали посилення централізації прийняття рішень. На противагу цьому сучасною тенденцією є редизайн організацій у напрямку розширеного делегування повноважень і автономії команд для швидкого прийняття рішень на найнижчому компетентному рівні за принципом субсидіарності, а керівник зосереджується на визначенні пріоритетів, меж відповідальності, ресурсних обмежень та контролі результатів (*KPI*/*OKR*).

Висновки. Специфіка сучасної трансформації загальної теорії управління полягає у зміщенні акцентів від максимізації ефективності до забезпечення життєздатності, безперервності діяльності та розвитку організацій в умовах невизначеності. Ця трансформація передбачає посилення ролі резильєнтності та *antifragility*, гнучкості, динамічної адаптації, людиноцентричності та децентралізації управління, що дозволяє говорити про формування нового управлінського підходу – менеджменту в умовах крайньої невизначеності (*Extreme Uncertainty Management*) [11–13].

Література

[1] Brancati Emanuele, Di Maio Michele, Gatti Roberta, Islam Asif M. Under Pressure: Global Evidence on Conflict and Firms. World Bank Group. 2024. URL: https://documents1.worldbank.org/curated/en/099152409052416500/pdf/IDU-75d38ab2-0335-46a4-bbcb-4f91c0cbda6b.pdf.

[2] Трансформація сучасного менеджменту під час війни. URL: https://duikt.edu.ua/ua/news-1-593-12099-transformaciya-suchasnogo--menedzhmentu-pid-chas-viyni_kafedra-menedzhmentu.

[3] Crisis and resilience. International Labor Organization. URL: https://www.ilo.org/resource/other/crisis-and-resilience.

[4] Co-ordinated efforts needed to strengthen and diversify supply chains in response to elevated risks. Organisation for Economic Co-operation and Development. 2 June 2025. URL: https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2025/06/elevated-risks-require-co-ordinated-efforts-to-strengthen-supply-chains-oecd-evidence-shows.html.

[5] The World Bank's International Bank for Reconstruction and Development. Ukraine's Transport and Logistics System Current and Prospective Opportunities and Challenges. URL: https://documents1.worldbank.org/curated/en/ 099061725033525342/pdf/P502442-346a4fd3-882f-46ca-95c9-ce90c0a71619.pdf.

[6] Ukraine Economic Recovery Plan Enabling Private Sector-Led Growth. World Bank Group. 2025. URL: https://www.worldbank.org/en/programs/competitiveness-for-jobs-and-economic-transformation/brief/ukraine-ukraine-economic-recovery-plan-enabling-private-sector-led-growth.

[7] Taleb N. N. Antifragile: things that gain from disorder. New York: Random House, 2012. 426 p.

[8] Responsible business conduct. International Labor Organization. URL: https://www.ilo.org/responsible-business-conduct.

[9] Responsible business due diligence and government procurement. OECD Business and Finance Policy Papers, 2 December 2024. URL: https://www.oecd.org/en/publications/responsible-business-due-diligence-and-government-procurement_e30b4f38-en.html

[10] Skills in fragile settings. International Labor Organization. URL: https://www.ilo.org/skills-fragile-settings.

[11] Копчак Ю., Матвеєв М., Пугачов В. Трансформація сучасного менеджменту в умовах війни. Економіка та суспільство, 2023, № 51. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-24.

[12] Болквадзе Н.І. Менеджмент в умовах нестабільності та війни. Економіка та суспільство, 2024, № 70. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-70-172.

[13] Бей Г., Синиченко А., Маріо Роберто С. М. Менеджмент у часи невизначеності та криз: трансформація управлінської парадигми України. *Економіка та суспільство*. 2025. № 79. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-70.

TRANSFORMATION OF MANAGEMENT THEORY AND PRACTICE UNDER CONDITIONS OF CASCADING CRISES

Kostiantyn S. Trunin

Pervomaysky Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk, Ukraine

Ihor V. Sirenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Modern management requires significant transformation to address the challenges and threats arising from continuous, unrelated crises of various natures; overcoming a range of constraints is essential to ensure organizational resilience. This paper attempts to identify and summarize the directions of such a transformation. The findings enable the forecasting of future changes in general management theory and the identification of the most promising management mechanisms to ensure the survival of domestic enterprises.

Keywords: management, transformation, antifragility, efficiency, adaptability, resilience, digitalization, crises, globalization, supply chains, human resources, humanization, communications, decentralization.

УДК 657

ВІДОБРАЖЕННЯ ВОЄННИХ РИЗИКІВ В ІНТЕГРОВАНІЙ ЗВІТНОСТІ: НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ

Шевчук С.В.,

доцент кафедри фінансів і бухгалтерського обліку

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

sernat1979@gmail.com

Анотація. Розглянуто нормативне регулювання інтегрованої звітності. Виявлено відсутність у міжнародних стандартах регламентів відображення воєнних ризиків і наслідків. Запропоновано порядок розкриття фінансової і нефінансової інформації щодо воєнних ризиків і наслідків у інтегрованій звітності за видами капіталу.

Ключові слова: інтегрована звітність, воєнні ризики і наслідки, капітал

Вступ. Інтегрована звітність – це міжнародно визнаний формат звітності, яка покликана забезпечити потреби внутрішніх і зовнішніх користувачів у фінансовій та нефінансовій інформації з метою оцінки спроможності створення підприємствами вартості у перспективі. Вітчизняним законодавством поки не запроваджено обов'язкове складання підприємствами інтегрованої звітності. Законопроєктом щодо внесення змін до Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні» передбачено впровадження звітності щодо сталого розвитку виключно для великих підприємств починаючи з 2028 року. Сьогодні потребу забезпечення зацікавлених користувачів нефінансовою інформацією реалізовано шляхом запровадження звіту про управління [1]. Відповідно до методичних рекомендацій зі складання звіту про управління розкриття інформації про діяльність має здійснюватися за такими напрямками: опис бізнес-моделі та організаційної структури, результати діяльності, ліквідність і зобов'язання, екологічні аспекти, соціальні аспекти та кадрова політика, ризики, дослідження та інновації, перспективи розвитку, корпоративне управління [2]. Окремого відображення воєнних ризиків і наслідків воєнних дій у звітності не передбачено. Практика відображення такої інформації у звітності має формальний характер без розкриття впливу таких ризиків і наслідків на поточний стан і перспективи формування вартості і безперервності діяльності компанії.

Мета. Метою дослідження є критичний аналіз нормативної бази підготовки інтегрованої звітності в умовах воєнних дій, обґрунтування пропозиції щодо відображення воєнних ризиків і наслідків за ключовими видами капіталів у звітності підприємств України.

Дослідження нормативно-методологічної бази свідчить що жоден із міжнародних стандартів не містить спеціалізованого розділу чи правил відображення фінансової і нефінансової інформації в умовах

воєнних дій. Міжнародна концептуальна основа інтегрованої звітності є сукупністю принципів розкриття інформації щодо взаємозв'язку окремих видів капіталу в процесі створення вартості [3]. Універсальні стандарти серії GRI 1-3 регламентують визначення показників з охорони праці (GRI 403), зайнятості (GRI 401-404), впливу на громади (GRI 413), викидів та відходів (GRI 305, 306). Окремого стандарту для збройних конфліктів GRI не передбачено, що вимагає від підприємств розробляти власні індикатори [4].

Стандарти IFRS S1 [5] та IFRS S2 [6] акцентують увагу на фінансовій суттєвості показників. Розкриттю підлягають ризики та можливості сталого розвитку здатні вплинути на грошові потоки, доступ до фінансування і вартість капіталу. Для оцінки наслідків воєнного контексту може бути використаний сценарний аналіз оцінки стійкості компанії в умовах безпекових ризиків.

При впровадженні інтегрованої звітності в Україні необхідно орієнтуватися на Директиви ЄС щодо корпоративної звітності зі сталого розвитку [7] та європейські стандарти зі звітності сталого розвитку, які вимагають обов'язкового аудиту нефінансових даних і цифрового маркування.

Оскільки міжнародні стандарти сталого розвитку не визначають правил оцінки наслідків воєнних дій, методологічним базисом для структурування воєнних ризиків та заходів реагування може виступити модель множинного капіталу інтегрованої звітності. Розкриття воєнних ризиків у звітності є важливим з позиції оцінки безперервності діяльності підприємства. Лише констатація принципу безперервної діяльності у примітках до звітності, яка не обґрунтована описом конкретних сценаріїв, за яких підприємство зберігає операційну спроможність, є недостатньою. Саме тому наведений нижче перелік показників за видами капіталу групує не лише факти минулих втрат, а й управлінські заходи реагування, які й формують основу для обґрунтованого судження про здатність компанії продовжувати діяльність.

Виробничий капітал. Територіальний розподіл активів (контрольована територія, зона бойових дій, тимчасово окупована територія); втрати від руйнувань, втрати і знецінення активів; капітальні витрати на релокацію, вартість побудови альтернативних логістичних маршрутів та резервних постачальників; інвестиції у альтернативну генерацію електричної енергії і системи її накопичення.

Людський капітал. Кількість і місткість облаштованих укриттів, частка робочих місць із захищеним доступом, втрати робочого часу через повітряні тривоги; чисельність мобілізованих із збереженням робочих місць та програми підтримки їхніх родин; програми фізичної і психологічної реінтеграції ветеранів, адаптації робочих місць; заходи подолання кадрового дефіциту.

Соціально-репутаційний капітал. Систематизована за напрямами та періодами фінансова і матеріальна допомога силам оборони, підтримка громад та внутрішньо переміщених осіб; публічна етична позиція і санкційний комплаєнс.

Інтелектуальний капітал. Захист цифрової інфраструктури (міграція серверних потужностей у хмарні сервіси); забезпечення конфіденційності інформації; адаптація операційних процесів до дистанційного керування; заходи щодо запобігання втраті критичних знань і ноу-хау, ключових фахівців.

Природний капітал. Фіксація екологічної шкоди від обстрілів (забруднення ґрунтів і водойм, пожежі, мінування) з оцінкою за галузевими методиками.

Фінансовий капітал і безперервність діяльності. Стрес-тестування ліквідності за сценаріями тривалого знеструмлення, втрати логістики та покупців; процедурний аудит і документальна фіксація збитків у форматі, придатному для подальшого пред'явлення через міжнародні компенсаційні механізми; викладення стратегії повоєнного відновлення як умови доступу до міжнародного ринку капіталу.

Висновки. Проведений аналіз показує, що чинна нормативна база не вимагає розкриття інформації про воєнні ризики і наслідки. Запропонований розподіл показників за шістьма видами капіталу дозволяє створити послідовну систему розкриття інформації, що пов'язує понесені втрати з конкретними управлінськими діями і судженням про безперервність діяльності. Практичне значення такого підходу полягає в тому, що розкриття воєнних ризиків і наслідків сприятиме формуванню довіри міжнародних партнерів до стійкості бізнес-моделі українських компаній у повоєнний період. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення конкретних кількісних та якісних індикаторів у межах кожного виду капіталу та їх апробація на прикладі звітів про управління українських підприємств.

Література

[1] Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні : Закон України від 16.07.1999 р. № 996-XIV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/996-14

[2]. Про затвердження Методичних рекомендацій зі складання звіту про управління : наказ Міністерства фінансів України від 07.12.2018 р. № 982. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0982201-18#Text

[3]. International Framework (January 2021). IFRS Foundation. URL: https://integratedreporting.ifrs.org/resource/international-ir-framework

[4]. GRI 1: Foundation 2021. Global Sustainability Standards Board, чинний з 01.01.2023. URL: https://www.globalreporting.org/publications/documents/english/gri-1-foundation-2021

[5]. IFRS S1 General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information. ISSB, видано 26.06.2023. URL: https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s1-general-requirements.html

[6]. IFRS S2 Climate-related Disclosures. ISSB, видано 26.06.2023. URL: https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s2-climate-related-disclosures.html

[7]. Directive (EU) 2022/2464 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 amending Regulation (EU) No 537/2014, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Directive 2013/34/EU, as regards corporate sustainability reporting. Official Journal of the European Union. 2022. L 322. P. 15–80. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464

DISCLOSURE OF MILITARY RISKS IN THE INTEGRATED REPORTING OF ENTERPRISES: REGULATORY REGULATION AND PRACTICAL ASPECTS

S.V. Shevchuk

The Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The regulatory framework for integrated reporting is examined. The absence of specialized rules for disclosing the impacts of war in international standards is identified. A procedure for disclosing financial and non-financial information on war risks and consequences by capitals is proposed.

Keywords: integrated reporting, military risks, consequences of military actions

УДК 330.34:004

ІНФОРМАЦІЙНІ ПОСЛУГИ ЯК ІНСТИТУЦІЙНИЙ МЕХАНІЗМ ЕКОНОМІЧНОЇ КООРДИНАЦІЇ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Комишник В.І.,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

e-mail: komvalery@gmail.com

Анотація. Досліджено роль інформаційних послуг у забезпеченні економічної координації в умовах воєнного стану. Обґрунтовано їх значення для зниження інформаційної асиметрії та трансакційних витрат. Проаналізовано динаміку експорту телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг України у 2020–2024 рр. Визначено інституційні передумови підвищення стійкості цього сегмента цифрової економіки.

Ключові слова: інформаційні послуги, цифрова економіка, економічна координація, трансакційні витрати, інформаційна асиметрія, воєнний стан.

Повномасштабна війна суттєво змінила умови функціонування національної економіки. Руйнування інфраструктури, порушення логістичних зв'язків, міграція населення, релокація підприємств, енергетичні обмеження та зростання невизначеності підвищили витрати економічних агентів на пошук інформації, перевірку контрагентів і забезпечення виконання зобов'язань. За таких умов інформаційні послуги дедалі більшою мірою виконують інфраструктурну функцію, забезпечуючи взаємодію суб'єктів господарювання незалежно від їх просторового розміщення.

Відповідно до теорії трансакційних витрат Р. Коуза спосіб організації економічної діяльності значною мірою визначається витратами на здійснення ринкових трансакцій [1, с. 386–405]. Для цифрової економіки значна їх частина пов'язана з отриманням, перевіркою та передаванням інформації. Дж. Акерлоф показав, що її асиметричний розподіл здатний деформувати ринковий механізм [2, с. 488–500], а С. Гроссман і Дж. Стігліц обґрунтували обмеженість інформаційної ефективності ринку за наявності витрат на отримання інформації [3, с. 393–408]. В умовах воєнного стану ці закономірності посилюються через зростання невизначеності та господарських ризиків.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні ролі інформаційних послуг як інституційного механізму економічної координації та визначенні передумов посилення їхнього внеску у стійкість національної економіки в умовах воєнного стану.

Розвиток цифрової економіки доповнює традиційні ринковий та ієрархічний механізми координації інформаційними формами взаємодії. Цифрові платформи, системи електронних платежів, електронна ідентифікація, хмарні технології та інформаційно-аналітичні сервіси скорочують час пошуку контрагентів, спрощують укладання і виконання договорів, зменшують витрати на документообіг та контроль.

Особливого значення в умовах війни набуває можливість здійснення господарських операцій незалежно від фізичного місцезнаходження їх учасників. Дистанційне виконання робіт, електронні

розрахунки, цифровий документообіг та хмарне зберігання даних дають змогу підтримувати господарські процеси навіть за порушення традиційних каналів взаємодії.

Показовою є динаміка експорту телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг України. За даними Національного банку України, у 2020 р. його обсяг становив 5,18 млрд дол. США, у 2021 р. – 7,10 млрд дол. США, а у 2022 р. – 7,52 млрд дол. США [4, с. 6]. Отже, у перший рік повномасштабної війни експорт відповідної групи послуг зріс приблизно на 5,8 %.

Важливим механізмом адаптації стала територіальна мобільність підприємств. Після початку повномасштабного вторгнення 70,8 % IT-компаній здійснили незаплановану часткову або повну релокацію [5, с. 41]. Паралельно впроваджувалися плани безперервності бізнесу, гнучкі моделі організації праці та диверсифікація місць розташування команд, що дозволяло виконувати проєкти навіть в умовах енергетичних та інших воєнних обмежень [6, с. 96].

Разом із тим у 2023 р. експорт телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг скоротився до 6,88 млрд дол. США, а у 2024 р. – до 6,61 млрд дол. США [4, с. 6]. До чинників, що стримують довгостроковий розвиток сектору, належать міграція працівників, кадрові обмеження, проблеми рекрутингу та утримання клієнтів, а також регуляторні обмеження [6, с. 96]. Перспективним напрямом структурної трансформації є поступовий перехід від переважно аутсорсингової моделі до створення власних технологічних продуктів і сервісів [6, с. 97].

Попри скорочення експорту після 2022 р., відповідний сегмент зберігає значне позитивне сальдо зовнішньої торгівлі: 6,83 млрд дол. США у 2022 р., 5,92 млрд дол. у 2023 р. і 5,50 млрд дол. у 2024 р. [4, с. 6]. Це дає підстави розглядати інформаційні послуги як важливе джерело зовнішніх надходжень та один із чинників підтримання економічної активності в умовах воєнних обмежень.

Однак стійкість ринку інформаційних послуг залежить не лише від технологічних можливостей. Для ефективної цифрової взаємодії необхідні достовірна ідентифікація контрагентів, юридична визначеність електронних угод, захист даних, безпечні розрахунки та ефективні механізми захисту прав учасників ринку. Отже, економічний ефект цифровізації безпосередньо пов'язаний із якістю інституційного середовища.

Технологічна можливість здійснення цифрової операції сама по собі не гарантує скорочення трансакційних витрат. За фрагментарності нормативного середовища частина отриманого ефекту нівелюється додатковими витратами на перевірку інформації, юридичний супровід, кіберзахист та компенсацію ризиків.

Проведений у межах дисертаційного дослідження аналіз дозволяє розглядати інформаційні послуги як специфічний інституційний компонент економічної координації. Їх розвиток забезпечує зниження інформаційної асиметрії та трансакційних витрат, підтримання безперервності господарської взаємодії, прискорення обміну даними та прийняття економічних рішень.

В умовах воєнних шоків стійкість цифрової інфраструктури, доступність інформаційних сервісів, безперебійність електронних платежів, кіберзахист і правова визначеність цифрових операцій набувають значення складових економічної стійкості держави.

Висновки. Інформаційні послуги формують інституційно-технологічне середовище економічної координації, у межах якого знижуються інформаційна асиметрія та трансакційні витрати і підтримується взаємодія між економічними агентами за просторових та ресурсних обмежень.

Динаміка експорту телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг у 2020–2024 рр. свідчить про високу адаптивність сектору до початкового воєнного шоку та водночас про посилення кадрових й інституційних обмежень у наступні роки.

Подальший розвиток ринку потребує не лише зміцнення цифрової інфраструктури, а й формування передбачуваного інституційного середовища, що забезпечує правову визначеність електронних угод, захист даних, кіберстійкість та інтеграцію України до європейського цифрового простору. Це дозволить посилити внесок інформаційних послуг у підтримання економічної активності та відновлення національної економіки.

Література

[1] Coase R. H. The Nature of the Firm. Economica. 1937. Vol. 4, No. 16. P. 386–405. DOI: 10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x.

[2] Akerlof G. A. The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism. The Quarterly Journal of Economics. 1970. Vol. 84, No. 3. P. 488–500. DOI: 10.2307/1879431.

[3] Grossman S. J., Stiglitz J. E. On the Impossibility of Informationally Efficient Markets. The American Economic Review. 1980. Vol. 70, No. 3. P. 393–408.

[4] Національний банк України. Платіжний баланс України (відповідно до КПБ6): динаміка за роками. Київ : Національний банк України, 2026. С. 6. URL: https://bank.gov.ua/files/ES/BOP_y.pdf.

[5] IT Ukraine Association, Top Lead. Do IT Like Ukraine 2022. Kyiv : IT Ukraine Association, 2022. P. 41. URL: https://itukraine.org.ua/files/reports/2022/DoITLikeUkraine2022_EN.pdf.

[6] Stroiko T., Myronenko V. The IT Market of Ukraine in War Conditions: Challenges and Perspectives. Science in the Context of Modern Challenges: Problems and Development Priorities : International Scientific Conference Proceedings, June 9–10, 2023. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. P. 96–97. DOI: 10.30525/978-9934-26-318-7-27.

INFORMATION SERVICES AS AN INSTITUTIONAL MECHANISM OF ECONOMIC COORDINATION UNDER MARTIAL LAW

Valerii I. Komyshnyk

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper examines the role of information services in economic coordination under martial law. Their importance for reducing information asymmetry and transaction costs is substantiated. The dynamics of Ukraine's exports of telecommunications, computer and information services in 2020–2024 are analysed. Institutional conditions for strengthening the resilience of the information services market are identified.

Keywords: information services, digital economy, economic coordination, transaction costs, information asymmetry, martial law.

УДК 336.71:338.124.4(477)

БАНКІВСЬКА СИСТЕМА ЯК ЧИННИК ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Данік Н.В.,
кандидат економічних наук, доцент,
в. о. завідувачки кафедри фінансів і бухгалтерського обліку
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
natasha.danik29@gmail.com

Анотація. Досліджено трансформацію ролі банківської системи України у забезпеченні фінансової стійкості держави в умовах воєнного стану. На основі аналізу показників за 2021–2025 роки встановлено, що активи банків і кошти клієнтів зростали значно швидше, ніж обсяги кредитування. Виявлено парадокс: банківська система стала більшою, ліквіднішою та прибутковішою, але відносно менш кредитно орієнтованою. Обґрунтовано, що її роль змістилася від переважно фінансового посередництва до забезпечення безперервності платежів, збереження коштів, фінансування державних потреб і підтримання загальної фінансової стабільності. Визначено необхідність посилення механізмів спрямування банківських ресурсів на кредитування відновлення економіки.

Ключові слова: банківська система, фінансова стійкість, воєнний стан, банківські активи, кошти клієнтів, кредитування, фінансове посередництво, економічне відновлення.

Повномасштабна війна створила для банківської системи України одночасний шок ліквідності, кредитного ризику, операційної безперервності та довіри. За традиційною логікою фінансових криз така комбінація мала б спричинити відплив коштів, скорочення активів і збитковість банків. Фактична траєкторія виявилася іншою: система зберегла платоспроможність, наростила ресурсну базу і залишилася прибутковою. Водночас це не означає повного відновлення її класичної функції фінансового посередництва.

Мета дослідження – визначити, як змінилася роль банківської системи у забезпеченні фінансової стійкості України у 2022–2025 рр., та емпірично перевірити, чи супроводжувалося зростання ресурсів банків відповідним розширенням кредитування економіки.

Інформаційну базу становлять агреговані показники банківського сектору Національного банку України станом на 1 січня 2022–2026 рр. [1; 2]. Використано методи динамічного, структурного та коефіцієнтного аналізу. Кошти клієнтів визначено як суму коштів суб'єктів господарювання та фізичних осіб; коефіцієнт трансформації ресурсів у кредити – як відношення валових наданих кредитів до зазначених коштів клієнтів.

Таблиця 1 – Динаміка ключових показників банківської системи України

Показник	2021	2022	2023	2024	2025	Зміна 2025/2021
Активи, млрд грн	2053,9	2353,6	2942,8	3422,6	4000,6	+94,8 %
Кошти бізнесу і населення, млрд грн	1485,5	1823,1	2344,4	2713,8	3127,0	+110,5 %
Надані кредити, млрд грн	1065,3	1036,1	1024,9	1138,0	1220,3	+14,5 %
Кредити / кошти клієнтів, %	71,7	56,8	43,7	41,9	39,0	-32,7 в, п,
Рентабельність активів, %	4,1	1,2	3,4	3,4	3,6	-0,5 в, п,

Джерело: розраховано автором за даними НБУ [1; 2].

Результати розрахунків демонструють першу складову парадоксу. За 2021–2025 рр. активи банків майже подвоїлися – на 94,8 %, а кошти бізнесу й населення зросли на 110,5 %. Отже, навіть за умов воєнного ризику банківська система не втратила довіру вкладників і підприємств, а стала основним середовищем збереження та руху безготівкових коштів. Важливими передумовами були безперервність платежів, регуляторні антикризові рішення НБУ, повне гарантування вкладів фізичних осіб у період воєнного стану та резервна мережа POWER BANKING [3].

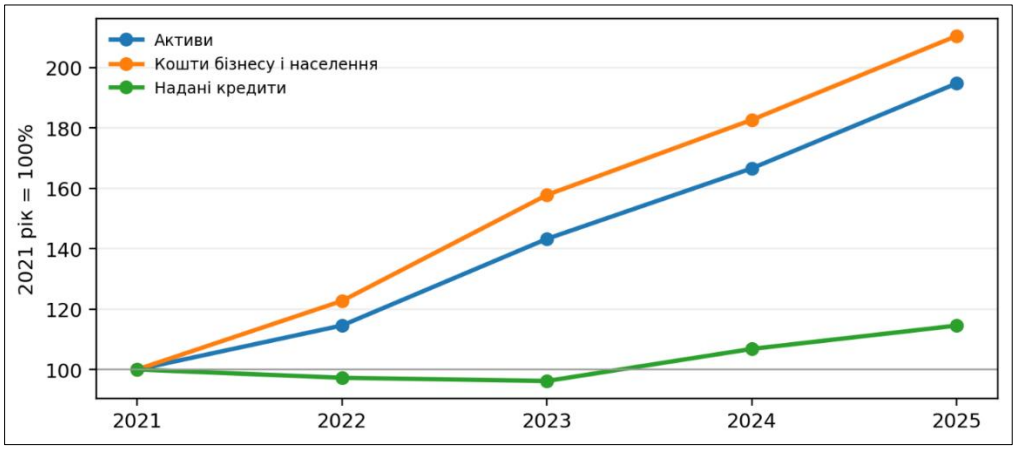


Рисунок 1 – Розходження траєкторій ресурсів і кредитування банків у 2021–2025 рр.
Джерело: побудовано автором за даними НБУ [1; 2].

Друга складова парадоксу полягає в асиметрії між накопиченням ресурсів та їх трансформацією у кредити. За досліджуваний період валовий кредитний портфель збільшився лише на 14,5 %, тоді як кошти клієнтів – більш ніж удвічі. Відношення кредитів до коштів бізнесу й населення знизилося з 71,7 % до 39,0 %, тобто на 32,7 відсоткового пункту. У 2022–2023 рр. кредитний портфель скорочувався, а подальше номінальне відновлення не компенсувало накопиченого розриву. На значення 2025 р. додатково вплинуло списання державними банками значного обсягу старих непрацюючих кредитів; тому валова балансова динаміка є консервативнішою за динаміку нових чистих гривневих кредитів. Проте цей статистичний ефект не спростовує головного результату: ресурсна база зростала значно швидше, ніж кредитна підтримка реального сектору.

Висока прибутковість також не є тотожною високій інтенсивності фінансового посередництва. Рентабельність активів після падіння до 1,18 % у 2022 р. відновилася до 3,38 % у 2023 р. і залишалася вищою за 3 % у 2024–2025 рр. Значна частина доходів формувалася в умовах високої ліквідності та вкладень у низькоризикові інструменти, зокрема депозитні сертифікати НБУ й державні цінні папери. Це допомогло банкам поглинати кредитні збитки, сплачувати підвищений податок на прибуток і підтримувати капітал, але водночас посилило зміщення від приватного кредитування до фінансування держави та управління ліквідністю.

Отже, дослідницький парадокс полягає в тому, що під час війни банківська система стала фінансово більшою, ліквіднішою та прибутковою, але відносно менш кредитно орієнтованою. Її роль трансформувалася від переважно ринкового посередника між заощадниками і позичальниками до багатофункціонального стабілізатора, який забезпечує платежі, збереження коштів, фінансування державних потреб, монетарну трансмісію та операційну стійкість.

Висновки. Банківський сектор України витримав воєнний шок без системної кризи: у 2021–2025 рр. активи зросли на 94,8 %, а кошти бізнесу й населення – на 110,5 %. Це підтверджує його роль інфраструктури фінансової довіри та безперервності розрахунків. Зростання балансових показників не означало

пропорційного посилення кредитної функції. Валові кредити зросли лише на 14,5 %, а коефіцієнт їх покриття коштами клієнтів знизився з 71,7 % до 39,0 %. Саме цей розрив є кількісним проявом трансформації ролі банків. Стійкість системи підтримували регуляторні рішення, цифровізація, гарантованість вкладів, резервна інфраструктура та дохідність ліквідних інструментів. Водночас надлишкова концентрація на державних і монетарних інструментах обмежує перетворення накопичених ресурсів на інвестиції приватного сектору. Критерієм успіху має стати не лише здатність банків вистояти, а й здатність їхньої ресурсної бази працювати на відновлення економіки та економічну незалежність України.

Література

[1] Національний банк України. Наглядова статистика. Основні показники діяльності банків України. URL: https://bank.gov.ua/ua/statistic/supervision-statist (дата звернення: 21.09.2026).

[2] Національний банк України. Основні показники діяльності банків України: набір відкритих даних. URL: https://data.gov.ua/dataset/d35cd95a-8d96-415c-aa98-6f1ecbe63be7 (дата звернення: 21.09.2026).

[3] Національний банк України. POWER BANKING: об'єднана мережа відділень банків України. URL: https://power.bank.gov.ua/ (дата звернення: 21.09.2026).

THE BANKING SYSTEM AS A FACTOR OF UKRAINE'S FINANCIAL RESILIENCE UNDER MARTIAL LAW

Nataliia Vadymivna Danik

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The study examines the role of Ukraine's banking system in ensuring the country's financial resilience under martial law. An analysis of the banking sector's performance in 2021–2025 reveals that bank assets and customer funds grew significantly faster than lending volumes. This indicates a paradox: the banking system became larger, more liquid, and more profitable, while its relative focus on lending declined. Its role shifted from traditional financial intermediation towards maintaining payment continuity, safeguarding funds, financing public needs, and supporting overall financial stability. The findings substantiate the need to strengthen mechanisms for channelling banking resources into lending for economic recovery.

Keywords: banking system, financial resilience, martial law, bank assets, customer funds, lending, financial intermediation, economic recovery.

УДК 338.1:004.9

ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІТЧИЗНЯНОЇ ЕКОНОМІКИ, ЯК КЛЮЧОВИЙ ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ СТІЙКОСТІ ПІД ЧАС ВІЙНИ

Гришина Л.О.,

кандидат економічних наук, доцент

Первомайський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м.Первомайськ, Україна

larysa.hryshyna@nuos.edu.ua

АнотаціяРозкрито роль цифрових перетворень як основного чинника забезпечення стійкості та адаптивності економіки України в умовах воєнного часу. Наголошено на важливості цифровізації для підтримки функціонування економіки, її повоєнного відновлення, соціально-економічного зростання та зміцнення безпеки держави. Виявлено напрями міжнародної допомоги і співпраці у сфері підтримки цифрової трансформації економіки України.

Ключові слова: цифровізація, стійкість економіки, промисловість, цифрова промисловість.

Сучасне середовище функціонування вітчизняної економіки характеризується нестабільністю, спричиненою впливом чинників довготривалої війни рф на території нашої держави. Визначальний напрямок економічного розвитку країни в сучасних умовах полягає не просто у розгортанні виробничих потужностей, а й у їхньому нарощуванні на основі нової якості цього процесу, пов'язаного з підтримкою та ефективним використанням цифрових технологій. У такому контексті здатність швидко адаптуватися та використовувати цифрові трансформації відповідно до нових умов стає критично важливим для підтримки стійкості та повоєнного розвитку вітчизняної економіки [1]. Актуальність завдань поширення цифрових перетворень зумовлюється і сучасним станом розвитку цифровізації, що відзначено у результатах звіту Forbes Ukraine та KPMG – на кінець 2024 року середній індекс цифрової зрілості бізнесу в Україні становив

55,7 зі 100. Слід відзначити, що підтримка цифрових перетворень, яка не тільки є важливою для забезпечення сьогодення функціонування вітчизняної економіки, але й розширює можливості для соціально-економічного зростання та зміцнення безпеки України в умовах змін глобального середовища.

Мета роботи – дослідження ролі та впливу цифрових перетворень щодо забезпечення стійкості вітчизняної економіки в умовах тривалої військової агресії, а також аналіз структурних змін у промисловості України та визначення напрямів цифрової трансформації для її повоєнного відновлення.

Реалії функціонування різних секторів вітчизняної економіки свідчать про руйнівний вплив військової російської агресії. Так, у структурі промисловості порівняно з довоєнним періодом спостерігається скорочення часток її базових галузей. Якщо у 2021 році частка металургійної галузі у структурі переробної промисловості становила 29 % , хімічної – 5 %, то за підсумками 2024 року ці показники становили відповідно 19 % і 3 % [2]. Стосовно частки низькотехнологічних виробництв у структурі промисловості, відзначимо їх зростання. Так, загальна частка низькотехнологічних виробництв зросла з 41 % ц 2021 році до 51 % у 2024 році. Зокрема, частка харчової промисловості становила 39 % у структурі переробної галузі (у 2021 р. – 31 %), легкої – 2 % (у 2021 р. – 1 %); частка деревообробної галузі (включаючи виробництво паперу і поліграфічну діяльність) залишилась незмінною – на рівні 6 %, меблевої – зросла з 3 % до 4 % [2]. Така ситуація зумовлена як об'єктивними зовнішніми чинниками, пов'язаними з пошкодженням та руйнуванням вагомих обсягів активів базових промислових галузей, що гальмує технологічні зрушення, так і з цілою низкою внутрішніх системних проблем, серед яких відзначимо найбільш впливові:

– недостатність інвестицій для модернізації базових конкурентоспроможних галузей промисловості, їх незадовільна структура у розрізі технологічності;

– низький рівень витрат на дослідження і розробки, інноваційну діяльність;

– нестача кадрового потенціалу розвитку промисловості на основі розробки та впровадження нових технологічних рішень, та ін.

Слід відзначити, що в умовах динамічних технологічних змін підвищення рівня цифрової трансформації вітчизняної економіки розглядається також і як один із ключових факторів забезпечення її стійкості та зміцнення, прогресу у виконанні економічних критеріїв для членства України в ЄС [5]. Досягненню завдань та цілей забезпечення цифрової трансформації української економіки має сприяти і та значима співпраця з провідними технологічними державами світу та їх допомога, коли реалізуються важливі проєкти цифрової трансформації, підтримуються основні галузі промисловості під час війни рф проти України, формується стратегічне безпекове середовище [4]. Інтеграція України до європейського безпекового простору формує спільне стратегічне безпекове середовище для багатьох європейських країн, тощо (табл. 1).

Таблиця 1 – Міжнародна допомога і співпраця у сфері підтримки цифрової трансформації економіки України

№	Заходи	Напрями і результати
1	Залучення України до глобальної угоди про співпрацю для безпечного розвитку штучного інтелекту	Передбачається значний вплив потенціалу ШІ на економічне зростання завдяки поєднанню технологічних досягнень, доступу до величезних обсягів даних, хмарних обчислень, що формує екосистему зростаючої капіталізації підприємств.
2	Створення платформи GovTech-центру	Сприятиме обміну досвідом між українськими стартапами, інноваторами та іноземними партнерами на шляху активізації цифрових трансформацій у діяльності підприємств, бізнесу.
3	Дослідження "Web3 для України: діалог із засновниками»	Сприятиме ідентифікації основних чинників, що обмежують розвиток web3-індустрії та віртуальних світів в Україні, що уможливить досягнення значного технологічного прогресу у вітчизняній економіці, повоєнного відновлення на основі технології блокчейн, тощо.
4	Платформа для розвитку технологічної екосистеми "UK-Ukraine TechBridge"	Об'єднання потенціалу української ІТ-індустрії та досвіду британського технологічного сектора для запуску і реалізації масштабних спільних інноваційних проєктів у сфері ІТ.
5	Формування нового етапу інноваційної технологічної платформи "Digital State UA"	Платформа стане ефективним інструментом для залучення інвестицій і впровадження інновацій в оборонному контексті, у підтримку технологічного розвитку харчової галузі та агропромислового сектору, тощо.

Висновки. Таким чином, можна зробити висновки, що ефективне впровадження цифрових перетворень у вітчизняну економіку являється важливим чинником забезпечення конкурентних переваг та життєздатності українських суб'єктів господарювання, впровадження інноваційних рішень в оборонній сфері, як стратегічної передумови повоєнного відновлення та сталого розвитку України. Отже, сучасні реалії свідчать про необхідність формування системної політики підтримки формування та розвитку потенціалу цифровізації

економіки України, який визначається сукупністю можливостей, ресурсів, технологій, інфраструктури щодо забезпечення ефективного впровадження цифрових трансформацій для забезпечення здатності протистояти загрозам і викликам війни, досягнення конкурентоспроможності України у довгостроковій перспективі.

Література

[1] Хто задає темп в діджиталізації українського бізнесу. Результати дослідження «Чемпіони діджиталізації 2024». URL: https://kpmg.com/ua/uk/home/media/press-releases/2025/01/khto-zadaye-temp-v-dydzhytalizatsiyi ukrayinskoho-biznesu.html (дата звернення: 21.09.2026).

[2] Обсяг реалізованої промислової продукції за видами діяльності. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення: 20.09.2026)

[3] Україна приєднується до глобальної співпраці щодо безпечного розвитку ШІ. URL: https://thedigital.gov.ua/news/ukraina-priednuetsya-do-globalnoi-spivpratsi-shchodo-bezpechnogo-rozvitku-shi (дата звернення: 20.09.2026)/

[4] Потужне технологічне партнерство: Україна і Велика Британія запустили UK-Ukraine TechBridge. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/potuzhne-tekhnolohichne-partnerstvo-ukraina-i-velyka-brytaniia-zapustyly-uk-ukraine techbridge (дата звернення: 21.09.2026)

[5] Реалізація потенціалу промисловості й аграрного сектора економіки в умовах війни та повоєнного відновлення : аналіт. доп. / [Собкевич О. В., Русан В. М., Жураковська Л. А., Олійник Д. І., Власюк О. С.] ; за ред. Жаліла Я. А. Київ : НІСД, 2025. 9 с. URL: https://doi.org/10.53679 (дата звернення: 21.09.2026).

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE DOMESTIC ECONOMY AS A KEY FACTOR IN ENSURING ITS RESILIENCE DURING THE WAR

Hryshyna L.O.

Pervomaysk Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National Shipbuilding University, Pervomaysk, Ukraine

Abstract. The role of digital transformation as a key factor in ensuring the stability and adaptability of the Ukrainian economy in wartime conditions is revealed. The importance of digitalization for supporting the functioning of the economy, its post-war recovery, socio-economic growth and strengthening the security of the state is emphasized. Areas of international assistance and cooperation in supporting the digital transformation of the Ukrainian economy are identified.

Keywords: digitalization, economic stability, industry, digital industry.

УДК 658.15

ЗВІТНІСТЬ ЗІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЯК УМОВА ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ ВІТЧИЗНЯНОГО БІЗНЕСУ

Грищенко О.В.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри обліку та оподаткування ПННІ,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна
olena.hryshenko@nuos.edu.ua

Анотація. Досліджується доцільність формування звітності зі сталого розвитку вітчизняними суб'єктами господарювання. Основна увага зосереджена на необхідності формування вітчизняної законодавчо-нормативної бази. Зроблено висновки про доцільність гармонізації національного законодавства у сфері бухгалтерського обліку та фінансової звітності з вимогами законодавства Європейського союзу.

Ключові слова: ESG-фактори, звітність зі сталого розвитку, нефінансова звітність.

Прискорений процес Євроінтеграції ставить перед вітчизняним бізнесом нові виклики, зокрема і в сфері сталого розвитку та вимагає рішучих змін. Створення цінностей у глобальному контексті, де основним пріоритетом є сталий розвиток, можливе для суб'єктів господарювання, які системно впроваджували відповідні практики протягом тривалого часу. Водночас вимоги щодо прозорості бізнесу, його екологічності та поваги до прав людини стають умовами доступу до міжнародних ринків. Наразі ключовим для доступу до міжнародного фінансування та європейських ринків стає критичний аналіз впливу ESG-факторів (екологічних, соціальних та управлінських) на ефективність та ризики бізнесу.

Метою дослідження стала доцільність гармонізації національного законодавства у сфері бухгалтерського обліку та фінансової звітності з вимогами законодавства Європейського союзу.

З початком повномасштабного вторгнення армії рф, Україна набула статусу кандидата на членство в ЄС. Тому приведення вітчизняного законодавства у відповідність до європейських вимог стає надважливим завданням. Імплементація в діяльність вітчизняних компаній Європейських стандартів звітності про сталий розвиток (ESRG) дуже важлива для тих суб'єктів господарювання та фінансових інституцій, які вже активно працюють та планують співпрацювати з міжнародними донорами, інвесторами для повоєнної відбудови України. Наразі вітчизняний бізнес активно готується до нового етапу формування фінансової звітності, що враховує екологічні, соціальні та управлінські фактори(ESG). Готуються і законотворці. Так, в жовтні 2024 року Кабінетом міністрів України було розроблено і прийнято Стратегію запровадження підприємствами звітності зі сталого розвитку, що містить основні етапи, шляхи та очікувані результати реалізації стратегії. В додатку до Стратегії розроблено операційний план реалізації у 2024–2026 роках Стратегії запровадження підприємствами звітності зі сталого розвитку[1].

На підставі детального аналізу законодавства ЄС в грудні 2024 року Кабінетом міністрів України були розроблені таблиці відповідності вітчизняного законодавства актам права Європейського союзу (Директивам 2006/43/ЄС і 2013/34/ЄС та Регламенту (ЄС) № 537/2014)[1]. Заплановане на березень 2025 року формування законодавчої бази для складання, подання та оприлюднення суб'єктами господарювання звітності зі сталого розвитку відобразилося у схвалених Кабінетом міністрів України змінах до Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні», який міг запустити масштабні зміни у сфері фінансової звітності ще 25 червня 2025 року. Документ повністю змінює підходи до класифікації підприємств та запроваджує необхідність підготовки на подачі у вигляді розділу Звіту про управління, звітності зі сталого розвитку. На жаль, законопроєкт був відхилений Верховною радою України та направлений на доопрацювання. Наразі механізм формування та подання звітності зі сталого розвитку доопрацьовується, але базові принципи вже окреслено. За ним звітність зі сталого розвитку – це нефінансова звітність, що розкриває екологічний вплив, соціальну відповідальність та корпоративне управління суб'єкта господарювання. Це буде обов'язкова нова складова звітності, яка відображатиме вплив на довкілля, соціум та корпоративне управління – ESG. Вона міститиме наступну інформацію:

– вплив на довкілля, кліматичні зміни, біорізноманіття (обсяги споживання води, скільки продукує викидів CO^2 тощо);

– дотримання прав людини, трудові відносини, безпека праці, соціальні ініціативи роботодавця (загальна кількість персоналу, чи дотримана гендерна рівність, як виплачується заробітна плата тощо);

– прозорість бізнесу; етика співіснування; антикорупційні заходи(склад ради директорів, внутрішні заходи з протидії корупції та хабарництву).

Водночас важливо розуміти, що поверхневе відображення такої інформації у звітах як мінімум забезпечить відповідність локальним нормативним вимогам, та на навколишнє середовище впливу не матиме. Але, якщо використати її як інструмент управління, можна запобігти ризикам та прийняти рішення у будь-яких неочікуваних ситуаціях. ESG-фактори додають цінності соціальному іміджу суб'єкта господарювання та підвищують його репутацію, чим забезпечуватимуть можливість доступу на європейські ринки.

Таким чином, з метою гармонізації національного законодавства у сфері бухгалтерського обліку та фінансової звітності з вимогами законодавства Європейського союзу, запроваджується розділ Звіту про управління – звітність зі сталого розвитку, яка розкриватиме ESG-інформацію. Вітчизняному бізнесу доцільно вже зараз визначитися з категоріями інформації, відповідальними особами та методами розкриття у фінансовій звітності інформації про результати діяльності у сфері сталого розвитку.

Література

1. Про схвалення Стратегії запровадження підприємствами звітності зі сталого розвитку. Розпорядження Кабінету міністрів України № 1015-р від 18 жовтня 2024 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1015-2024-%D1%80#Text (дата звернення 25.11.2025).

SUSTAINABLE DEVELOPMENT REPORTING AS A CONDITION FOR EUROPEAN INTEGRATION OF DOMESTIC BUSINESS

Olena Hryshchenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Educational and scientific center in Pervomaisk)

Abstract. The feasibility of forming sustainable development reporting by domestic business entities is investigated. The main attention is focused on the need to form a domestic legislative and regulatory framework. Conclusions are drawn on the feasibility of harmonizing national legislation in the field of accounting and financial reporting with the requirements of European Union legislation.

Keywords: ESG-factors, sustainable development reporting, non-financial reporting.

УДК 656.615:338.5

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПОРТОВОГО ЦІНОУТВОРЕННЯ В УКРАЇНСЬКИХ ПОРТАХ

Єфімова Г.В.,
доктор економічних наук, професор,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
hanna.yefimova@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто формування портових зборів в українських портах за відсутності затвердженої методики їх розрахунку. Запропоновано обмежувати ставку зверху за принципом «витрати плюс з інвестиційною складовою, але не вище конкурентного рівня» та диференціювати її за валовою місткістю судна, сезонністю й частотою суднозаходів. Екологічну перевагу річкового транспорту запропоновано використати для «зелених» знижок; CCUS-логістику розглянуто як довгостроковий напрям, що потребує окремої оцінки.

Ключові слова: морський транспорт, портова галузь, транспортно-логістичні системи, портове ціноутворення, тарифи, портові збори, лоцманський збір, придунайські українські порти, витрати, інвестиційно-тарифний баланс, валова місткість судна, декарбонізація, CCUS-логістика, конкурентоспроможність, євроінтеграція.

Актуальність. Після блокування чорноморських портів у 2022 р. змінилася роль Ізмаїла, Рені та Усть-Дунайська: днопоглиблення в лимані Бистре дозволило приймати судна з осадкою до 6, м і активізувало експорт через Дунай, хоча румунські порти водночас наростили перевалку [1]. Тарифна основа при цьому лишилася попередньою: єдину методику розрахунку ставок портових зборів не затверджено, гнучкі наскрізні тарифи не запроваджено [2, с. 712], а ще у 2020 р. Антимонопольний комітет зобов'язав Мінінфраструктури ухвалити прозору методику [2, с. 713].

Метою дослідження є обґрунтування напрямів вдосконалення механізму портового ціноутворення в придунайських портах на засадах інвестиційно-тарифного балансу, конкурентоспроможності та євроінтеграції.

Ціноутворення на підприємствах морського транспорту досліджено в [3], формування портових тарифів і зборів у [4]. Світова практика знає витратний підхід, за яким ставки покривають витрати порту, та комерційний, що орієнтується на конкуренцію сусідніх портів [5]. Окремо вивчали управління витратами портових підприємств [6], класифікацію зборів в Україні та ЄС [7], маркетинговий підхід до тарифів на транспортні послуги [8] і фінансово-економічну безпеку портів [9].

Чинна схема має два слабких місця. Першим є інвестиційна складова: у проєкті методики 2024 р. вона входить до нормативу рентабельності разом із податком на прибуток і відрахуваннями до бюджету, тоді як на капітальні видатки у 2023 р. з зборів спрямовано лише 0,9 %. Другим є те, що проєкт не поєднує витратний механізм із бенчмаркінгом щодо інших портів [2, с. 715, 719-721]. Тому пропонується обмежити ставку зверху:

$$S = (B\_екс + B\_інв) / GT \leq S\_бенч \cdot (1 + \delta),$$

де $B\_екс$ – обґрунтовані експлуатаційні витрати,
$B\_інв$ – нормована інвестиційна складова, GT – прогнозна сукупна валова місткість суднозаходів,
$S\_бенч$ – ставка в порті-аналогу (наприклад, Констанца чи Джурджулешти),
δ – допустима надбавка.

Якщо обмеження спрацьовує, різницю слід покривати із зовнішніх джерел; експерти Світового банку радили залишати зі зборів не більше половини інвестиційних видатків [2, с. 719].

Ставки корабельного й лоцманського зборів прив'язані до валової місткості судна. Для портів, що приймають переважно судна обмеженої осадки, єдині коефіцієнти можуть не відображати реальних витрат на одиницю вантажу, тому доцільні диференційовані коефіцієнти за сезонністю, частотою суднозаходів і категорією вантажопотоків [4]. Регламент ЄС 2017/352 також вимагає враховувати ринкову конкуренцію та інвестиційні плани портів [2, с. 716].

Дунайський напрям має екологічну перевагу, адже водний транспорт – найчистіший серед вантажних видів [1]; це дає підстави для «зелених» знижок за екологічні показники суден. CCUS-логістика – довгостроковий, а не поточний напрям: за розрахунками для британських портів стимули у складі зборів зменшують вартість морського перевезення CO_2 до близько 13 £/т [10]. Для придунайських портів це лише гіпотеза, яка потребує окремої оцінки.

Пропозиції зводяться до чотирьох кроків: затвердити методику з верхньою межею ставки за конкурентним орієнтиром; нормувати інвестиційну складову та частку її покриття зі зборів; диференціювати ставки за валовою місткістю судна, сезонністю та частотою суднозаходів; запровадити «зелені» знижки, сумісні з європейськими вимогами.

Література

[1] Хорошкова Л. А., Хорошков С. В., Корнійчук Ю. Д. The development of Danube Ports amid war and post-war recovery of the Ukraine. Man and Environment. Issues of Neoecology. 2024. Issue 41. P. 70–82. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-05.

[2] Никифоров В. П., Хотєєва Н. В. Напрями удосконалення державної тарифної та фіскальної політики при формуванні та встановленні портових зборів в Україні. Наукові перспективи. 2024. № 11 (53). С. 703–728. DOI: https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-11(53)-703-728.

[3] Корецька О. Аналіз проблем та обґрунтування шляхів підвищення ефективності ціноутворення на підприємствах морського транспорту. Економіка та суспільство. 2022. № 41. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-41-15.

[4] Жихарєва В. В. Теорія і практика формування портових тарифів і зборів : монографія. Одеса : ОНМУ, 2024. 13 с.

[5] Notteboom T., Pallis A., Rodrigue J.-P. Port Economics, Management and Policy. New York : Routledge, 2022. 690 p.

[6] Хотєєва Н. В., Чиж Л. П., Корецька О. В., Воркунова О. В. Раціональне управління витратами і ціноутворення на портових підприємствах – основа зменшення вірогідності виникнення ризиків. Наукові перспективи. 2023. № 8 (38). С. 442–456. DOI: https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-8(38)-442-456.

[7] Клюєва Є. М. Портові збори та плати в портах України та Європи: їх правове значення. Юридичний науковий електронний журнал. 2023. № 8. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0374/2023-8/42.

[8] Радченко О. А., Воіченко Т. О. Особливості ціноутворення на транспортні послуги на основі маркетингового підходу. Проблеми системного підходу в економіці. 2021. Вип. 4 (84). С. 45–49.

[9] Корецька О. В. Теоретико-методичне забезпечення управління фінансово-економічною безпекою підприємств основної портової діяльності : автореф. дис. … канд. екон. наук : 08.00.04. Одеса, 2021. 2 с.

[10] Vakili S., Manias P., Armstrong L.-M., Turnock S., Teagle D. A. H. Technical, economic, and environmental assessment of CO_2 ship transport in carbon capture and storage. Journal of Environmental Management. 2025. Vol. 373. Art. 123919. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123919.

IMPROVING THE PORT PRICING MECHANISM IN UKRAINIAN DANUBE PORTS

Iefimova Ganna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper examines how port dues are set in Ukrainian Danube ports in the absence of an approved calculation methodology. It proposes capping the rate at a competitive benchmark level while including a regulated investment component, and differentiating rates by vessel gross tonnage, seasonality and call frequency. The environmental advantage of river transport is proposed as a basis for green discounts, while CCUS logistics is treated as a long-term option requiring separate assessment.

Keywords: sea transport, port industry, transport and logistics systems, port pricing, tariffs, port dues, pilotage dues, Ukrainian Danube ports, costs, investment–tariff balance, gross tonnage, decarbonization, CCUS logistics, competitiveness, European integration.

УДК 338.47:339.9:355.01

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ЕКОНОМІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ

Ковпак П.,
аспірант
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
pavelkovpak777@gmail.com

Анотація: У тезах досліджено економічні наслідки вимушеної трансформації логістичних маршрутів України в умовах воєнного стану. Проаналізовано виклики, пов'язані з переорієнтацією вантажопотоків на сухопутні кордони. Обґрунтовано, що впровадження інтелектуальних систем диспетчеризації та хмарних TMS є найбільш дієвими інструментами оптимізації транзакційних витрат логістичних компаній.

Ключові слова: логістичні маршрути, воєнний стан, транзакційні витрати, цифровізація, хмарні технології, ланцюг постачань.

Вступ. Повномасштабна військова агресія призвела до безпрецедентного шоку для транспортної системи України. Блокування традиційних морських шляхів експорту змусило логістичних провайдерів повністю переформатувати архітектуру перевезень, перенісши основне навантаження на автомобільний транспорт у напрямку західних кордонів. Як зазначають сучасні дослідники, стійкість та ефективність управління ланцюгами постачань в умовах таких глобальних ринкових збурень критично залежить від глибини їх цифровізації та швидкості обміну даними між контрагентами [2, с. 48]. У цих умовах пошук механізмів оптимізації витрат транспортних підприємств стає ключовим фактором їхнього економічного виживання.

Мета роботи. Мета дослідження полягає в аналізі економічних викликів, зумовлених зміною логістичних маршрутів під час воєнного стану, та розробці шляхів їх оптимізації на основі інтеграції цифрових рішень.

Виклад основних результатів дослідження. Зміна географії перевезень супроводжується значним зростанням середньої відстані транспортування та часу транзиту через обмежену пропускну здатність митних переходів. Кардинально змінилася структура операційних витрат логістичних провайдерів (зростання вартості палива, ремонту та страхових премій). Проте чи не найбільшу загрозу для рентабельності становить різке зростання транзакційних витрат, пов'язаних із пошуком транспорту, диспетчеризацією та подоланням інформаційної асиметрії на волатильному ринку.

Відповідно до концепції інтелектуалізації ринку логістичних послуг, перехід від традиційного (ручного) управління до автоматизованих систем дозволяє кардинально знизити адміністративні бар'єри та витрати на комунікацію [1, с. 116]. Подолати сучасні виклики екстенсивними методами неможливо, тому на перший план виходять такі шляхи оптимізації:

1. Впровадження хмарних TMS (Transportation Management Systems): Замість локальних систем обліку, компанії повинні переходити на єдине віртуальне середовище за моделлю SaaS. Доведено, що такий підхід дозволяє безшовно інтегрувати дані від брокера, вантажовласника та перевізника, усуваючи дублювання функцій диспетчерів [3, с. 25]. У період війни оптимізація зворотних завантажень (мінімізація холостого пробігу) за допомогою хмарного метчингу є критичною для покриття високих операційних витрат.
2. Цифровізація документообігу: Впровадження інструментів електронного обміну даними (EDI), зокрема e-CMR та електронних підтверджень доставки, суттєво прискорює фінансовий цикл. Швидка генерація інвойсів дозволяє компаніям знизити потребу у залученні факторингу та ефективніше долати проблему касових розривів [2, с. 51].
3. Предиктивна аналітика: Інтеграція алгоритмів для аналізу історичних та поточних ставок (Market Rates) дозволяє автоматизувати

процес торгів, роблячи ціноутворення прозорим навіть за умов нестабільного попиту на експортних напрямках.

Висновки. Зростання операційних та транзакційних витрат, спричинене трансформацією маршрутів в умовах воєнного стану, вимагає від логістичних підприємств переходу на нові бізнес-моделі. Доведено, що цифровізація процесів, зокрема впровадження хмарних систем управління транспортом (Cloud TMS) та електронного документообігу, є головним економічним інструментом збереження рентабельності. Подальші дослідження доцільно спрямувати на економіко-математичне моделювання впливу цих цифрових рішень на оборотність капіталу українських перевізників на ринку ЄС.

Література

[1] Григорак М. Ю. Інтелектуалізація ринку логістичних послуг: концепції, основи, моделі: Монографія. – К.: Сік Груп Україна, 2017. – 51 с.

[2] Чухрай Н. І., Патора Р. Р. Управління ланцюгами постачань в умовах цифровізації економіки. – Вісник Національного університету «Львівська політехніка», 2021. – № 3. – С. 45–53.

[3] Lacity M. C., Willcocks L. P. Cloud Computing and the Transformation of Business Processes in Logistics. – Journal of Information Technology, 2021. – Vol. 36 (1). – P. 22–38.

TRANSFORMATION OF LOGISTICS ROUTES UNDER MARTIAL LAW: ECONOMIC CHALLENGES AND WAYS OF OPTIMIZATION

Pavlo Kovpak

Admiral Makarov National Shipbuilding University

Abstract. The abstract investigates the economic consequences of the forced transformation of Ukraine's logistics routes under martial law. The challenges associated with the reorientation of freight flows to land borders are analyzed. It is substantiated that the implementation of intellectual dispatching systems and cloud TMS are the most effective tools for optimizing the transaction costs of logistics companies.

Keywords: logistics routes, martial law, transaction costs, digitalization, cloud computing, supply chain.

УДК 334.722-055.2(477)

ЖІНОЧЕ ПІДПРИЄМНИЦТВО В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ДИНАМІКА РОЗВИТКУ

Козіцька Н.О.,
кандидат економічних наук, доцент
доцент кафедри обліку та оподаткування
Первомайського навчально-наукового інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна,
kozitskaya_na@ukr.net

Анотація. У роботі проаналізовано, як змінилося жіноче підприємництво в Україні до та під час повномасштабної війни. Показано динаміку частки жінок серед нових і діючих фізичних осіб-підприємців (ФОП), а також серед керівництва юридичних осіб. Розглянуто специфічні проблеми, з якими стикається жіночий бізнес в умовах воєнного стану, та основні державні й міжнародні програми його підтримки. Окреслено перспективні напрями розвитку жіночого підприємництва в Україні.

Ключові слова: жіноче підприємництво, фізична особа-підприємець (ФОП), гендерний розрив, грантові програми, воєнний стан, малий бізнес.

Повномасштабна війна суттєво змінила структуру вітчизняного підприємництва, і одним із найпомітніших її наслідків стало зростання ролі жінок у бізнесі. Масова мобілізація чоловіків, вимушена релокація виробництв та загальна нестабільність економіки призвели до того, що саме жінки дедалі частіше беруть на себе функцію годувальниці родини через відкриття власної справи, забезпечуючи надходження до місцевих та державного бюджетів. Разом з тим жіночий бізнес має свою специфіку: поєднання самозайнятості з доглядом за дітьми, обмежений доступ до кредитних ресурсів тощо.

Тема жіночого підприємництва останніми роками дедалі частіше з'являється в роботах українських дослідників. Зокрема наголошується, що посилення ролі жінок у бізнесі є одним із чинників інклюзивного економічного зростання, а недооцінка підприємницького потенціалу жінок фактично означає втрату частини економічного потенціалу країни [1]. В окремих публікаціях розглядаються перспективні для жінок напрями підприємницької діяльності саме в кризових умовах [2]. Утім досліджень, які б порівнювали показники жіночого підприємництва до і після 24 лютого 2022 року в динаміці, у вітчизняній науковій літературі поки небагато. Саме цей факт вказує на актуальність даної тематики дослідження та визначає його мету: простежити, як змінилися масштаби та структура жіночого підприємництва в Україні за роки війни, з якими проблемами воно стикається і які має перспективи.

За даними Єдиного державного реєстру, до повномасштабного вторгнення частка жінок поміж новостворених ФОП не перевищувала 51 % [3]. У 2022 році, на тлі загального спаду ділової активності, цей показник дещо знизився – до 48 %, хоча навіть у той складний рік жінки відкрили понад 93 тис. нових

ФОП [4]. Уже наступного, 2023 року їхня частка зросла до 56 % (154,4 тис. осіб) [5], а починаючи з 2024 року досягла рівня приблизно 61 % і зберігалася протягом всього 2025 року (рис. 1).

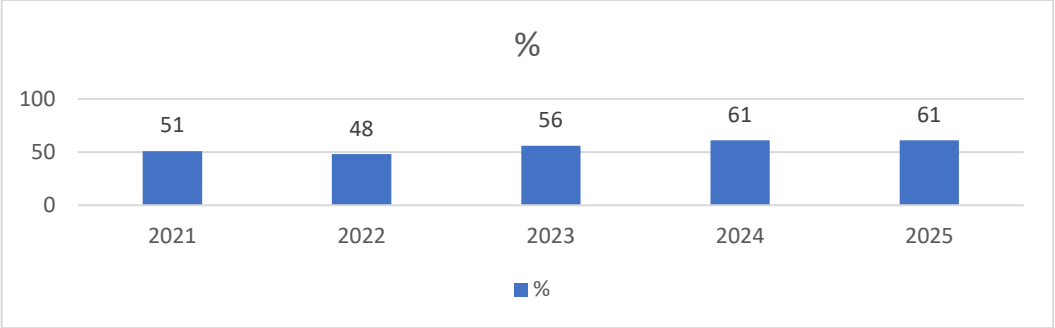


Рисунок 1. Динаміка частки жінок серед нових ФОП в Україні, 2021–2025 рр.
Джерело: побудовано автором за даними Опендатабот та YouControl.Market

Якщо подивитися не на нові реєстрації, а на загальну кількість діючих ФОП: тут частка жінок зростає значно повільніше – з 46,1 % у 2020 році до 48,1 % у 2024-му, хоча за цей час кількість жінок-підприємниць в абсолютних цифрах збільшилася на 22,5 %, із 0,9 до 1, млн осіб [6]. Іншими словами, війна змінила не стільки саму структуру підприємництва, скільки інтенсивність нових реєстрацій серед жінок.

Помітним також залишається гендерний розрив серед керівників юридичних осіб. У 2021 році жінки очолювали 28,8 % новостворених компаній, проте вже наступного року, з початком повномасштабного вторгнення рф на територію України, цей показник впав до 24,4 % [7]. Відновлювався він довше, ніж показники ФОП: лише у 2023-му частка жінок, займаючих керуючі посади повернулася до довоєнних 31 % [5], а у 2024 році навіть перевищила цей рівень, досягнувши в середньому 38 % [3].

Зростання кількісних показників не вказує на те, що жіночому бізнесу стало легше працювати. За результатами одного з опитувань, 55 % підприємиць продовжили діяльність попри війну, хоча далеко не всі з них упевнені у своїх подальших перспективах. Багатьом доводиться одночасно вести бізнес і дбати про безпеку дітей та родини, переносити виробництво з небезпечних територій, підлаштовуватися під графіки відключень електроенергії, а частина жінок узагалі втратила майно чи обладнання внаслідок бойових дій [8].

Держава та міжнародні партнери намагаються підтримати жіноче підприємництво низкою програм. Наприклад, у межах мікрогрантової програми «Власна справа» Мінекономіки торік видало 10 тис. грантів на суму 2, млрд грн, причому серед отримувачів 55 % становили саме жінки. Окремо для підприємиць запустили програму «СТВОРЮЙ!» із бюджетом млн дол. США, орієнтовану на масштабування виробництва; вона реалізується Мінекономіки за підтримки міжнародних донорів спільно з «Ощадбанком» [9].

Окрім грантів, розвивається й навчально-акселераційна складова -тренінги та локальні хаби, зокрема для внутрішньо переміщених жінок, що, в свою чергу, допомагають учасницям опрацювати бізнес-ідею та знайти менторів.

Узагальнюючи вищевикладене, можемо стверджувати, що за роки повномасштабної війни жіноче підприємництво в Україні перетворилося на помітну зростаючу економічну тенденцію. Водночас залишаються невирішеними питання доступу до фінансування, поєднання бізнесу з турботою про родину та повільнішого відновлення позицій жінок у керівництві середнього й великого бізнесу. Подальший розвиток жіночого підприємництва напряму залежить від спрощення доступу до відновлювального фінансування та системного врахування гендерного аспекту в державній політиці повоєнного відновлення економіки.

Література

[1] Водянка Л.Д., Табак О.В. Гендер та підприємництво в умовах війни. *Державне управління: удосконалення та розвиток.* 2025. № 12. DOI: http://doi.org/10.32702/2307-2156.2025.12.23 (дата звернення: 23.09.2026).

[2] Краус Н.М., Краус К.М., Поченчук Г.М. Жіноче підприємництво: ризики, інструменти підтримки, механізми реалізації. *Innovation and Sustainability*. 2023. № 2. DOI: https://doi.org/10.31649/ins.2023.2.46.59 (дата звернення: 23.09.2026).

[3] Понад 60 % нових ФОПів цьогоріч відкрили жінки. *Kyiv Post.* URL: https://www.kyivpost.com/uk/amp/post/42499 (дата звернення: 23.09.2026).

[4] Кожен другий малий бізнес в Україні відкривають жінки. *Mind.ua.* URL: https://mind.ua/news/20254433-kozhen-drugij-malij-biznes-v-ukrayini-vidkrivayut-zhinki (дата звернення: 23.09.2026).

[5] Понад половину нових ФОП в Україні відкрили жінки. *Kyiv Post.* URL: https://www.kyivpost.com/ uk/amp/post/24389 (дата звернення: 23.09.2026). [6]. Кількість підприємниць в Україні за останні п’ять років зросла на 22,5 %, проте їх частка в розрізі ФОП не змінилась. *Інтерфакс-*

Україна (за дослідженням YouControl.Market). 05.03.2025. URL: https://interfax.com.ua/news/economic/1053117.html (дата звернення: 23.09.2026).

[7] Жіноча справа: жінок-ФОП більше, ніж чоловіків – чим вони займаються. URL: https://thepage.ua/ua/economy/yak-zminivsya-gendernij-balans-u-biznesi-v-ukrayini-v-2022-roci/amp (дата звернення: 23.09.2026).

[8] Як жінки-підприємиці адаптуються до воєнних реалій в Україні. *The Page.* URL: https://thepage.ua/ua/experts/yak-vizhivaye-ta-rozvivayetsya-zhinochij-biznes-v-ukrayini-pid-chas-vijni/amp (дата звернення: 23.09.2026). [9]. Мінекономіки: презентовано грантову програму на мільйон доларів для жінок-підприємиць. *Уряд України.* URL: https://www.kmu.gov.ua/news/minekonomiky-prezentovano-hrantovu-prohramu-na-1-milion-dlia-zhinok-pidpryiemyts (дата звернення: 23.09.2026).

WOMEN'S ENTREPRENEURSHIP IN UKRAINE UNDER MARTIAL LAW: DYNAMICS OF DEVELOPMENT

Kozitska Natalia

Pervomaisky Educational and Scientific Institute Admiral Makarov National Shipbuilding University

Abstract. The paper examines women's entrepreneurship in Ukraine before and during the full-scale war, tracing the dynamics of the share of women among new and existing individual entrepreneurs and among the leadership of legal entities. Specific challenges faced by women's businesses under martial law are identified, the main state and international support programs are outlined, and promising directions for further development are proposed.

Keywords: women's entrepreneurship, individual entrepreneur (FOP), gender gap, grant programs, martial law, small business.

УДК 004.41:004.05

ВИБІР ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ І ЛІЦЕНЗУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Партас В.К.,

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

viktor.partas@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто необхідність ліцензування і захисту програмного забезпечення, досліджено сучасні типи та засоби ліцензування, методи захисту програмного коду. Зроблений аналіз відомих рішень у цій галузі і показаний приклад і підхід до реалізації ліцензування і захисту комплексу програмних засобів.

Ключові слова: ліцензування програмного забезпечення, типи ліцензування, захист програмного забезпечення, методи захисту програмних застосунків від взлому.

Актуальність. Проблеми захисту та ліцензування програмного забезпечення (ПЗ) завжди виникають у виробників програмних засобів на початок передачі своїх рішень кінцевим користувачам. У світі існують декілька рішень з ліцензування ПЗ від відомих фірм [1], які пропонують різноманітні моделі управління ліцензіями і засоби захисту від взлому. Як наслідок, виникають питання: яке рішення з пропонових обирати, якими крітеріями керуватися, які засоби є оптимальними для конкретного ПЗ, або, навпаки, намагатися розробити власні засоби захисту. Таким чином, для відповіді на ці питання необхідно знати і розуміти способи ліцензування, методи захисту ПЗ, наявний інструментарій відомих рішень.

Метою дослідження є забезпечення раціонального вибору засобів захисту програмного забезпечення в залежності від її функціоналу, вартості, ціль та умов застосування.

Основна частина. Питання захисту та ліцензування ПЗ завжди є частиною загального обсягу робіт з виконання ІТ-проєкту. Необхідність в вирішенні цих питань диктується різноманітними обставинами, до яких відносяться комерційні задачі виробника, юридичні аспекти використання програмного забезпечення, а також технологічні проблеми впровадження програмних засобів в бізнес-процеси підприємства.

Ліцензування в першу чергу є захистом користувача від звинувачень у порушенні прав на інтелектуальну власність. Наявність ліцензій свідчить про те, що юридична або приватна особа дійсно придбала права на використання програмного. Одночасно, ліцензування задовольняє потреби виробника програмного забезпечення в отриманні грошових ресурсів для подальшому розвитку функціональних можливостей власного програмного продукту.

По-друге, ліцензування є джерелом економічної ефективності для користувача. При використанні різноманітних моделей ліцензування підприємство може отримати оптимальний склад програмних засобів для виконання власних бизнес процесів. До цих моделей відносяться [2, 3, 4]:

– гнучний розподіл ліцензій за робочими місцями під управлінням менеджерів ліцензій;

– обмеження функціоналу програмного забезпечення в рамках тих функцій, які дійсно потрібні користувачу;

– здатність «міграції» ліцензій між комп'ютерами.

У захисту ПЗ в першу чергу зацікавлений безпосередньо розробник. Захист ПЗ має декілька аспектів:

– захист від несанкційного копіювання та розповсюдження програмного забезпечення. Несанкційне використання може здійснюватись такими способами:

a) «взлом» ліцензії шляхом зміни коду програми задля обходу ліцензійних обмежень;

b) клонування ліцензійного програмного продукту після встановлення на віртуальну машину або Docker-контейнер;

c) змина системного часу на комп'ютері для несанкційного подовження терміну роботи програмних засобів.

– Захист від зміни функціоналу програмних засобів шляхом втручання в код програми. В результаті таких дій програмне забезпечення може втратити передбачений функціонал, що приводить до втрати довіри з боку користувачів. Саме тому часто захищають не тільки комерційне, а також і безкоштовне програмне забезпечення.

– Захист від копіювання розроблених алгоритмів і технологій шляхом дослідження коду програми і відновлення послідовності дій і розрахунків, що є приватою або корпоративною тайною.

Наразу у світі розроблено багато комерційних рішень з ліцензування та захисту ПЗ. Найбільш відомі з них:

– Thales Sentinel LDK / EMS / RMS
– Revenera FlexNet Publisher
– Wibu-Systems CodeMeter
– Reprise License Manager (RLM)
– Cryptlex
– 10Duke Enterprise

Тем не менш, абсолютними лідерами є перші два рішення від французської фірми Thales [5] та американська компанія Revenera [6] (підрозділ Flexera). Обидві фірми пропонують комплексні рішення з ліцензування та захисту програмних засобів, які задовольняють різноманітні вимоги користувачів.

Аналізуючі характеристики цих рішень можна сформулювати наступні можливості. Ліцензування реалізовано з прив'язкою до певних апаратних засбів, а саме:

– апаратні засоби комп'ютера;
– ключ USB (USB-dongle), на якому записані ліцензії
– програмний ключ, подібний USB ключу;
– менеджер ліцензій на сервері в локальній мережі
– хмарний менеджер ліцензій (потрібен Internet)

Незалежно від засобу, де зберігаються дані ліцензії, пропонуються такі типи ліцензій [2, 4]:

– назавжди (perpetual) – ліцензія надається без обмеження терміну експлуатації програмного забезпечення;

– пробна (Trial) – ліцензія надається на обмежений термін, при тому деякі функції також обмежені;

– за підпіскою (subscription) – користувач отримує ліцензію на певний термін, за якій він сплатив за користування програмним забезпеченням;

– мережева – ліцензія на робочому місці отримується від менеджера ліцензій, розташованого на сервері в локальній мережі;

– конкурентна – це мережева ліцензія, яка надається у випадку, якщо є вільні ліцензії. Управління розподілом ліцензій здійснюється менеджером ліцензій;

– модульна (feature based) – ліцензія надається не на весь функціонал програмного забезпечення, а тільки на замовлені модулі (функції);

– хмарна – склад і кількість ліцензій зберігається на сервері виробника програмного забезпечення

У якості засобів захисту пропонується [3, 5, 6]:

– ускладнення аналізу коду (obfuscation), яке перредбачає зміну імен на умовні назви, що ускладнює для зловмисників пошук типових конструкцій коду;

– анти-налагодження – застосування спеціальних методів програмування, які блокують роботу налагоджувачів (дебагерів);

– шифрування всього або частини коду. Його розшифровка виконується тільки при використанні в процесі виконання роботи застосунку.

В рамках розробки програмного забезпечення системи автоматизованого проєктування та виробництва меблів Астра [7] виконано впровадження засобів ліцензування та захисту програмних засобів. На основі аналізу потреб користувачів виявлено релевантність необхідних типів ліцензування:

– Модульне ліцензування – в залежності від рівня автоматизації виробництва користувачеві пропонуються тільки ті модулі (функції) програми, які йому дійсно потрібні.

– Конкурентне ліцензування – забезпечує роботу з програмним забезпеченням великої кількості конструкторів і технологів, маючі обмежену кількість ліцензій.

– Можливість міграції ліцензії – для реалізації переважно використовуються USB-ключі у якості носія ліцензії.

Компанія Thales, у порівнянні з іншими, надає дуже гнучкий інструментарій на мовах програмування C, C++, C#, Python для реалізації перелічених можливостей, тому саме це рішення було обрано для ліцензування і захисту програмних засобів.

Висновки. Порівнюючі ступінь реалізації типів та методів ліцензування та захисту програмного забезпечення відомих рішень можна зробити висновок, що вищеназвані компанії досягли результатів світового рівня. Рішення Flexera найбільш відома для ліцензування корпоративного програмного забезпечення за рахунок дуже вдалих рішень надання і підтримки мережевих конкурентних ліцензій. Тем не менш, рішення Sentinel LDK від фірми Thales представляється більш гнучким, надаючі інструменти для модульного ліцензування, що є беззаперечної перевагою при індивідуальному ліцензуванню або ліцензуванню в межах малих підприємств.

Література

[1] Jari Myllylahti, Anne-Maarit Majanoja, Tuomas Makila. Proprietary Software Licensing Models: Histore, Evolution and Trends // Recent Trends and Challenges in Information Systems and Technologies (WorldCIST 2026) . – Conference paper, 02 August 2026, pp 690-701

[2] J. Zhang, A. Seidmann – “Perpetual Versus Subscription Licensing Under Quality Uncertainty and Network Externality Effects”. – *Journal of Management Information Systems*, 2010, Vol. 27 (1), P. 39–68.

[3] V. Choudhary – “Comparison of Software Quality Under Perpetual Licensing and Software as a Service” – *Journal of Management Information Systems*, 2007, Vol. 24 (2),P. 141–165.

[4] Sentinel LDK Enforcement – License Models // Sentinel EMS 7.0 User Guide for Sentinel LDK, 2009–2026 THALES. https://docs.sentinel.thalesgroup.com/softwareandservices/ems/EMSdocs/LDK-UG/supportedLMLDK.htm

[5] Software Monetization with Thales Sentinel https://www.thalesgroup.com/en/enterprise/it-software

[6] Software & IoT Monetization https://www.revenera.com/software-monetization

[7] Програмне забезпечення для професійного виробництва меблів https://astrapro.com.ua/

CHOICE OF SOFTWARE PROTECTION AND LICENSING TOOLS

Viktor Partas

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article examine the necessity of software licensing and protection, and investigate modern types and tools of licensing as well as methods of program code protection. An analysis of existing solutions in this field is presented. An example and approach for implementing licensing and protection for a software suite are demonstrated.

Keywords: software licensing, licensing types, software protection, methods for protecting software against cracking

УДК 336.76:339.727.22(477)

ВИХІД УКРАЇНСЬКИХ КОМПАНІЙ НА МІЖНАРОДНІ ФОНДОВІ БІРЖІ В УМОВАХ ВІЙНИ: ДОСВІД KYIVSTAR GROUP НА NASDAQ

Пащенко О.В.,
кандидат економічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
oleksiy.pashchenko@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто вихід Kyivstar Group Ltd на фондову біржу Nasdaq (США) як перший прецедент лістингу компанії з бізнесом виключно в Україні на провідному американському майданчику в умовах повномасштабної війни. Проаналізовано механізм виходу через злиття зі спеціалізованою компанією з придбання активів (SPAC) Cohen Circle Acquisition Corp. Розглянуто вплив геополітичного ризику на рішення міжнародних портфельних інвесторів та на премію за ризик країни. Оцінено роль телекомунікаційної галузі як стратегічного сектору економіки України в умовах війни та повоєнного відновлення. Сформульовано висновки щодо перспектив використання подібного досвіду іншими українськими компаніями.

Ключові слова: фондова біржа, Nasdaq, Kyivstar, SPAC, лістинг, геополітичний ризик, інвестиційна привабливість, воєнний стан, телекомунікаційна галузь.

Постановка проблеми. Після 2022 р. класичне первинне публічне розміщення акцій (IPO) фактично випало з переліку реалістичних інструментів для українських емітентів – надто високими виявилися вимоги до розкриття інформації та надто довгою підготовча процедура за умов, коли частина активів компанії може перебувати під прямою воєнною загрозою [1, с. 47]. І все ж 15 серпня 2025 р. акції Kyivstar Group Ltd, материнської структури найбільшого українського оператора електронних комунікацій, розпочали торги на Nasdaq під тикером KYIV, а 29 серпня того ж року компанія взяла участь у церемонії відкриття торгів Nasdaq Opening Bell у Нью-Йорку. Це перший і поки єдиний випадок, коли компанія з бізнесом виключно в Україні потрапила в списки провідної американської біржі. Постає конкретне дослідницьке питання: за рахунок якого механізму цей вихід став можливим і чи усуває він насправді ту надбавку до вартості капіталу, яку інвестори закладають у ціну активів з країни, що перебуває у стані війни?

Відповідь на першу частину питання дає аналіз В. А. Делас та Р. В. Лепського: замість традиційного IPO Kyivstar Group об’єдналася з уже публічною спеціалізованою компанією з придбання активів (SPAC) Cohen Circle Acquisition Corp I, акції якої до злиття котирувалися під тикером CCIRU [1, с. 48–50]. Автори звертають увагу на невтішну статистику ринку SPAC загалом: дохідність інвесторів після завершення de-SPAC процесу за останні роки здебільшого коливається в діапазоні -30…-60 % протягом наступних 1–3 років унаслідок розмивання частки через варанти та винагороду менеджменту SPAC [1, с. 51–52]. Для Kyivstar, утім, ключовою перевагою була не очікувана дохідність, а швидкість і передбачуваність процедури порівняно з класичним лістингом – і саме цей аргумент переважив для емітента з країни підвищеного ризику. Материнська група VEON після завершення угоди зберегла 89,6 % акцій Kyivstar Group, тобто стратегічний контроль над активом не змінився, а компанія отримала доступ до капіталу глобальних інституційних інвесторів і зобов’язання звітувати за стандартами SEC.

Чи достатньо цього, аби нівелювати геополітичний ризик? S. Choi та J. Havel на основі даних про рух капіталу США показують, що портфельні інвестори реагують на сплески геополітичної напруги вибірково: інвестиції у розвинені економіки практично не скорочуються, тоді як вкладення в ринки, що розвиваються, падають істотно, і головним поясненням цієї різниці є не сам факт ризику, а слабкість інституцій країни-реципієнта [4]. Прозора звітність і контролюючий акціонер, уже котируваний на Nasdaq, здатні частково закрити цей інституційний розрив. Проте лише частково: F. Gamboa-Estrada та J. V. Romero, дослідивши динаміку CDS-спредів та індексу EMBI для країн, що розвиваються, прямо відносять війну росії проти України до чинників, які підвищують суверенну премію за ризик, причому вплив на CDS виявляється стійкішим і сильнішим, ніж на EMBI [5]. Іншими словами, премія за ризик країни залишається структурною величиною, яка тисне на вартість капіталу для будь-якого українського емітента незалежно від якості його корпоративного управління.

Показово, що першопрохідцем став саме телеком-оператор, а не компанія з іншої галузі. За розрахунками В. Г. М’ячина та О. В. Мирошниченка, доходи від послуг фіксованого доступу до Інтернету в Україні зросли з 15, млрд грн у 2021 р. до 21, млрд грн у 2023 р. (+33,3 % лише за останній рік), а середньомісячний дохід на одного користувача (ARPU) – з 174,1 до 219 грн, попри скорочення абонентської бази через міграцію населення [2, с. 309]. Сам Kyivstar станом на середину 2023 р. обслуговував понад 2 млн абонентів мобільного зв’язку і 1, млн абонентів домашнього інтернету, паралельно розвиваючи цифрові

сервіси Helsi, Київстар ТБ та Uklon – тобто пропонував інвесторам не вузькоспеціалізований актив, а диверсифіковану цифрову екосистему з передбачуваним грошовим потоком навіть у воєнних умовах. Це узгоджується і з висновком А. А. Славкової та Д. Р. Колісник про те, що індекс інвестиційної привабливості України під час війни опустився до 2,17 бала з можливих здебільшого через валютні обмеження та руйнування інфраструктури, а не через відсутність окремих життєздатних активів [3].

Висновки. Кейс Kyivstar Group показує, що вихід українських компаній на провідні світові біржі під час війни лишається можливим, але реалізується переважно в обхід класичного IPO – через злиття зі SPAC, яке скорочує час і вартість підготовки. Значення такого лістингу варто оцінювати радше як сигнальне й репутаційне: він підвищує прозорість і ліквідність активу, демонструє життєздатність українського бізнесу міжнародним інвесторам, проте не скасовує структурної премії за геополітичний ризик, яка визначається безпековою ситуацією країни в цілому, а не індивідуальними характеристиками емітента. Перспективним напрямом подальших досліджень є порівняння фактичної вартості залученого капіталу для компаній, що вийшли на біржу під час війни, з аналогічними показниками мирного часу, а також з'ясування, за яких умов досвід Kyivstar можна відтворити в інших стратегічних галузях – енергетиці, оборонно-промисловому комплексі, агроекспорті.

Література

[1] Делас В. А., Лепський Р. В. Перспективи використання компаній із придбання спеціального призначення (SPAC) для публічного розміщення українських компаній. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. Ужгород : Видавничий дім «Гельветика», 2025. Вип. 54. С. 46–53.

[2] М'ячин В. Г., Мирошниченко О. В. Дослідження сучасного ринку телекомунікаційних послуг в Україні. Економіка та суспільство. 2025. Вип. 72. С. 305–312. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-136.

[3] Славкова А. А., Колісник Д. Р. Інвестиційна привабливість України: реалії в умовах війни та перспективи повоєнної відбудови. Економіка та суспільство. 2023. Вип. 56. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-138.

[4] Choi S., Havel J. Geopolitical risk and U.S. foreign portfolio investment: A tale of advanced and emerging markets. Journal of International Money and Finance. 2025. Vol. 151. Art. 103253. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2024.103253.

[5] Gamboa-Estrada F., Romero J. V. Geopolitical Risk and Emerging Markets Sovereign Risk Premia. Borradores de Economía. Bogotá : Banco de la República, 2024. No. 1282. URL: https://investiga.banrep.gov.co/en/borradores/be-1282 (дата звернення: 24.09.2026).

EXIT OF UKRAINIAN COMPANIES TO INTERNATIONAL STOCK EXCHANGES DURING WARTIME: THE CASE OF KYIVSTAR GROUP ON NASDAQ

Pashchenko Oleksiy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The thesis examines the listing of Kyivstar Group Ltd on the Nasdaq Stock Market as the first case of a company operating exclusively in Ukraine being listed on a major U.S. exchange during a full-scale war. The mechanism of going public through a merger with a special purpose acquisition company (SPAC), Cohen Circle Acquisition Corp, is analyzed. The influence of geopolitical risk on international portfolio investors' decisions and on the sovereign risk premium is discussed. The strategic role of the telecommunications sector in Ukraine's economy during the war and post-war recovery is assessed. Conclusions are drawn regarding the prospects of replicating Kyivstar's experience by other Ukrainian companies.

Keywords: stock exchange, Nasdaq, Kyivstar, SPAC, listing, geopolitical risk, investment attractiveness, martial law, telecommunications industry.

УДК 338.2:355.01(477)

ЕКОНОМІЧНА СПРОМОЖНІСТЬ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Рудь І.Ю.,
кандидат економічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
inna.rud@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто роль економіки у забезпеченні незалежності, стійкості та обороноздатності України в умовах воєнного стану. Визначено основні виклики для державних фінансів, підприємницького сектору, ринку праці та інвестиційної діяльності. Особливу увагу приділено адаптації українського бізнесу до умов війни, міжнародній фінансовій підтримці та необхідності формування передумов для післявоєнного відновлення. Обґрунтовано важливість поєднання поточних економічних завдань із довгостроковими пріоритетами структурної модернізації економіки України.

Ключові слова: економічна стійкість, воєнний стан, національна безпека, державні фінанси, підприємництво, інвестиції, економічне відновлення.

Повномасштабна збройна агресія Російської Федерації проти України суттєво змінила умови функціонування національної економіки. В умовах воєнного стану економічна система виконує не лише традиційні функції забезпечення виробництва, зайнятості та добробуту населення, а й безпосередньо сприяє підтриманню обороноздатності держави, функціонуванню критичної інфраструктури та забезпеченню стійкості суспільства. Саме тому економічну спроможність держави доцільно розглядати як одну з важливих складових її національної безпеки.

Війна спричинила значні структурні зміни в економіці України. Пошкодження та знищення виробничих потужностей і транспортної інфраструктури, перебої в енергопостачанні, логістичні труднощі, переміщення підприємств та населення, скорочення інвестиційної активності стали чинниками, що ускладнюють економічний розвиток. Водночас українська економіка продемонструвала здатність адаптуватися до надзвичайно складних умов. Відновлення роботи значної частини підприємств, релокація бізнесу, перебудова логістичних маршрутів, розвиток цифрових сервісів та пошук нових зовнішніх ринків стали важливими механізмами підтримання економічної активності.

Одним із центральних завдань державної економічної політики в умовах воєнного стану є забезпечення стійкості державних фінансів. Значне збільшення видатків, пов’язаних з обороною та безпекою, одночасно з необхідністю фінансування соціальних програм, охорони здоров’я, освіти, відновлення критичної інфраструктури та підтримки постраждалих територій формує значне навантаження на бюджетну систему. За таких умов особливого значення набувають ефективність використання бюджетних коштів, удосконалення механізмів державного управління, прозорість фінансових процесів та залучення міжнародної фінансової допомоги [1].

Міжнародна підтримка стала одним із важливих чинників макроекономічної стабільності України. Фінансова допомога міжнародних партнерів дає можливість підтримувати функціонування державного сектору та виконувати першочергові бюджетні зобов’язання. Водночас така підтримка не повинна розглядатися виключно як короткострокове джерело покриття бюджетних потреб. Вона може створювати основу для реалізації інвестиційних програм, відновлення інфраструктури, розвитку людського капіталу та модернізації економіки [2].

Важливе місце в забезпеченні економічної стійкості посідає підприємницький сектор. Український бізнес в умовах війни змушений одночасно вирішувати завдання збереження виробничого потенціалу, забезпечення працівників, пошуку нових каналів постачання та збуту, адаптації до безпекових ризиків і підтримання фінансової стійкості. Особливо вразливими залишаються малі та середні підприємства, які мають менші фінансові резерви та обмежені можливості для швидкої диверсифікації діяльності.

Державна підтримка підприємництва в таких умовах має бути спрямована не лише на компенсацію поточних втрат, а й на стимулювання розвитку. Важливими інструментами можуть бути доступне кредитування, грантові програми, страхування воєнних ризиків, підтримка експорту, сприяння релокації підприємств, розвиток індустріальних парків та створення умов для залучення приватних інвестицій. Особливого значення набуває підтримка підприємств, діяльність яких пов’язана з виробництвом продукції для оборонного сектору, енергетикою, транспортом, цифровими технологіями та іншими критично важливими сферами.

Окремим викликом залишається ситуація на ринку праці. Війна спричинила переміщення значної кількості населення, втрати людського потенціалу, зміну структури попиту на робочу силу та виникнення дисбалансів між потребами роботодавців і наявними професійними компетентностями. У цих умовах

особливої актуальності набувають професійна перепідготовка, розвиток системи освіти дорослих, підтримка ветеранів, залучення внутрішньо переміщених осіб до економічної діяльності та створення можливостей для повернення українців, які перебувають за кордоном.

Ще одним стратегічним завданням є залучення інвестицій. Високий рівень воєнних ризиків обмежує готовність приватного капіталу до довгострокових вкладень, що робить необхідним формування механізмів страхування та гарантування інвестицій. Водночас процес майбутнього відновлення України створює можливості для технологічного оновлення виробництва, модернізації енергетичної системи, розвитку транспортної інфраструктури, цифровізації та впровадження інновацій [3].

Принципово важливо, щоб відновлення української економіки не зводилося лише до фізичного відтворення зруйнованих об'єктів. Йдеться про можливість структурної трансформації економіки на основі сучасних технологій, енергоефективності, цифровізації, розвитку людського капіталу та інтеграції до європейського економічного простору. У цьому контексті процес відновлення може стати не тільки способом подолання наслідків війни, а й основою для підвищення конкурентоспроможності української економіки.

Особливого значення набуває розвиток оборонно-промислового комплексу та виробництва товарів подвійного призначення. Розширення внутрішніх виробничих можливостей у сфері оборони сприяє одночасному зміцненню безпеки держави та розвитку промислового потенціалу. Інвестиції у технології, інженерні компетентності, виробничі ланцюги та дослідницькі розробки можуть мати довгостроковий економічний ефект.

Таким чином, в умовах воєнного стану економіка України виконує стратегічну функцію забезпечення стійкості держави. Здатність підтримувати роботу підприємств, фінансувати оборону та соціальні потреби, зберігати людський капітал і залучати інвестиції безпосередньо пов'язана зі спроможністю держави захищати свою незалежність і забезпечувати нормальне функціонування суспільства.

Подальша економічна політика України має ґрунтуватися на поєднанні короткострокових завдань воєнного часу з довгостроковою стратегією розвитку. Серед пріоритетів доцільно визначити підтримку підприємництва, фінансову стабільність, розвиток оборонно-промислового комплексу, залучення інвестицій, відновлення інфраструктури, розвиток людського капіталу, цифровізацію та поглиблення економічної інтеграції з Європейським Союзом. Саме комплексне поєднання цих напрямів створює передумови для економічної стійкості України сьогодні та її конкурентоспроможного розвитку в майбутньому.

Література

[1] Закон України «Про правовий режим воєнного стану» : Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19

[2] Кабінет Міністрів України. План України в рамках механізму Ukraine Facility. Київ, 2024. URL: https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/

[3] Міністерство фінансів України. Державний бюджет України. URL: https://mof.gov.ua/uk/state-budget

[4] Національний банк України. Інфляційний звіт. Київ : НБУ. URL: https://bank.gov.ua/ua/monetary/report

[5] World Bank. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment: RDNA. Washington, DC : World Bank. URL: https://www.worldbank.org/en/country/ukraine

UKRAINE'S ECONOMIC CAPACITY UNDER MARTIAL LAW

Rud Inna Yuriivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper examines the role of economic resilience in ensuring Ukraine's independence, security and defence capabilities under martial law. The main challenges facing public finance, entrepreneurship, the labour market and investment activity are identified. Particular attention is paid to the adaptation of Ukrainian businesses to wartime conditions, international financial support and the formation of conditions for post-war economic recovery. The importance of combining immediate wartime economic priorities with long-term structural modernization of the Ukrainian economy is substantiated.

Keywords: economic resilience, martial law, national security, public finance, entrepreneurship, investment, economic recovery.

УДК 330.341.1:502.131.1

ESG ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ ІМПЕРАТИВ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Чорновол Є.,
здобувач вищої освіти
(керівник: Погорєлова О.В., доктор економічних наук, професорка)
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. у тезах обгрунтовано , що впровадження принципів ESG (довкілля, соціальна відповідальність, корпоративне управління) є обов'язковою умовою успішної відбудови України після війни. Проаналізовано, як інтеграція екологічних та соціально відповідальних стандартів дозволить залучити міжнародне фінансування, забезпечити прозорість процесів та прискорити у-євроінтеграцію країни. Обгрунтовано необхідність розробки практичних механізмів трансформації вітчізняного бізнесу й державних інституцій відповідно до сучасних вимог сталого розвитку.

Ключові слова: сталий розвиток, ESG, повоєнне відновлення, фінансова оцінка.

Трансформація вітчизняної економіки після завершення бойових дій вимагатиме відходу від простого механічного відбудовування зруйнованої інфраструктури. Сучасний підхід до реконструкції базується на формуванні стійкої моделі розвитку, де економічні показники нерозривно пов'язані з екологічною та соціальною відповідальністю. У цьому контексті концепція ESG виступає не як добровільна ініціатива, а як повноцінна система стратегічного управління підприємством. На відміну від традиційної корпоративної соціальної відповідальності, яка часто мала декларативний характер, ESG спирається на чіткі метрики, зовнішній контроль та прямий зв'язок із фінансовою оцінкою компанії. Унаслідок збройної агресії природне середовище зазнало катастрофічних втрат, збитки від яких перевищують сотню мільярдів євро, а забруднення ґрунтів охоплює величезні території. Процес економічного відновлення має бути жорстко синхронізований із загальноєвропейським курсом на озеленення економіки, що встановлює новітні вимоги до виробничих процесів. Для національного бізнесу це означає нагальну потребу впроваджувати енергоощадні інновації та технології відновлюваної енергетики, що допоможе мінімізувати операційні витрати. Саме екологічні чинники закладають фундаментальну ресурсну базу, яка дозволяє підприємствам розвиватися у довгостроковій перспективі. Крім того, бізнес має враховувати двосторонню природу екологічних ризиків: з одного боку, компанія впливає на довкілля, а з іншого – глобальні кліматичні зміни безпосередньо позначаються на її фінансовій спроможності. Демографічні наслідки війни є критичними для ринку праці, адже економіка втратила мільйони робочих місць, а значна частина населення стала вимушеними переселенцями або біженцями [1]. Тому фундаментом соціальної складової ESG стає інвестування у збереження та відновлення людського капіталу. Підприємствам необхідно запроваджувати системні заходи для психологічної реабілітації працівників, допомагати ветеранам інтегруватися в робочі процеси та створювати програми перенавчання. Значну роль у цьому процесі відіграє бізнес, який допомагає формувати інклюзивне середовище та забезпечує соціальну стабільність у нових громадах [2]. Інвестиції у персонал та місцеві громади гарантують компаніям стабільність кадрового потенціалу та формують високий рівень суспільної довіри. Належна якість корпоративного управління є головним маркером для міжнародних інституцій та приватних донорів, які планують інвестувати у відбудову. Щоб інтегруватися у європейський економічний простір, компанії зобов'язані впроваджувати суворі антикорупційні процедури та забезпечувати максимальну прозорість фінансових потоків. Дотримання міжнародних орієнтирів, зокрема Настанов ОЕСР чи принципів Глобального договору ООН, допомагає компаніям ефективно уникати юридичних проблем та захищати власну репутацію. Грамотно побудована система управління визначає, наскільки раціонально компанія використовує свої ресурси та наскільки обґрунтованими є рішення менеджменту. Прозорі управлінські процеси мають пряме відображення у фінансовій звітності. У кризових ситуаціях саме своєчасна оптимізація корпоративного управління та залучення цільових ESG-інвестицій стають вирішальними інструментами для виправлення негативної тенденції та відновлення платоспроможності. Процес переходу до сталих моделей ведення бізнесу гальмується через брак єдиних стандартизованих показників, високу вартість підготовки звітів та внутрішній спротив персоналу. Ситуація є особливо складною для невеликих компаній (наприклад, в аграрному секторі), яким критично не вистачає вільного капіталу та сучасних цифрових інструментів [3]. Для вирішення цих проблем держава повинна створити сприятливе законодавче поле, гармонізоване з нормами ЄС, та розробити дієві механізми заохочення для бізнесу, що впроваджує «зелені» технології. У сучасних реаліях ESG-стандарти перетворилися з факультативної практики на ключовий елемент стратегічного планування. Використання цих принципів на рівні державних програм та корпоративних

стратегій є запорукою успішної синхронізації України з правовим полем Європейського Союзу. Для вітчизняних підприємств ESG є безальтернативним шляхом до отримання інвестицій, забезпечення довгострокового розвитку та зміцнення своїх позицій на міжнародних ринках.

Література

[1] Калініченко Л. Л. ESG як інструмент повоєнного відновлення економіки та корпоративного сектору України. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2026. № 93. С. 100-113.

[2] Полінкевич О. М., Тринчук В. В., Кучеренко В. В. Інтеграція принципів ESG у систему стратегічного менеджменту підприємств: виклики та можливості. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 14. С. 93-98.

[3] Вовк В. Ю. Впровадження ESG-концепцій: стратегічний імператив для сталого зростання малих та середніх аграрних підприємств України. Економіка та суспільство. 2025. Вип. 81. С. 117-123.

ESG AS A STRATEGIC IMPERATIVE FOR THE POST-WAR ECONOMIC RECOVERY OF UKRAINE

O. V. Pohorielova, Yehor Chornovol

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The abstract substantiates that the implementation of ESG (Environmental, Social, and Governance) principles is an imperative condition for the successful post-war reconstruction of Ukraine. It analyzes how the integration of environmental and socially responsible standards will help attract international financing, ensure process transparency, and accelerate the country’s European integration. The necessity of developing practical mechanisms for transforming domestic business and state institutions in line with modern sustainable development requirements is grounded.

Keywords: sustainable development, ESG, post-war recovery, financial evaluation.

СЕКЦІЯ 9. ГУМАНІТАРНІ АСПЕКТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИЩОЇ ШКОЛИ В УМОВАХ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ

УДК 159.942:378.091.212:364-322:355.01

ПСИХОЕМОЦІЙНИЙ СТАН СТУДЕНТІВ, ЯКІ ПОЄДНУЮТЬ НАВЧАННЯ З ВОЛОНТЕРСЬКОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ПІД ЧАС ВІЙНИ

Кравчук О.Ю.,
кандидат політичних наук, доцент,
керівник Навчально-наукового гуманітарного інституту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
olha.kravchuk@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто особливості психоемоційного стану студентів, які в умовах війни поєднують навчання у закладі вищої освіти з волонтерською діяльністю. Метою є визначення основних психоемоційних проявів, ризиків перевантаження та ресурсів психологічної стійкості студентської молоді. Використано теоретичний аналіз, узагальнення наукових підходів і систематизацію практичного досвіду. Визначено, що волонтерська діяльність може посилювати відчуття значущості, відповідальності та соціальної включеності, однак водночас підвищує ризик емоційного виснаження, тривожності й навчального перевантаження.

Ключові слова: психоемоційний стан, студенти, волонтерська діяльність, війна, психологічна стійкість, емоційне виснаження, заклад вищої освіти.

Вступна частина. Сучасна українська вища школа функціонує в умовах тривалого воєнного стану, що суттєво впливає на психоемоційний стан студентської молоді. Особливої уваги потребують студенти, які поряд із навчанням активно залучені до волонтерської діяльності: допомагають внутрішньо переміщеним особам, військовим, дітям із постраждалих громад, людям похилого віку, беруть участь у гуманітарних зборах, інформаційних кампаніях, благодійних заходах та ініціативах університетських спільнот.

Мета роботи. Теоретично обґрунтувати та проаналізувати особливості психоемоційного стану студентів, які поєднують навчання у закладі вищої освіти з волонтерською діяльністю під час війни, визначити основні ризики емоційного виснаження, тривожності й перевантаження, а також окреслити ресурси психологічної стійкості та напрями психоемоційної підтримки студентської молоді.

Основна частина. Актуальність теми зумовлена тим, що волонтерська активність студентів під час війни має подвійний психологічний ефект. З одного боку, вона сприяє формуванню почуття корисності, соціальної відповідальності, згуртованості, громадянської активності та внутрішньої стійкості. З іншого боку, поєднання навчального навантаження, воєнного стресу, особистих переживань і волонтерської відповідальності може призводити до емоційного виснаження, тривожності, порушень сну, зниження концентрації уваги та ризику вигорання.

За результатами опитування U-Report та Української Волонтерської Служби «Молодь у волонтерстві», волонтерство розглядається молоддю не лише як форма допомоги, а й як важливий механізм соціальної участі. Частина молодих людей зазначає, що волонтерство допомагає їм відчувати власну корисність, розвивати емпатію, комунікацію, відповідальність і здатність підтримувати інших у складних життєвих обставинах [1]. У цьому контексті студентське волонтерство під час війни можна розглядати як важливий чинник громадянської зрілості та психологічної стійкості.

Водночас дослідження U-Report спільно з ГО «Навчай для України» «Участь молоді у волонтерській діяльності» показало, що 55 % молодих українців вважають, що їхнє майбутнє значною мірою залежить від них самих, а 30 % молоді найбільше мотивує у волонтерстві можливість допомагати іншим [2]. Такі дані свідчать про високий рівень суб'єктності молоді, готовність брати участь у суспільно значущих процесах і прагнення бути корисними для країни в умовах війни.

Разом із тим варто враховувати, що студентська молодь перебуває під значним психоемоційним навантаженням. За даними дослідження "Braving the dark: mental health challenges and academic performance of Ukrainian university students during the war", проведеного серед 1398 українських студентів, 85,8 % респондентів мали симптоми депресії, 66,1 % – симптоми тривожності, 56,9 % – проблеми зі сном, а 48,1 % – симптоми посттравматичного стресового розладу [2]. Ці показники свідчать про те, що навіть

активна соціальна позиція студентів не скасовує потреби у психологічній підтримці, профілактиці емоційного виснаження та створенні безпечного університетського середовища.

Окремої уваги заслуговує вплив психічного стану на навчальну продуктивність. У зазначеному дослідженні встановлено, що тяжкі симптоми депресії, тривожності та проблеми зі сном пов'язані зі зниженням академічної продуктивності студентів відповідно на 17,4 %, 12,2 % і 11,0 % [2]. Це особливо важливо для студентів-волонтерів, які поєднують навчання, особисті переживання, інформаційний тиск війни та відповідальність за допомогу іншим людям.

Показовими є також результати дослідження «Вплив війни на молодь в Україні – 2024», підготовленого дослідницькою агенцією Info Sapiens за ініціативи Міністерства молоді та спорту України та підтримки ПРООН. У ньому аналізувалися зміни у житті молоді на третій рік повномасштабної війни, зокрема виклики, втрати, ціннісні орієнтири та бачення участі молоді у процесах відновлення країни [1]. У контексті теми це важливо, оскільки студентське волонтерство є однією з форм такої участі та водночас потребує підтримки з боку освітнього середовища.

Дані U-Report щодо участі молоді у процесах відновлення України демонструють, що значна частина молодих людей потребує зрозумілих умов і підтримки для активного залучення. Зокрема, 51 % респондентів потребують чіткого усвідомлення змін і того, що буде далі, 49 % – прозорої та доступної інформації про можливості участі, 45 % – довіри до організаторів таких процесів, 40 % долучилися б за наявності додаткових можливостей для розвитку, а 38 % – за умови участі разом із другом чи подругою [2]. Це свідчить, що волонтерська активність студентів має бути не стихійною, а організованою, підтримуваною та психологічно безпечною.

Наприклад, студентка гуманітарної спеціальності після занять допомагає в університетському волонтерському штабі сортувати гуманітарну допомогу для внутрішньо переміщених осіб. З одного боку, вона відчуває власну значущість і причетність до спільної справи, з іншого – стикається з втомою, емоційним перенавантаженням і труднощами у підготовці до занять. Інший приклад – студент, який навчається дистанційно та паралельно координує збір для військових. Він демонструє високу соціальну активність і відповідальність, однак постійне перебування в інформаційному полі війни може посилювати тривожність, порушувати режим сну й ускладнювати концентрацію уваги.

Проте за відсутності психологічної підтримки, надмірного навантаження або постійного контакту з травматичними історіями волонтерська діяльність може посилювати емоційне виснаження. Студенти, які допомагають постраждалим від війни, дітям, родинам військових чи внутрішньо переміщеним особам, часто стикаються з чужим болем, втратами, тривогою та відчуттям безсилля. Це може формувати так звану «втому від співчуття», коли бажання допомагати зберігається, але психологічні ресурси поступово знижуються.

Важливу роль у підтримці таких студентів має відігравати заклад вищої освіти. Університет може створювати безпечне середовище для волонтерської активності, забезпечувати психологічний супровід, проводити тренінги з емоційної саморегуляції, профілактики вигорання, командної взаємодії та кризової комунікації. Доцільним є також визнання волонтерської активності студентів як важливої складової їхнього громадянського й професійного розвитку.

Висновки. Отже, студенти, які поєднують навчання з волонтерською діяльністю під час війни, є важливим ресурсом українського суспільства та університетської спільноти. Їхня активність сприяє розвитку соціальної відповідальності, емпатії, громадянської зрілості та психологічної стійкості. Водночас високий рівень психоемоційного навантаження потребує системної підтримки з боку закладів вищої освіти. Ефективна робота зі студентами-волонтерами має поєднувати організаційну допомогу, психологічний супровід, профілактику емоційного вигорання та формування культури турботи про власне ментальне здоров'я.

Література

[1] Пінчук І., Фельдман І., Селезньова В., Вірченко В. Долаючи темряву: виклики психічного здоров'я та академічна успішність українських студентів університетів під час війни**.** Соціальна психіатрія та психіатрична епідеміологія. 2025.

[2] Пінчук І., Фельдман І., Селезньова В., Вірченко В. Психічне здоров'я студентів університетів під час і після війни: боротьба за українське майбутнє**.** Європейська психіатрія. 2025.

PSYCHO-EMOTIONAL STATE OF STUDENTS WHO COMBINE STUDY WITH VOLUNTEERING DURING THE WAR

Olha Kravchuk

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Abstract. The theses examine the peculiarities of the psycho-emotional state of students who, during the war, combine studying at a higher education institution with volunteering. The aim is to identify the main psycho-emotional manifestations, risks of overload, and resources of psychological resilience among student youth. The

study uses theoretical analysis, generalization of scientific approaches, and systematization of practical experience. It has been determined that volunteering can enhance a sense of significance, responsibility, and social inclusion; however, it may also increase the risk of emotional exhaustion, anxiety, and academic overload.

Keywords: psycho-emotional state, students, volunteering, war, psychological resilience, emotional exhaustion, higher education institution.

УДК 811.111

ФОРМУВАННЯ АВТОНОМНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ ЗВО У ФАХОВОМУ ЧИТАННІ АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Бєлоусова С.М.,
доцент НУК, старший викладач кафедри мовної підготовки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
svitlana.bielousova@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто проблему формування автономії студентів технічних спеціальностей у процесі професійно орієнтованого читання англійською мовою в умовах воєнного стану. Обґрунтовано необхідність перегляду традиційних підходів до організації самостійної роботи у зв'язку з переходом на дистанційне навчання, перебоями електропостачання, сигналами повітряної тривоги та обмеженим доступом до інтернету. Запропоновано практичні алгоритми роботи з фаховими текстами, що поєднують традиційні методики та сучасні цифрові інструменти. Особливу увагу приділено створенню офлайн-резерву навчальних матеріалів як необхідної умови безперервності навчання.

Ключові слова: автономія студентів, професійно орієнтоване читання, технічні спеціальності, воєнний стан, самостійна робота, цифрові інструменти, офлайн-навчання.

Вступ. Сучасні реалії вищої освіти в Україні ставлять перед викладачами іноземної мови нові виклики, пов'язані з воєнним станом. Як зазначено в Концепції Державної цільової національно-культурної програми сприяння вивченню та застосуванню англійської мови в Україні на 2026–2030 роки, володіння англійською мовою є необхідною умовою конкурентоспроможності фахівців на міжнародному ринку праці [1]. Водночас студенти технічних спеціальностей часто мають низький рівень навчальної автономії, що ускладнює самостійне опрацювання фахових текстів англійською мовою. Ситуація поглиблюється через вимушений перехід на дистанційний та змішаний формат навчання, перебої з електропостачанням, сигнали повітряної тривоги, обмежений доступ до інтернету та психологічний стрес студентів. Саме тому цілеспрямоване формування здатності студентів самостійно організовувати власну навчальну діяльність стає критично важливим завданням.

Мета роботи – теоретично обґрунтувати шляхи формування автономії студентів технічних спеціальностей у професійно орієнтованому читанні англійською мовою та запропонувати практичні рекомендації щодо організації самостійної роботи з фаховими текстами в умовах воєнного стану.

Основний зміст. Поняття автономії студента (learner autonomy) передбачає здатність здобувача освіти самостійно визначати цілі навчання, обирати стратегії їх досягнення, контролювати власний прогрес і оцінювати результати. В умовах обмеженої кількості аудиторних годин, відведених на вивчення іноземної мови в технічних ЗВО, автономність стає визначальним чинником успішності опанування професійно орієнтованою англійською мовою. Формування цієї компетентності потребує цілеспрямованої педагогічної діяльності, особливо в умовах воєнного стану, коли традиційні форми роботи стають неможливими.

Однією з найбільш ефективних моделей, яка сприяє формуванню автономії, є flipped classroom («перевернутий клас»). Ця модель передбачає самостійне опрацювання студентами теоретичного матеріалу (відеолекцій, текстів, інтерактивних презентацій) до аудиторного заняття, що дозволяє вивільнити час на практичну роботу, обговорення та виконання комунікативних завдань під керівництвом викладача. Такий підхід вимагає від студентів високого рівня самоорганізації, відповідальності та вміння планувати власний навчальний час. В умовах воєнного стану, коли аудиторні заняття можуть переривatися або переноситися, модель flipped classroom дозволяє зберегти освітній процес, перенісши основний обсяг роботи в самостійний формат.

Особливої актуальності набуває мікронавчання (microlearning) – підхід, за яким навчальний матеріал поділяється на невеликі, логічно завершені блоки, що легко засвоюються за короткий проміжок часу (10–15 хвилин). У поєднанні з технікою розподіленого повторення (spaced repetition), яка передбачає регулярне повернення до вивченого через певні проміжки часу, мікронавчання забезпечує стійкість освітнього

процесу до зовнішніх перебоїв. Студент може опрацювати один мікро-блок між сигналами повітряної тривоги або під час нетривалого відновлення електропостачання, не втрачаючи загального контексту та ритму навчання.

Значний потенціал для формування автономії мають цифрові інструменти. Зокрема, інтерактивна платформа Nearpod дозволяє створювати мультимедійні уроки з вбудованими завданнями для самоперевірки, опитуваннями та інтерактивними презентаціями. Студент може працювати з матеріалом у власному темпі, миттєво отримувати зворотний зв'язок і відстежувати власний прогрес. Додаток Quizlet надає можливість створювати картки з професійною лексикою, використовувати готові набори термінів, тренувати написання та вимову в режимі гри. Важливою перевагою є можливість роботи в офлайн-режимі після попереднього завантаження матеріалів.

Окремо слід відзначити роль інструментів штучного інтелекту (ChatGPT, Claude, Bing AI тощо) у підтримці самостійної роботи студентів. AI-чатботи можуть виконувати функцію віртуального тьютора: пояснювати незрозумілі граматичні конструкції, генерувати приклади використання термінів у контексті, перевіряти правильність перекладу речень, допомагати складати анотації до фахових текстів. Це зменшує залежність студента від викладача та формує навички самостійного пошуку інформації й вирішення мовних труднощів.

Власна викладацька практика ґрунтується на методичних рекомендаціях до самостійної роботи студентів (2025) [2] та навчальному посібнику "English for Engineering" (2020) [3]. Згідно з цими матеріалами, ефективна робота з фаховим текстом передбачає чіткий алгоритм дій:

1. Перше читання – ознайомче, спрямоване на визначення загальної теми, основної ідеї та структури тексту.
2. Робота з професійною лексикою – виписування невідомих термінів, переклад за допомогою словника, транскрипція, складання власних речень для активного засвоєння.
3. Детальний аналіз тексту – вивчення граматичних конструкцій, характерних для науково-технічного стилю (пасивний стан, умовні речення, герундій, інфінітивні звороти).
4. Практичне закріплення – переказ змісту своїми словами (усно або письмово), складання плану тексту, формулювання питань до змісту.
5. Письмова практика – написання короткого технічного опису, інструкції або анотації на основі прочитаного тексту.

Такий алгоритм забезпечує глибоке осмислення матеріалу, формує навички роботи з науково-технічною літературою та розвиває критичне мислення.

Важливим аспектом є адаптація навчальних матеріалів до умов воєнного стану. Крім цифрових інструментів, необхідно передбачати офлайн-резерв: друковані підручники, методичні розробки, паперові словники, роздруковані тексти з системами завдань. Як показує практика, саме ці матеріали стають єдиним джерелом навчальної інформації під час тривалого відключення електропостачання та інтернету. Тому в системі професійно орієнтованого читання доцільно поєднувати цифрові інструменти (для роботи в нормальних умовах) та друковані матеріали (як резерв на випадок надзвичайних ситуацій). Викладачеві слід формувати в студентів звичку працювати з друкованими текстами та словниками без постійного звернення до онлайн-перекладу.

Для діагностики рівня автономії студентів розроблено опитувальник, що охоплює п'ять блоків: ставлення до автономного навчання, робота з професійно орієнтованим читанням, вплив воєнного стану на самостійну роботу, використання цифрових технологій та ШІ, методичні уподобання. Результати опитування дозволяють виявити проблемні зони та скоригувати методику організації самостійної роботи.

Висновки. Формування автономії студентів технічних спеціальностей у професійно орієнтованому читанні англійською мовою є комплексним завданням, що передбачає цілеспрямовану системну педагогічну діяльність із поєднання традиційних методик роботи з текстом та сучасних цифрових інструментів. Моделі flipped classroom і мікронавчання з розподіленим повторенням довели свою ефективність у формуванні самостійності студентів в умовах воєнного стану. Критично важливим є створення офлайн-резерву навчальних матеріалів (друкованих підручників, словників, текстів) як гарантії безперервності навчання під час перебоїв електропостачання та відсутності інтернету. Подальші дослідження будуть спрямовані на експериментальну перевірку моделі інтеграції мобільних додатків та AI-інструментів у самостійну роботу студентів технічних спеціальностей.

Література

[1] Про схвалення Концепції Державної цільової національно-культурної програми сприяння вивченню та застосуванню англійської мови в Україні на 2026-2030 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 04.06.2025 № 659. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/659-2025-п

[2] Кисельова Т.В., Бєлоусова С.М. Методичні рекомендації до самостійної роботи студентів І курсу Машинобудівного навчально-наукового інституту з дисципліни «Іноземна мова». Миколаїв : НУК, 2025. 4 с.

[3] Бєлоусова С.М., Кисельова Т.В., Смуглякова М.К. English for Engineering : навчальний посібник з англійської мови для студентів Машинобудівного навчально-наукового інституту. Миколаїв : НУК, 2020. 15 с.

FOSTERING LEARNER AUTONOMY OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS IN PROFESSIONALLY ORIENTED ENGLISH READING UNDER MARTIAL LAW

Svitlana M. Bielousova
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The problem of developing autonomy in students of technical specialties in the process of professionally oriented reading in English under martial law is considered. The necessity of revising traditional approaches to the organization of independent work is substantiated in connection with the transition to distance learning, power supply interruptions, air raid alerts, and limited internet access. Practical algorithms for working with professional texts that combine traditional methods and modern digital tools are proposed. Particular attention is paid to the creation of an offline reserve of educational materials as a necessary condition for the continuity of learning.

Keywords: student autonomy, professionally oriented reading, technical specialties, martial law, independent work, digital tools, offline learning.

УДК 378.016:81’271

ФОРМУВАННЯ МОВНОЇ ОСОБИСТОСТІ В УМОВАХ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФІЛОЛОГІВ

Ворчакова І.Є.,
кандидат політичних наук, доцент кафедри перекладу
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
iryna.vorchakova@nuos.edu.ua

Анотація. Розглядається проблема формування мовної особистості майбутніх філологів через призму її багатоаспектності та комплексної природи. Доводиться, що вища школа бере на себе ключову відповідальність за формування мовленнєвої компетентності студентів. Підтверджено положення про те, що культура мовлення та спілкування є важливою передумовою професійної самореалізації майбутніх фахівців.

Ключові слова: мовна особистість, мовленнєві компетентності, комунікація, культура мовлення, професійна реалізація.

Вступ. Сьогодні мовна особистість стала об’єктом дослідження у різних галузях науки, тому можна говорити про міждисциплінарні підходи до її вивчення. Поняття «мовна особистість» досі не є точно визначеним, що пов’язано зі складністю та багаторівневістю самої проблеми. Моделі мовної особистості лише починають розроблятися науковцями. У останніх наукових доробках мовна особистість досліджується з позиції її різновидів, пов’язаних з діяльністю людини та виконанням нею певних соціальних ролей**.**

Метою дослідження є визначення основних чинників, що забезпечують розвиток мовленнєвої та комунікативної компетентностей майбутніх філологів і, як наслідок, формують професійну мовну особистість.

Основна частина. Аналізуючи праці науковців, які займаються дослідженнями мовної особистості, можна прослідкувати загальну тенденцію в інтерпретації останньої. Відтак, враховуючи варіативність дослідницьких підходів до визначення мовної особистості можна конотувати її як носія культурно-мовних та комунікаційних цінностей, яка має свій індивідуальний стиль мовлення та особливий стиль спілкування, який вона використовує в побуті, діловій комунікації та професійній діяльності.

Істотною ознакою мовної особистості є наявність мовної свідомості й мовної самосвідомості. Говорячи про мовну свідомість особистості, ми повинні мати на увазі ті особливості мовної поведінки індивідуума, які визначають комунікативна ситуація, його мовний і культурний статус, соціальна належність, стать, вік, психічний тип, світогляд, особливості біографії та інші константні й змінні параметри особистості [3, с. 50].

Найбільш складним завдання для викладачів вищої школи є формування мовної особистості майбутніх філологів, тому що вони повинні стати своєрідним взірцем довершеної культури мовлення та спілкування.

Формування мовної особистості майбутніх філологів потребує комплексного підходу, який базується на інтеграції комунікативного, міжкультурного, когнітивного, психолінгвістичного та дискурсивного підходів.

Кожен із цих підходів сприяє розвитку в студентів здатності до адекватної міжкультурної комунікації, гнучкої адаптації до різних культурних контекстів та збереження високої якості перекладу [2, с. 37].

Формування мовної особистості означає не тільки набуття людиною певних знань, умінь і навичок, але й самовиховання свідомого ставлення до мови, що виражається в прагненні та вмінні мовців спілкуватися рідною та іншими мовами, відповідальному ставленні до власного мовлення, постійній, наполегливій роботі над його вдосконаленням [4, с. 295].

Удосконалення мовної особистості майбутнього філолога передбачає оволодіння культурою писемного та усного мовлення студентами, що включає два рівні: базовий рівень, що передбачає володіння нормами усної та писемної літературної мови – правилами вимови, наголосу, граматики, слововживання; та вищий рівень мовної майстерності, що передбачає оволодіння вмінням використовувати виразні засоби у різних умовах спілкування відповідно до цілей та змісту мови [5, с. 210] .

Формування мовної компетенції майбутніх філологів є базисом формування професійної мовної особистості. Адже, без засвоєння культури та етичних норм спілкування неможливе формування висококваліфікованого фахівця у галузі філології.

Процес формування комунікативної компетенції студентів передбачає врахування і вдосконалення лінгвістичних і соціально-психологічних знань і навичок студентів, їхнього комунікативного досвіду; комплексне формування мовної і соціокультурної компетенцій як складових власне комунікативної компетенції; розвиток умінь і навичок дотримання доцільності у використанні мовних норм, зокрема, їх варіантів; прищеплення студентам умінь орієнтуватися у виборі правильної комунікативної поведінки у суспільстві залежно від конкретної мовленнєвої ситуації. Зазначимо, що мовна особистість формується на основі рідної мови, а розвивається, розширює свої мовно-культурні обрії шляхом засвоєння інших мов. Тільки різностильова, функціонально багата мова-основа може надійно забезпечити засвоєння другої мови. Та, перш за все, культура професійного мовного спілкування формується на основі реалізованих на високому рівні навчальних програм: відповідних дисциплін і різних форм роботи – лекційних, практичних занять, де засвоюється термінологія – наукова і практична опора майбутнього фахівця [1, с. 59].

Висновки. Отже, формування мовної особистості майбутніх філологів є одним із важливих завдань сучасної вищої школи. Вона передбачає не лише оволодіння системою мовних знань і комунікативних умінь, а й розвиток здатності особистості ефективно використовувати мову задля подальшої її професійної реалізації. Мовна особистість майбутнього філолога – це проблема, яка недостатньо розкрита в науковій площині, тому потребує подальшого грунтовного вивчення.

Література

[1] Гаценко І. О. Особливості формування мовної особистості майбутнього фахівця у вищому навчальному закладі. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету.* Сер. : Педагогічні науки. 2013. Вип. 111. С. 56–59.

[2] Кабаченко І, Артеменко Ю. Концептуальні засади формування мовної особистості майбутніх філологів-перекладачів. *Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Філологія*. № 3. С. 33–37. DOI https://doi.org/10.32689/maup.philol.2024.3.4

[3] Майборода Н. Г., Самойленко В. В. Особливості формування мовної особистості фахівця на етапі навчання в закладі вищої освіти. *Закарпатські філологічні студії.* 2023. Випуск 30. С.48–52.

[4] Пентилюк М. Мовна особистість майбутнього вчителя-словесника в контексті професійної підготовки. *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету.* 2014. Ч. 2. С. 290–297.

[5] Терещенко Л. В., Станіславова Л. Л. Удосконалення мовної особистості майбутнього філолога. *Закарпатські філологічні студії.* 2022. Вип. 23. Т. 1. С. 206–211. DOI: https://doi.org/10.32782/tps2663-4880/2022.23.1.40.

FORMATION OF LANGUAGE PERSONALITY IN THE CONDITIONS OF PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE PHILOLOGISTS

Vorchakova Iryna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The problem of forming the linguistic personality of future philologists is considered through the prism of its multifaceted and complex nature. It is proved that higher education assumes the key responsibility for the formation of students' linguistic competence. The proposition that the culture of speech and communication is an important prerequisite for the professional self-realization of future specialists is confirmed.

Keywords: linguistic personality, speech competences, communication, speech culture, professional implementation.

УДК 81'3

ПОРУШЕННЯ НОРМАТИВНОСТІ ПРОФЕСІЙНОГО МОВЛЕННЯ

Гарбар А.І.,
старший викладач кафедри мовної підготовки
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
andrii.garbar@nuos.edu.ua

Анотація. Закцентовано увагу на найтиповіших порушеннях нормативності на лексичному та граматичному рівнях усного та писемного професійного мовлення. Проаналізовано анормативні конструкції зі скалькованими лексемами, суржиковими утвореннями, надлишковими засобами мови, словами іншомовного походження, дієслівним керуванням, безособовими формами на **–но, -то,** активними дієприкметниками теперішнього часу. Зауважено, що однією із професійних якостей фахівця будь-якої галузі є безпосереднє дотримання мовних норм у комунікативній діяльності.

Ключові слова: мовні норми, нормативні порушення, лексична нормативність, граматична нормативність, професійне мовлення.

Вступна частина. Знання усталених норм літературної мови є важливим показником культури мовлення. Дотримання мовних норм забезпечує точність, зрозумілість і доречність мовлення у професійному вимірі, безпосередньо впливає на ефективність професійної комунікації та створює позитивний імідж фахівця.

Мета – окреслити найчастотніші порушення нормативності професійного мовлення на лексичному та граматичному рівнях.

Основна частина. Унормована літературна мова має єдиний правопис, єдиний наголос у словах, сталу вимову, розуміння змісту вживаних слів, обов'язкові для всіх правила відмінювання слів та синтаксичних зв'язків між ними. У професійному мовленні *нормативність* передусім виявляється в умінні комунікантами усвідомлено послуговуватися мовними засобами в усталених формах. Норма – це результат відбору мовних елементів (лексичних, морфологічних, синтаксичних) із переліку наявних, традиційних у мові одиниць, новотворів, повернених із пасивного запасу минулого засобів у процесі їх соціальної оцінки [1, с. 30]. Відомий український мовознавець М. Пилинський зазначав, що насамперед слід говорити про *норму мови*, а не *норму мовлення*, так як ця категорія первинна, а *норма мовлення* може розглядатися лише як прояв у мовленні мовної норми [2, с. 62–63]. Мовні норми є сталими, стабільними, однак, як наголошує науковиця А. Коваль, різняться ступенем обов'язковості дотримання та їх типами: у писемному мовленні вимоги до дотримання мовних норм надзвичайно суворі, існує більше нормативних правил ніж в усному (додаються правописні норми), а в усному мовленні вимог до норм правопису немає, натомість з'являються вимоги до правильного наголошення й вимови слів [3, с. 9].

Донині існують прогалини в дотриманні норм літературної мови професійними комунікантами, що спричиняє відхилення від встановлених мовних стандартів. Порушення нормативності, як в усному так і у писемному мовленні, найбільше простежується на лексичному та граматичному рівнях. Лексичні анормативи професійного мовлення пов'язані з уживанням скалькованих лексем: *заключити угоду* (замість *укласти угоду); користуватися повагою* (замість *мати повагу); перш за все* (замість *передусім, насамперед*); суржикових утворень: заказати справку (замість *замовити довідку);* розрахунок налічними (замість розрахунок готівкою); слідуюче питання (замість наступне питання*);* надуживанням словами іншомовного походження: *компенсація збитків* (замість *відшкодування збитків); анулювати замовлення* (замість *скасувати замовлення); апеляція на рішення суду* (замість *оскарження на рішення суду)*. Мовознавець С. Караванський зауважував, що іншомовні слова треба вживати там, де є конечність, де без них не обійтися. Там же, де є можливість вживати свою лексику, треба вживати свою. Свої – не гірші від заморян [4, с. 92].

Також трапляються помилки й у паронімійних відношеннях між словами через незнання лексичних значень слів-паронімів, або інтерферентний вплив: *електронний адрес (*замість *електронна адреса); військовий стан (*замість *воєнний стан); поставлена задача (*замість *поставлене завдання).* Унаслідок невміння чи небажання висловлюватися стисло з'являються надлишкові засоби мови – плеонастичні конструкції: *кваліфікований фахівець (*замість *фахівець); державний чиновник (*замість *чиновник, держслужбовець); попереднє планування (*замість *планування).*

Далі закцентуємо увагу на типових помилках, які відображають недотримання граматичної нормативності у професійному мовленні, зокрема на дієслівному керуванню, активних дієприкметниках теперішнього часу, дієслівних формах на **–но**, **-то.** Ілюстрацією до порушеного дієслівного керування слугують конструкції з близькозначними словами-синонімами, що можуть вимагати різних відмінків залежного слова (*оволодіти англійською мовою*, але *опанувати англійську мову; повідомити слухачам*, але

поінформувати слухачів; запобігати банкрутству, але *уникнути банкрутства)* та слова-пароніми, що мають не тільки різне значення, а й різні можливості керування (*оснований на фактах*, але *заснований науковцем; повстати на боротьбу*, але *постати перед суддею; пригадати зміст*, але *нагадати про зв'язки*).

У мовленні професійних комунікантів спостерігаємо вживання конструкцій з активними дієприкметниками теперішнього часу, які призводять до порушення граматичної нормативності: *керуючий відділом (*замість *керівник відділу); вражаючі результати (*замість *разючі результати); існуючий план роботи (*замість *чинний план роботи)*. Найпродуктивнішими способами заміни активних дієприкметників у професійному мовленні є питомі граматичні форми іменників і прикметників.

Яскравими прикладами ненормативного вживання дієслівних форм на **–но**, **-то** слугують конструкції на зразок: рішення ухвалено членами комісії одностайно (замість рішення ухвалено одностайно (рішення ухвалене членами комісії одностайно); інструкцію було прочитано (замість інструкцію прочитано); огляд будівельного майданчика проведений (замість огляд будівельного майданчика проведено). Варто пам'ятати, що дієслівні форми на **-но, -то** надають реченню певного відтінку результативності й минулості: вони виражають недавно завершену дію. У реченні такі двокомпонентні конструкції є активними, оскільки не мають підмета й описують подію з об'єктом, що є додатком.

Висновок. Отже, можна впевнено стверджувати, що нормативне використання засобів мови в мовленнєвій професійній практиці є вагомим показником загальної комунікативної культури, важливим аспектом формування іміджу фахівця будь-якої галузі, проявом професіоналізму.

Література

[1] Коць Т.А. Сучасний український науковий текст у вимірі мовної норми. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія : Філологія. Журналістика. 2024. № 5. С. 26–31.
DOI https://doi.org/10.32782/2710-4656/2024.5.1/05
[2] Пилинський М.М. Мовна норма і стиль Київ : Наукова думка. 1976. 288 с.
[3] Коваль А.П. Культура ділового мовлення : Писемне та усне ділове спілкування. Київ : Вища школа. 1982. 28 с.
[4] Караванський С.Й. Секрети української мови. Київ : УКСП «Кобза». 1994. 15 с.

VIOLATIONS OF NORMATIVITY IN PROFESSIONAL SPEECH

Garbar A.I.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The study focuses on the most typical violations of normativity at the lexical and grammatical levels of oral and written professional speech. It analyzes non-normative constructions involving calqued lexemes, surzhyk formations, redundant speech means, words of foreign origin, verb government, impersonal forms ending in -no / -to, and active present participles. It is emphasized that one of the professional qualities of a specialist in any field is the direct adherence to linguistic norms in communicative activity.

Keywords: speech norms, normative violations, lexical normativity, grammatical normativity, professional speech.

УДК 811.161.2'373.61

ФЕМІНІЗОВАНІ ЛЕКСЕМИ У ПРОФЕСІЙНІЙ КОМУНІКАЦІЇ

Гарбар І.В.,
старший викладач кафедри мовної підготовки
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
iryna.garbar@nuos.edu.ua

Анотація. Проаналізовано лексико-семантичну підгрупу назв осіб жіночої статі за професійними, діяльнісними, процесуальними, функційними характеристиками на семантичному і словотвірному рівнях. Зауважено, що найбільш продуктивним у деривації фемінітивів є суфікс **–к-а**, приєднуваний до твірних основ маскулінативів. Наголошено, що фемінітиви покликані відродити ґендерну рівність та увиразнити український словотвір.

Ключові слова: фемінітиви, фемінізовані лексеми, суфіксальні форманти, твірна основа, професійна комунікація.

Вступна частина. На сучасному етапі суспільного й мовного розвитку лексикон сучасної української мови стрімко поповнюється фемінітивами. Показовим стало зростання участі жінок у політичній, економічній, культурній, науковій та інших сферах, унаслідок чого у професійній комунікації істотно активізувалися процеси творення і вживання фемінізованих граматичних форм. Встановлено, що кількість новітніх лексем на позначення жінок за професійною діяльністю із 2005 року збільшилася вдесятеро. «Фемінітиви покликані відродити ґендерну рівність та увиразнити український словотвір, який тривалий час зазнавав впливу російської мови, яка орієнтувала на вживання жіночих найменувань лише у чоловічому роді» [1, с. 40].

Мета – проаналізувати вживання та творення новітніх фемінізованих лексем у професійній комунікації.

Основна частина. Фемінітиви – специфічна, багатогранна категорія самостійних лексем сучасної української мови з давніми словотвірними процесами і відношеннями, що включає понад п'ять тисяч номінацій, утворює велику кількість лексичних підгруп.

У своєму дослідженні проаналізуємо новітні фемінізовані лексеми, а саме найбільш динамічну лексико-семантичну підгрупу назв осіб жіночої статі за професійними, діяльнісними, процесуальними, функційними характеристиками. Яскравим прикладом на семантичному рівні слугують лексеми жіночого роду, що позначають осіб відповідної статі на тлі узвичаєних назв чоловічого роду (маскулінативів) і вживаються у науково-дослідницькій і навчально-освітній діяльності (*експертка, лінгвістка, психологиня, теоретикиня, вступниця, докторантка, екзаменаторка, лекторка*); у сфері інформаційних технологій (*медійниця, програмістка, інтерв'юерка*); у спортивній діяльності (*тренерка, гравчиня, лижниця, шаблістка*); у сфері культури, мистецтва, літератури (*кіномисткиня, режисерка, дизайнерка, літераторка*); в економічній діяльності (*банкірка, роботодавиця, підприємниця, орендаторка*); у сфері правових відносин (*позивачка, законодавиця, підсудна, адвокатка*); у медичній діяльності (*лікарка, дієтологиня, гомеопатка, дантистка*); у військовій і поліцейській діяльності (*десантниця, зв'язківка, поліціянтка*); у сфері адміністрування та управління (*менеджерка, завідувачка, проректорка*); у дорожньо-транспортній діяльності (*вагонетниця, візирувальниця, водійниця*) тощо.

На словотвірному рівні фемінізовані лексеми представлені іменниками жіночого роду, утвореними суфіксальним способом. «Український правопис» (2019 року) уможливлює творення фемінітивів за допомогою суфіксів **-к-а, -иц-я, -ин-я, -ес-а**, проте не подає чітких словотвірних моделей фемінітивів. Найбільше труднощів саме й пов'язано із використанням твірної бази [2, с. 288]. Однак ми виявили деякі закономірності, які далі проаналізуємо. Найбільш продуктивною є словотвірна модель фемінітивів з формантом **-к-а**, приєднуваним до твірних основ на позначення чоловічих професій або маскулінних номенів подвійного роду й назв різних видів діяльності: **-ист, -іст** (*програм**іст** → програміст**к**а, метод**ист** → методист**к**а*); **-анин (-янин)** (*харків'ян**ин** → харків'ян**к**а, заробітч**анин** → заробітчан**к**а*); **–ор, -ер** (*дайв**ер** → дайверк**а**, інвест**ор** → інвесторк**а***); **-ач, -яч** (*виклад**ач** → викладачк**а**, ді**яч** → діячк**а***); **–тель** (*цілит**ель** → цілительк**а***); від основ зі збігом приголосних (*кореспонд**ент** → кореспондентк**а***); від складеної основи (*психотерапевт → психотерапевтк**а**)*. Однак до твірних основ на **-ик, -ень** слід додавати формант **-иц-я:** (*корабельн**ик** → корабельн**иця**, уч**ень** → учен**иця***). Формант **-ин-я** додаємо до твірних основ, що закінчуються: на твердий приголосний (*педагог → педагог**иня***); на **-лог** ***(****дієтол**ог** → дієтолог**иня***); зрідка на – **ець** ***(****грав**ець** → гравч**иня***). Науковиця М. Брус зауважує, що активне продукування фемінітивів демонструє сьогодні тільки спроби вироблення типових словотвірних моделей деривації іменників зі значенням жіночості, а визначальними щодо уніфікації й кодифікації загальних назв жінок, особливо в діловій сфері, є нові лексикографічні видання й лінгвістичні дослідження [2, с. 295].

Спостерігається проблема стилістичної та нормативної варіативності словотворчих формантів **-иц-я / -ин-я, – к-а/ -ес-а, -ин-я/ -ес-а**, яка спричиняє неоднозначне сприйняття деяких новоутворень: *мовознав**иц**я / мовознавч**иня; деканка / деканеса; політик**иня / політик**еса* тощо. Фемінні утворення із формантом **-ес-а** мають відчутний знижений значеннєвий відтінок розмовності, хоча й вкладаються у словотвірну модель. І. Огієнко свого часу писав, що в літературній мові діє закон літературної традиції. Буває, що маємо форму ніби й недотепну, але довге вживання її, цебто її літературна традиція, вкінці її узаконює [3, с. 167].

У професійній комунікації замість фемінізованих лексем можна поєднувати слова-регулятиви (*пані, жінка, шановна, високоповажна* та ін.) з іменниками чоловічого роду: *пані посол, пані депутат* тощо. Однак одночасне використання слів-регулятивів на зразок: *жінка-військова, пані директорка* призводить до плеоназму. Також варто пам'ятати про відсутність відповідників жіночого роду у всіх складних назвах посад, звань: *старший викладач, старший науковий співробітник, головний архітектор* тощо.

Висновок. Отже, на підставі вищевикладеного можна зробити такі висновки:

- вживання фемінізованих лексем у професійній комунікації свідчить про те, що мова залишається динамічною системою, яка постійно розвивається;
- словотворчі форманти у новітніх фемінізованих лексемах слід добирати з врахуванням нормативності, естетичної прийнятності та милозвучності.

Література

[1] Гарбар І.В Особливості фемінізації українського жіночого лексикону. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. Сер. : Філологія. 2026. № 77. С. 40–43.

[2] Брус М.П. Фемінітиви в українській мові: генеза, еволюція, функціонування. Частина перша : монографія. Івано-Франківськ : ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2019. 44 с.

[3] Огієнко І.І. Наша літературна мова : Як писати й говорити по-літературному : Мовні норми. Вінніпег : Наша культура, 1958. 42 с.

FEMINIZED LEXEMES IN PROFESSIONAL COMMUNICATION

Garbar I.V.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article analyzes the lexico-semantic subgroup of female-gender personal names based on professional, activity-related, procedural, and functional characteristics at the semantic and word-formational levels. It is noted that the most productive suffix in the derivation of feminitives is -k-a, which is attached to the stems of masculinitives. The study highlights that feminitives are called upon to restore gender equality and reflect Ukrainian word formation.

Keywords: feminitives, feminized lexemes, suffixal formants, base of formation, professional communication.

УДК 004.8:378

ПІДХОДИ ДО КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ СТУДЕНТІВ-ДИЗАЙНЕРІВ В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Данильченко Н.В.,
старший викладач кафедри дизайну,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
nataliia.danylchenko@nuos.edu.ua

Анотація. Проаналізовано переваги та недоліки використання штучного інтелекту студентами. Розглянуто проблеми взаємодії «викладач-студент-штучний інтелект» та виклики для формування академічної культури. Запропоновано впровадження нових критеріїв оцінювання в парадигмі використання штучного інтелекту студентами при вивченні гуманітарних дисциплін.

Ключові слова: штучний інтелект, оцінювання, форма контролю.

Широке розповсюдження моделей штучного інтелекту (ШІ) за останній рік дозволяє застосовувати остання в багатьох сферах життя. Достатньо великий відсоток застосування ШІ припадає на навчальну діяльність. Дана технологія ідеально відповідає головним потребам галузі: економії часу, індивідуальному підходу та швидкому доступу до структурованої інформації. Студенти є саме такою аудиторію, яка швидко пристосовується до нових умов, легко навчається новим технологіям і готова експериментувати. Сам процес навчання полягає в обробці великих текстів та масивів даних, а алгоритм ШІ спроможний за секунди підсумовувати великі за обсягом наукові статті, шукати першоджерела, перекладати складні терміни та перевіряти правильність відповідей. До того ж сучасний рівень розвитку техніки та технологій дозволяє доступ до даних технологій 24/7.

Легальне використання в навчанні ШІ потребує додаткових зусиль: розробку та впровадження певних нормативних документів, контроль, оцінювання ризиків, етичних моментів тощо. Європейські університети адаптуються до епохи штучного інтелекту, активно впроваджується Регламент ЄС про ШІ [1]. Європейські заклади вищої освіти (ЗВО) повністю синхронізували свої внутрішні документи з цим законом. Українські ЗВО, в основному, у використанні ШІ базуються на рекомендаціях МОН та внутрішньому Кодексі доброчесності.

Але вже зараз, на етапі становлення нормативної бази, вже є певна ясність, в яких формах можна використати штучний інтелект. Наприклад, здобувачі освіти можуть отримувати підказки, розбір помилок чи роз’яснення складних концепцій своїх проєктів. Або здійснювати пошук аналогічних проєктних рішень, пошук певних літературних джерел. Істотним ризиками попри цьому залишається поняття «академічної доброчесності», плагіату та заміни власного мислення та творчої думки машинним інтелектом [2]. Тому і

закордонні, і вітчизняні ЗВО налаштовані на декларування застосування моделей генеративного ШІ, демонстрацію історії промптів, використання корпоративних ліцензій.

Окреме питання при такому підході полягає в зміні критеріїв оцінювання здобувачів освіти. Важливим для академічної культури залишається довіра між викладачем і студентом, взаємоповага та сприятлива атмосфера для навчання. Зміна філософії оцінювання тягне за собою і іншу постановку завдань для здобувачів вищої освіти.

Сама суть завдань має змінюватись (і це вже відбувається). Для студентів гуманітарних спеціальностей, які працюють з великими текстовими масивами, замість написання стандартних рефератів чи есе (що ШІ робить за секунди), доречними будуть усні дискусії, формулювання ідеї, побудова структури, архітектури дослідження та критичний відбір даних. Влаштування групових обговорень, вирішення реальних проблемних ситуацій, відстоювання власної точки зору проти опонентів можна запропонувати для майбутніх істориків, психологів, журналістів. У цих сферах сам процес міркування, пошуку доказів та побудови логічних зв'язків має значно більшу цінність, ніж просто готова відповідь чи набір заучених фактів.

Окремо можна розглянути спеціальність «Дизайн», де окрім вивчення законів та основ дизайну, важливим є наявність творчої складової. Генеративний ШІ достатньо швидко та гарно наразі створює ескізи та навіть цілі проєкти. Для розвинення креативності та творчого мислення та запобіженню «штампуванню» ідей, звичайні курсові проєкти з дизайн-проєктування можна доповнювати новими розділами, в яких акцент робиться саме на пошуку ідей для проєкту, розгляду декількох концепцій та креативності обрання кращої з обов'зковим поясненням вибору. *Сценарії такої взаємодії* та завдання із легальним застосування ШІ можуть бути наступними:

1). Використання штучного інтелекту на етапі пошуку концепцій, створення мудбордів. Головний принцип– перетворити ШІ з «виконавця» на інструмент дослідження чи генерації перших пошукових ідей, оцінюючи не готове зображення, а дизайн-процес, критичне мислення. Обов'язкове пояснення остаточного варіанту , доопрацювання його студентів та підсумковий синтез.

2). Пошук ідей для проєкту за допомогою генеративного ШІ, як варіантів. Обов'язкова умова – подача детального звіту з текстовими запитами (промпту), еволюцією ідей та аргументацією, чому певні згенеровані варіанти були відхилені. Фінальний варіант має створюватись студентом вручну, без ШІ.

3). Використання ШІ для експериментального поєднання двох протилежних стилів (наприклад, український модерн + кіберпанк), а потім проєктування на основі цього реального об'єкту, наприклад предмету меблів. Це ніяк не протирічить доброчесності і творчості: ШІ дає лише первинний візуальний образ. Студент же мусить розробити креслення, подумати про ергономіку, матеріали та функціональність, чого ШІ зробити не здатний.

4). Генерація об'єкта дизайну за допомогою ШІ с наступним знаходженням помилок в композиції, кольорознавства, перспективи тощо. В такому завданні оцінюватись може письмовий звіт або усна відповідь про помилки алгоритму. Для порівнювання студент може розробити власний дизайн і порівняти два об'єкта: створений машиною та людиною. Студент має критично оцінити та проаналізувати обидва проєкти, зробити висновки щодо якостей кожного, можливого чи неприпустимого використання машинного інтелекту в кожному випадку.

Отже, зміст завдань і, відповідно, вектор оцінювання, в такому разі, змінюється від запам'ятовування змісту до розуміння сутності, від обсягу роботи до відстоювання власної точки зору та концепції, а нові вимоги вимагають від викладачів переходити на інтерактивні та усні форми контролю. Власне, сценаріїв можна придумати багато. Головна їх мета – показати, де саме ШІ може бути помічником, а де головне та остаточне рішення повинна приймати людина.

В дизайні суднового середовища ШІ може виступати швидким візуалізатором ідей. Завдання можна побудувати на специфічних обмеженнях (ергономіку в умовах хитавиці, стандарти безпеки, малі простори, пожежостійкість). Студент генерує інтер'єр каюти, кают-компанії або ходового містка, наприклад у Midjourney/DALL-E, а потім проводить аналіз, наскільки згенероване приміщення відповідає нормативним вимогам: наявність поручнів, відсутність гострих кутів, габарити, типові меблі, ергономічні розміри. Результатом може бути створення виправленого плану, розрізів та 3D-моделі з урахуванням нормативних вимог. А критеріями оцінювання буде той факт наскільки студент обізнаний в специфіці проєктування суднових просторів.

Також для майбутніх дизайнерів будуть цікавими та корисними завдання зі складанням прогнозів стилів дизайну та напрямів мистецтва в майбутньому, порівняння їх з вже існуючими. Обов'язково має надаватись усний або письмовий звіт щодо реальності таких прогнозів.

Для формування критичного мислення, наукового підходу до вирішення поставленої задачі в епоху штучного інтелекту інтеграція останнього до навчального процесу є незворотною. Головне в цьому процесі навчати студентів правильно та відкрито декларувати роботу з ШІ, втілюючи європейський досвід.

Література

[1] Барбаш, Є. (2026). Використання ШІ в університетах Німеччини: етичний, науковий, інноваційний підходи. Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum , Том 3 № 6. https://doi.org/10.65237/2336-3630-2026-6(3)-1.

[2] Парфенюк, І. (2025). Особливості використання штучного інтелекту в мистецькому освітньому середовищі. Український інформаційний простір, (2 (16), 169–188. https://doi.org/10.31866/2616-7948.2(16).2025.345618.

APPROACHES TO CRITERIA FOR EVALUATING STUDENT DESIGNERS IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Danylchenko N.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, Mykolaiv.

Abstract. The advantages and disadvantages of the use of artificial intelligence by students are analyzed. The problems of interaction “teacher-student-artificial intelligence” and challenges for the formation of academic culture are considered. The introduction of new assessment criteria in the paradigm of the use of artificial intelligence by students in the study of humanities is proposed.

Keywords: artificial intelligence, assessment, form of control.

УДК 81’373:159.9

ВПЛИВ ЕМОЦІЙНО ОРІЄНТОВАНИХ ПІДХОДІВ НА УСПІШНІСТЬ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ

Кириченко С.В.,

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри мовної підготовки

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

svitlana.kyrychenko@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах проаналізовано вплив емоційно орієнтованих підходів на результативність опанування іноземної мови; розглянуто теоретичні засади емоційного навчання, включаючи роль емоційного інтелекту, рефлексивних практик, психологічного комфорту в процесі навчання. Запропоновано практичні методики, такі як щоденники рефлексії, рольові ігри, техніки зниження мовної тривожності, які сприяють підвищенню академічної успішності, розвиткові внутрішньої мотивації, формуванню позитивної мовної самоідентичності. Отримані результати дають підстави вважати, що включення емоційної складової в навчальний процес може підтримувати мотивацію студентів, їхню готовність до іншомовного спілкування та сприяти збереженню стійкого інтересу до вивчення іноземної мови.

Ключові слова: емоційно орієнтоване навчання, іноземна мова, мовна тривожність, мотивація, рефлексивні практики.

У традиційному викладанні іноземних мов домінує когнітивний підхід, зокрема акцент на лексиці, граматиці, читанні й письмі. Проте останнім часом дедалі більше досліджень звертаються до емоційної сфери студентів, оскільки вона суттєво впливає на увагу, пам’ять, здатність до узагальнень. Емоційно орієнтовані підходи, які враховують психоемоційний стан студентів, можуть знижувати тривожність, підвищувати самооцінку й формувати стійкий інтерес до мови [4, с. 157].

Мета дослідження – визначити, яким чином такі підходи впливають на академічну успішність студентів у курсі іноземної мови, та обґрунтувати доцільність їхнього застосування.

Емоційна складова безпосередньо пов’язана з рівнем володіння мовою. Українські дослідники наголошують, що розвиток емоційного інтелекту – необхідна умова ефективного вивчення іноземної мови, особливо в умовах дистанційного навчання [1, с. 119]. Крім того, психологічні чинники (рівень тривожності, мовна впевненість) істотно впливають на комунікативну компетентність студентів [3, с. 114]. Як показано в наших попередніх роботах, застосування рефлексивних практик, зокрема ведення щоденників емоцій та аналіз власних переживань під час мовної взаємодії, сприяє зниженню тривожності й підвищенню саморегуляції [2, с. 824].

Однією з проблем, з якою викладач стикається під час навчання іноземної мови, є мовна тривожність. Студент може знати необхідний матеріал, але під час усної відповіді хвилюватися, забувати потрібні слова або взагалі відмовлятися від участі в обговоренні. Емоційно орієнтовані техніки (дихальні вправи,

попереднє промовляння складних конструкцій у парах, моделювання ситуацій успіху) дають змогу знизити рівень стресу й активізувати механізми нейропластичності. Водночас залучення особистісно значущих тем, а саме професійних інтересів, хобі, культурних уподобань, перетворює навчання на емоційно насичений процес. Це, своєю чергою, підвищує внутрішню мотивацію, що, на думку Г. Овсянко та С. Кириченко, є важливішим чинником успішності, ніж зовнішнє стимулювання [4, с. 162]. Європейські й українські тенденції розвитку мовної освіти також передбачають урахування емоційної складової в навчальних програмах [5, с. 56].

Впровадження запропонованого підходу передбачає модульну організацію курсу з «емоційними паузами», ведення студентами щоденників настрою англійською мовою, аналіз аутентичних відео для розпізнавання невербальних сигналів емоцій, створення цифрових портфоліо з рефлексією власного прогресу. Застосування таких методів та прийомів у навчальному процесі показало позитивні зміни в роботі студентів. Вони охочіше долучалися до усних завдань, активніше брали участь в обговореннях, легше включалися в рольові ситуації та виявляли більшу готовність висловлювати власну думку іноземною мовою. Під час виконання творчих завдань студенти частіше використовували вивчену лексику у власних висловлюваннях, а під час спонтанного мовлення менше уникали складних для них мовних конструкцій. Отримані спостереження дають підстави вважати, що емоційно орієнтовані методики можуть сприяти підвищенню комунікативної активності студентів і створювати сприятливі умови для засвоєння іншомовного матеріалу [1, с. 120; 3, с. 115].

Таким чином, емоційно орієнтовані підходи позитивно впливають на успішність вивчення іноземної мови. Вони дають змогу знизити тривожність, підвищити внутрішню мотивацію, поліпшити когнітивне засвоєння матеріалу та сформувати стійку мовну впевненість [2, с. 825]. Практичне застосування рефлексивних технік, рольових ігор, емоційних щоденників, персоналізованих завдань створює безпечне освітнє середовище, у якому студент перестає боятися помилок і починає сприймати мову як інструмент справжньої комунікації. Рекомендуємо системно інтегрувати ці методики в робочі програми дисциплін і включати відповідні психолого-педагогічні тренінги до програм підвищення кваліфікації викладачів [5, с. 58].

Література

[1] Костюк О., Дідик Л. Необхідність розвитку емоційного інтелекту у навчанні іноземної мови студентів ЗВО в контексті дистанційної форми навчання. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Філологія». 2022. № 14 (82). С. 116–121. URL: https://journals.oa.edu.ua/Philology/article/view/3589

[2] Кириченко С.В. Іноземна мова як інструмент розвитку емоційної грамотності та культурної рефлексії. Матеріали XVI міжнар. наук.-техн. конф. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Миколаїв: НУК, 2025. С. 823–825. URL: https://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/12870

[3] Пілішек С., Рудоман О. Психологічні фактори, що впливають на розвиток мовної впевненості у студентів під час вивчення іноземної мови за професійним спрямуванням у ЗВО. Вісник Національного університету оборони України. 2024. Вип. 82 (6). С. 110–117. DOI: https://doi.org/10.33099/2617-6858-2024-82-6-110-117

[4] Овсянко Г., Кириченко С. Психологічні особливості вивчення іноземної мови фахового спрямування. Міжнародний науковий журнал «Університети і лідерство». 2021. Вип. 1 (11). С. 158–167. DOI: https://doi.org/10.31874/2520-6702-2021-11-1-158-167

[5] Maksymenko O. Foreign languages in school education: European and Ukrainian trends. Education: Modern Discourses. 2021. No. 4. P. 50–65. DOI: https://doi.org/10.37472/2617-3107-2021-4-06

THE IMPACT OF EMOTION-ORIENTED APPROACHES ON FOREIGN LANGUAGE LEARNING SUCCESS

Svitlana Kyrychenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The theses analyze the influence of emotionally oriented approaches on the effectiveness of foreign language learning; consider the theoretical foundations of emotional learning, including the role of emotional intelligence, reflective practices, and psychological comfort in the learning process. Also, practical methods (reflection diaries, role-playing games, techniques for reducing language anxiety) are proposed that contribute to increasing academic success, developing internal motivation, and forming a positive language self-identity. The approaches considered give reason to believe that the inclusion of an emotional component in the educational process can support students' motivation, their readiness for foreign language communication, and confidence in using a foreign language.

Keywords: emotionally oriented learning, foreign language, language anxiety, motivation, reflective practices.

УДК 378.016:811.111

ФОРМУВАННЯ ЛЕКСИКО-ГРАМАТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОГО ВНЗ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ

Кисельова Т.В.,
старший викладач кафедри мовної підготовки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
tetiana.kiseliova@nuos.edu.ua

Анотація. У статті розглянуто особливості формування лексико-граматичної компетентності студентів технічного закладу вищої освіти в процесі навчання іноземної мови. Обґрунтовано необхідність поєднання засвоєння лексичних одиниць і граматичних структур із розвитком комунікативних умінь та професійно орієнтованим змістом навчання. Запропоновано комплекс вправ, спрямованих на формування навичок практичного використання іншомовної лексики та граматичних конструкцій у професійних і навчальних ситуаціях.

Ключові слова: іноземна мова, технічний заклад вищої освіти, лексико-граматична компетентність, професійно орієнтоване навчання, іншомовна комунікативна компетентність, професійна лексика.

Сучасна підготовка фахівців технічного профілю передбачає не лише оволодіння професійними знаннями, а й здатність використовувати іноземну мову в навчальній, професійній та міжкультурній комунікації. Зростання міжнародної академічної та професійної мобільності, доступність іншомовних науково-технічних ресурсів і необхідність роботи з фаховою інформацією зумовлюють підвищення вимог до іншомовної підготовки студентів технічних спеціальностей. Сучасні дослідження наголошують на необхідності професійної спрямованості мовної підготовки та інтеграції мовного і фахового компонентів.

Одним із важливих компонентів іншомовної комунікативної компетентності є лексико-граматична компетентність, яка забезпечує правильне розуміння та використання мовних одиниць у процесі усного й писемного спілкування. Для студентів технічного профілю її формування має особливе значення, оскільки професійна комунікація передбачає використання спеціальної термінології, сталих словосполучень, типових граматичних конструкцій та моделей професійного мовлення.

На думку автора, ефективність формування лексико-граматичної компетентності значною мірою залежить від характеру навчального матеріалу та способу організації роботи з ним. Вивчення окремих слів і граматичних правил поза комунікативним контекстом не завжди забезпечує здатність студента використовувати їх у реальній ситуації спілкування. Тому доцільним є поєднання лексичної та граматичної роботи в межах однієї навчальної ситуації.

Особливо продуктивним є використання професійно орієнтованих текстів, діалогів, навчальних інструкцій, описів технічних процесів, схем, таблиць та інших матеріалів, пов'язаних із майбутньою спеціальністю студентів. Робота з такими матеріалами дозволяє одночасно розширювати словниковий запас, закріплювати граматичні структури та формувати вміння використовувати іноземну мову для розв'язання професійно значущих завдань. Використання автентичних і професійно орієнтованих матеріалів також розглядається сучасними дослідниками як засіб інтеграції мовних і технічних знань.

У практиці викладання іноземної мови студентам технічних спеціальностей доцільно використовувати систему вправ, яка передбачає поступовий перехід від рецептивних до продуктивних видів діяльності. На першому етапі студенти ознайомлюються з новою лексикою та граматичними моделями. Далі виконуються вправи на співвіднесення слова та його значення, заповнення пропусків, вибір правильної граматичної форми, утворення словосполучень і речень. Наступний етап передбачає використання вивченого матеріалу в діалогах, рольових ситуаціях, описах професійних об'єктів і процесів.

Таким чином, формування лексико-граматичної компетентності студентів технічного вишу має здійснюватися не як механічне засвоєння окремих мовних одиниць, а як цілісний процес, спрямований на їх практичне використання в навчальних і професійних ситуаціях. Поєднання лексичної та граматичної роботи з професійно орієнтованим контентом, комунікативними завданнями та міжпредметними зв'язками створює умови для розвитку іншомовної комунікативної компетентності майбутніх фахівців.

Формування лексико-граматичної компетентності є важливою складовою іншомовної підготовки студентів технічних спеціальностей. Ефективність цього процесу забезпечується системним поєднанням лексичного і граматичного матеріалу, його комунікативним та професійним спрямуванням, використанням автентичних матеріалів і практичних завдань. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення та апробація комплексів лексико-граматичних вправ для студентів різних технічних спеціальностей.

Література

[1] Головко І. О. Використання професійно-орієнтованих автентичних матеріалів у навчанні іноземній мові студентів технічних спеціальностей. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2025. № 219. С. 312–316.

[2] Головко І. О., Гавриленко О. М. Професіоналізація навчання іноземній мові студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти в контексті компетентнісного підходу. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2021. № 197. С. 81–86.

[3] Чередніченко Г. А. Сучасні тенденції професійно-орієнтованого навчання іноземній мові студентів технологічних спеціальностей. 2018.

[4] Корнєва З. М. Сучасний стан навчання англійської мови технічного спрямування в закладах вищої освіти. Іноземні мови. 2019. № 2.

FORMATION OF STUDENTS' LEXICAL AND GRAMMATICAL COMPETENCE IN A TECHNICAL HIGHER EDUCATION INSTITUTION IN THE PROCESS OF FOREIGN LANGUAGE LEARNING

Kyselova Tetiana Volodymyrivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper examines the formation of lexical and grammatical competence of students of technical higher education institutions in the process of learning a foreign language. Particular attention is paid to the integration of vocabulary and grammar with communicative tasks and professionally oriented content. The use of professional texts, dialogues, technical descriptions and practical communicative activities is considered an effective means of developing students' foreign language competence.

Keywords: foreign language, technical higher education institution, lexical and grammatical competence, professionally oriented language teaching, foreign language communicative competence, professional vocabulary.

УДК 811:004.8:378

ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ СТУДЕНТІВ НЕМОВНИХ ЗВО ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Міняйлова А.В.,

кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри мовної підготовки

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

alevtina.minyaylova@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто можливості використання штучного інтелекту для персоналізації навчання іноземної мови студентів немовних закладів вищої освіти з урахуванням їхнього рівня мовної підготовки, темпу навчання, індивідуальних освітніх потреб і професійних цілей. Визначено основні напрями персоналізації на основі ШІ, зокрема адаптацію змісту та складності навчальних завдань, формування індивідуальних освітніх траєкторій, персоналізований зворотний зв'язок, аналіз мовних помилок і раннє виявлення навчальних труднощів. Обґрунтовано важливість використання адаптивних освітніх систем, чат-ботів та віртуальних асистентів для розширення можливостей іншомовної практики та самостійної роботи студентів. Наголошено, що ефективна персоналізація потребує поєднання технологічних можливостей штучного інтелекту з професійним педагогічним контролем і методичною компетентністю викладача.

Ключові слова: персоналізація навчання, штучний інтелект, адаптивне навчання, іноземна мова, немовні ЗВО, індивідуальна освітня траєкторія, адаптивні освітні платформи, цифрові технології.

Сучасний розвиток цифрових технологій зумовлює трансформацію підходів до організації освітнього процесу у закладах вищої освіти. Одним із перспективних напрямів цієї трансформації є використання штучного інтелекту для персоналізації навчання. Особливого значення цей напрям набуває у процесі викладання іноземної мови студентам немовних закладів вищої освіти, оскільки такі здобувачі освіти мають різний рівень мовної підготовки, темп засвоєння навчального матеріалу, мотивацію та професійні потреби.

Ми ставили за **мету** обґрунтування можливостей застосування штучного інтелекту для персоналізації навчання іноземної мови студентів немовних ЗВО та визначення основних педагогічних умов його ефективної інтеграції в освітній процес.

Традиційна організація іншомовної підготовки передбачає використання однакових навчальних матеріалів, завдань і темпу роботи для всієї академічної групи. Такий підхід не завжди дає змогу врахувати індивідуальні освітні потреби студентів. Студенти з вищим рівнем мовної компетентності можуть потребувати складніших завдань і більшої самостійності, тоді як здобувачам освіти з недостатньою підготовкою необхідні додаткові пояснення, повторення та поступове ускладнення матеріалу. У цьому контексті персоналізація на основі ШІ створює можливості для переходу від уніфікованої моделі навчання до індивідуалізованих освітніх траєкторій.

У сучасних наукових дослідженнях персоналізація навчання через використання адаптивних освітніх систем розглядається як один із ключових напрямів застосування ШІ в мовній освіті. Адаптивні освітні системи можуть враховувати початковий рівень мовної підготовки студента, результати виконання завдань, характер допущених помилок і динаміку навчальних досягнень. На основі аналізу цих даних система може рекомендувати подальші навчальні дії, змінювати рівень складності завдань, пропонувати додатковий матеріал або повертати студента до тем, які були засвоєні недостатньо [1; 2].

Персоналізація навчання передбачає не лише індивідуальний вибір навчального контенту, а й динамічну адаптацію освітньої траєкторії. Вона може охоплювати автоматичний добір вправ, регулювання складності навчального матеріалу, повторення лексичних і граматичних структур, формування рекомендацій щодо подальшого навчання та надання персоналізованого зворотного зв’язку. Важливою перевагою такого підходу є можливість своєчасного виявлення навчальних труднощів. Аналіз цифрового сліду студента, результатів тестування та активності в системі управління навчанням може сприяти виявленню ознак недостатнього засвоєння матеріалу та створювати передумови для педагогічного втручання [3].

Персоналізація може реалізовуватися також через мультимодальне цифрове середовище. Поєднання текстових, аудіо- та візуальних матеріалів, інтерактивних завдань і цифрових симуляцій розширює можливості іншомовної практики [4]. Для студентів немовних ЗВО це особливо важливо, оскільки кількість аудиторних годин, відведених на іноземну мову, часто є обмеженою. Цифрове середовище дає змогу продовжувати навчання за межами аудиторії, а адаптивні механізми – узгоджувати завдання з індивідуальним рівнем та темпом роботи студента.

Окрему роль у персоналізації можуть відігравати чат-боти та віртуальні асистенти на основі ШІ. Вони забезпечують можливість додаткової мовної практики, відповіді на запитання та отримання інтерактивного зворотного зв’язку поза межами традиційного заняття [5]. У такому разі студент отримує більше можливостей для самостійної роботи та може обирати час і темп виконання навчальних завдань.

Водночас персоналізація не повинна ототожнюватися з повною автоматизацією навчання. Штучний інтелект доцільно розглядати передусім як інструмент підтримки педагогічних рішень. Викладач визначає навчальні цілі, добирає зміст, контролює відповідність рекомендацій освітній програмі та враховує особливості конкретної групи. Саме поєднання алгоритмічних можливостей ШІ та професійної компетентності викладача створює умови для педагогічно обґрунтованої персоналізації [6].

Отже, застосування штучного інтелекту створює значні можливості для персоналізації навчання іноземної мови студентів немовних ЗВО. Основними напрямами такої персоналізації є адаптація складності та змісту навчальних завдань, формування індивідуальних освітніх траєкторій, автоматизований аналіз мовних помилок, персоналізований зворотний зв’язок, раннє виявлення навчальних труднощів, а також узгодження іншомовної підготовки з професійними потребами студентів.

Водночас ефективна персоналізація потребує системного поєднання технологічних і педагогічних компонентів. ШІ не повинен замінювати викладача, а має розглядатися як засіб розширення його можливостей щодо моніторингу навчального прогресу, диференціації завдань і підтримки індивідуальної роботи студентів. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення методичних моделей інтеграції адаптивних платформ у навчання іноземної мови, визначення критеріїв педагогічної доцільності персоналізації та встановлення оптимального співвідношення між автоматизованими рекомендаціями ШІ та професійним педагогічним контролем.

Література

[1] Z. Zhou and W. Li, “Personalized college English learning based on artificial intelligence: Algorithm-driven adaptive learning method”, *International Journal of High Speed Electronics and Systems,* 2024, art. no. 2540102.

[2] A. P. Kumar, G. Fatma, S. Sarwar and K. S. Punithaasree, “Adaptive Learning Systems for English Language Education based on AI-Driven System”, In *2025 International Conference on Intelligent Systems and Computational Networks (ICISCN)* (pp. 1-5). IEEE, 2025.

[3] X. Fu, K. Lokesh Krishna and R. Sabitha, “Artificial intelligence applications with elearning system for China’s higher education platform”, *Journal of Interconnection Networks,* Vol. 22, No. (Supp02), 2022, art. no. 2143016.

[4] L. Liao, “Artificial intelligence-based English vocabulary test research using log analysis with virtual reality assistance”, *Computer-Aided Design and Applications*, Vol. 20, No. S9, 2023, P. 23–39.

[5] S. P. J. Chiriboga, A. L. T. Burgos, M. M. R. Avila, J. L. C. Chida, K. J. A. Macias, Y. E. C. Morante and A. P. B. Párraga, “Artificial Intelligence and Personalized Learning in Foreign Languages: An Analysis of Chatbots and Virtual Assistants in Education”, *Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*, Vol. 6, No. 1, 2025,
P. 882–905.

[6] Er-A. Rafyg, H. Zankadi and A. Idrissi, “AI in adaptive learning: Challenges and opportunities”, *Modern artificial intelligence and data science 2024: Tools, techniques and systems*, Vol. 1116, 2024, P. 329–342.

PERSONALIZATION OF FOREIGN LANGUAGE LEARNING BY STUDENTS OF NON-LINGUISTIC HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Miniailova Alevtyna
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper examines the potential of artificial intelligence (AI) for personalizing foreign language learning by students of non-linguistic higher education institutions, taking into account their language proficiency levels, learning pace, individual educational needs, and professional goals. The main areas of AI-based personalization are identified, including the adaptation of the content and difficulty of learning tasks, the development of individualized learning pathways, personalized feedback, analysis of language errors, and the early identification of learning difficulties. The importance of using adaptive educational systems, chatbots, and virtual assistants to expand opportunities for foreign language practice and students’ independent learning is substantiated. It is emphasized that effective personalization requires a combination of the technological capabilities of artificial intelligence with professional pedagogical supervision and teachers’ methodological competence.

Keywords: personalization of learning, artificial intelligence, adaptive learning, foreign language, non-linguistic higher education institutions, individualized learning pathway, adaptive educational platforms, digital technologies.

УДК 341

ЩОДО ПИТАННЯ ЗАХИСТУ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА В МІЖНАРОДНОМУ ГУМАНІТАРНОМУ ПРАВІ

Недохлєбов І.І.,
кандидат юридичних наук
викладач кафедри теорії та історії держави і права
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ivan.nedokhliebov@nuos.edu.ua

Анотація. У статті досліджуються питання захисту цивільного населення від наслідків застосування безпілотних літальних апаратів у сучасних збройних конфліктах. Проаналізовано застосування принципів розрізнення, пропорційності та вжиття запобіжних заходів міжнародного гуманітарного права до атак із використанням БПЛА, зокрема FPV-дронів. Окрему увагу приділено проблемам використання систем розпізнавання цілей та автономних систем озброєння, а також необхідності збереження людського контролю за рішеннями про застосування сили.

Ключові слова: міжнародне гуманітарне право, цивільне населення, безпілотні літальні апарати, БПЛА, FPV-дрони, військові цілі, принцип розрізнення, принцип пропорційності, запобіжні заходи, автономні системи озброєння, людський контроль, правова експертиза зброї.

Виклад основного матеріалу. Безпілотні літальні апарати за кілька років перетворилися з допоміжної військової технології на один із ключових засобів сучасних бойових дій. Особливо помітно це в Україні, де FPV та інші короткодистанційні дрони масово застосовуються у районах, де поряд із військовими залишаються цивільні. У липні 2026 року короткодистанційні БПЛА спричинили загибель 111 та поранення 710 цивільних в Україні [4] – це найвищий місячний показник від початку повномасштабного вторгнення.

Метою є визначення того, наскільки чинні норми міжнародного гуманітарного права здатні захистити цивільне населення в умовах масового застосування БПЛА та які правові проблеми загострюються через поширення FPV-дронів, систем розпізнавання цілей і елементів автономності.

Міжнародне гуманітарне право не забороняє використання БПЛА як такого. Правова оцінка залежить не від самого факту використання дрона, а від того, кого атакують, за яких обставин і яким способом. На такі удари поширюються базові принципи МГП: розрізнення, пропорційність та вжиття запобіжних заходів.

Статті 48, 51 і 52 Додаткового протоколу I до Женевських конвенцій закріплюють одну з базових вимог МГП – розрізняти цивільних осіб і комбатантів, а також цивільні об'єкти і військові цілі та спрямовувати атаки лише проти останніх [3]. Водночас технологічна точність дрона сама по собі не означає юридичної точності удару: оператор може добре бачити людину або автомобіль, але ключовим залишається питання, чи є перед ним законна військова ціль.

Саме тут виникає одна з основних проблем застосування БПЛА. Місцезнаходження особи, тип автомобіля, мобільний сигнал або певна модель поведінки можуть допомагати в аналізі, але не повинні замінювати належну перевірку цілі. З поширенням алгоритмів розпізнавання та систем штучного інтелекту дедалі гострішим стає питання, хто фактично приймає рішення про застосування сили та на підставі якої інформації.

Не менш важливими залишаються пропорційність і запобіжні заходи. Навіть якщо ціль є військовою, удар не може здійснюватися, коли очікувана випадкова шкода цивільним буде надмірною порівняно з конкретною і безпосередньою військовою перевагою. Стаття 57 Додаткового протоколу I [3] вимагає вживати всіх практично можливих запобіжних заходів: перевіряти, чи є об'єкт нападу воєнним, обирати засоби і методи атаки так, щоб уникнути або принаймні мінімізувати шкоду цивільним, а також скасувати чи зупинити атаку, якщо стає очевидним, що ціль не є воєнним об'єктом або очікувана шкода цивільним буде надмірною порівняно з конкретною і прямою воєнною перевагою.

Для FPV-дронів це має цілком практичне значення. Ситуація перед камерою змінюється за секунди: біля об'єкта можуть з'явитися цивільні, транспорт може змінити напрямок, відеосигнал – погіршитися або зникнути. Тому можливість оператора спостерігати за ціллю майже до моменту ураження створює не лише технологічну перевагу, а й додаткові можливості для виконання вимог МГП. Якщо стає очевидним, що ціль не підтверджена або ризик для цивільних істотно зріс, удар має бути припинений.

Український досвід особливо чітко демонструє масштаб цієї проблеми. За даними Моніторингової місії ООН з прав людини в Україні, у 2024 році внаслідок атак короткодистанційних дронів загинули 226 цивільних і 1528 були поранені [1]. У 2025 році кількість жертв різко зросла: 580 загиблих і 3295 поранених [1]. У липні 2026 року лише за один місяць було зафіксовано 111 загиблих та 710 поранених цивільних, а короткодистанційні дрони спричинили 27 % усіх цивільних жертв цього місяця [4].

За цими цифрами стоять не абстрактні «супутні втрати». Моніторингова місія ООН з прав людини в Україні документувала атаки на людей у приватних автомобілях і автобусах, пішоходів, осіб під час евакуації та надання гуманітарної допомоги, а також на позначені автомобілі швидкої допомоги. Якщо оператор усвідомлював цивільний статус особи та свідомо спрямував атаку проти неї, йдеться вже не про випадкову шкоду, а про порушення принципу розрізнення, що за наявності відповідних елементів складу злочину може спричинити індивідуальну кримінальну відповідальність.

Водночас статистика цивільних втрат сама по собі не робить кожний окремий удар незаконним. Пропорційність оцінюється до атаки, а не постфактум: з урахуванням інформації, доступної оператору або командиру, очікуваної військової переваги та можливих запобіжних заходів. Тому для правової оцінки ударів особливе значення мають відеозаписи з БПЛА, телеметрія, координати та журнали команд.

Окрему перешкоду створює поступовий перехід від дистанційно керованих до автономніших систем. Безпілотність і автономність не є тотожними поняттями: звичайний FPV-дрон контролюється оператором, тоді як автономна система після активації може самостійно визначати та уражати цілі. У такому разі виникає значно складніше питання: чи здатна система передбачувано застосовуватися відповідно до вимог розрізнення та пропорційності і чи зберігається достатній людський контроль над рішенням про застосування сили. Саме тому 25 серпня 2026 року Генеральний секретар ООН і Президент Міжнародного Комітету Червоного Хреста знову закликали держави розпочати переговори щодо юридично обов'язкового міжнародного документа, який встановив би заборони та обмеження щодо автономних систем озброєння [2].

Поява нових технологій водночас не означає, що міжнародному гуманітарному праву щоразу потрібен абсолютно новий набір правил. Уже сьогодні стаття 36 Додаткового протоколу I вимагає проводити правову експертизу нової зброї, засобів і методів ведення війни [3]. У випадку сучасних БПЛА така перевірка має охоплювати не лише сам апарат і бойову частину, але й програмне забезпечення, алгоритми розпізнавання, режими автономності та їх оновлення. Інакше правова експертиза технологічно складної системи ризикує залишитися формальністю.

Захист цивільного населення не закінчується в момент удару. Боєприпаси, що не спрацювали, уламки бойових частин та інші вибухонебезпечні залишки продовжують створювати небезпеку. Водночас БПЛА залишають значний цифровий слід: відео, телеметрія та журнали команд можуть стати важливими доказами можливих порушень за умови належного збереження разом із метаданими.

Отже, проблема полягає не у відсутності правил для БПЛА. Норми міжнародного гуманітарного права вже дають основу для оцінки таких атак, однак складніше забезпечити їх виконання в умовах масового застосування дронів, швидкого прийняття рішень та поступової передачі частини процесу ідентифікації й вибору цілі алгоритмам.

Подальший захист цивільного населення має спиратися не на створення окремого «права дронів», а на ефективне застосування чинних норм: правову експертизу нових систем за статтею 36 Додаткового протоколу I, збереження людського контролю над критичними рішеннями, документування перевірки цілі та збереження цифрових даних про удар. Технології швидко змінюють спосіб ведення війни, але не базовий принцип МГП: цивільна особа не перестає бути захищеною лише тому, що рішення про атаку приймається через екран або за участю алгоритму.

Література

[1] In Ukraine, Short-Range Drones Were the Deadliest Weapon for Civilians in March, UN Human Rights Monitors Say / UN Human Rights Monitoring Mission in Ukraine. 2026. URL: https://ukraine.ohchr.org/en/In-Ukraine-Short-Range-Drones-Were-the-Deadliest-Weapon-for-Civilians-in-March-UN-Human-Rights-Monitors-Say (дата звернення: 10.09.2026).

[2] Renewed Call from the United Nations Secretary-General and the President of the International Committee of the Red Cross to Adopt Rules on Autonomous Weapon Systems / United Nations Office at Geneva. 2026. URL: https://www.ungeneva.org/en/news-media/press-release/2026/08/renewed-call-united-nations-secretary-general-and-president (дата звернення: 10.09.2026).

[3] Додатковий протокол до Женевських конвенцій від 12 серпня 1949 року, що стосується захисту жертв міжнародних збройних конфліктів (Протокол I) від 08.06.1977. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_199#o313 (дата звернення: 10.09.2026).

[4] Захист цивільних осіб під час збройного конфлікту – липень 2026 року / Моніторингова місія ООН з прав людини в Україні. 2026. URL: https://ukraine.ohchr.org/uk/Protection-of-Civilians-in-Armed-Conflict-July-2026 (дата звернення: 10.09.2026).

ON THE PROTECTION OF THE CIVILIAN POPULATION FROM THE CONSEQUENCES OF THE USE OF UAVS UNDER INTERNATIONAL HUMANITARIAN LAW

Nedokhliebov I.I.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article examines the protection of the civilian population from the consequences of the use of unmanned aerial vehicles in modern armed conflicts. It analyzes the application of the principles of distinction, proportionality, and precautions under international humanitarian law to attacks involving UAVs, particularly FPV drones. Particular attention is paid to the challenges associated with the use of target recognition systems and autonomous weapon systems, as well as the need to maintain human control over decisions on the use of force.

Keywords: international humanitarian law, civilian population, unmanned aerial vehicles, UAVs, FPV drones, military objectives, principle of distinction, principle of proportionality, precautions, autonomous weapon systems, human control, legal review of weapons.

УДК 304.2

КАЛІБРУВАЛЬНИЙ ПОВОРОТ ТА ПАРАДИГМА АВТОМАТИЗОВАНОГО НАУКОВЦЯ У СУЧАСНІЙ ФІЛОСОФІЇ НАУКИ

Патлайчук О.В.,
кандидат філософських наук,
доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
oksana.patlaichuk@nuos.edu.ua

Анотація. Стаття присвячена глибокому аналізу трансформацій у сучасній філософії науки, що спричинені переходом від інструментального використання штучного інтелекту до парадигми автоматизованого науковця. У фокусі дослідження перебуває «калібрувальний поворот» – новітня епістемологічна рамка, яка пропонує методологію оцінки доказово-ліцензованих тверджень та управління епістемічним боргом штучних агентів. Окрім того, детально розглядається Філософія автономної науки

(PAS), критерії неантропоцентричного наукового розуміння та невіддільність соціально-інтерсуб'єктивної природи від процесу верифікації наукового знання.

Ключові слова: філософія науки, штучний інтелект, парадигма автоматизованого науковця, калібрувальний поворот, епістемічний борг, неантропоцентричне розуміння.

1. Вступ: епістемологічні виклики нової ери автоматизації

Історично прогрес науки визначався еволюцією інструментів, які людство створювало для розширення свого сенсорного сприйняття та можливостей обробки інформації. Від телескопів Галілея до сучасних колайдерів – інструменти слугували посередниками між розумом дослідника та об'єктивною реальністю. Проте сьогодні ми спостерігаємо якісний стрибок: алгоритми штучного інтелекту (ШІ) перетворюються з пасивних обчислювальних механізмів на активних учасників пізнавального процесу, здатних генерувати гіпотези, планувати експерименти та виводити закономірності. Ця епістемологічна революція вимагає від сучасної філософії науки перегляду фундаментальних понять: що таке відкриття, як формується наукове розуміння і кому належить право проголошувати нове знання.

Здатність сучасних систем ШІ, таких як AlphaFold чи GNoME, розв'язувати задачі фолдингу білків або прогнозувати стабільність нових кристалічних матеріалів із безпрецедентною швидкістю, порушує глибоке концептуальне питання. Коли машина перебирає на себе гіпотетико-дедуктивний цикл – етап, що історично вважався ексклюзивно людським – класичні критерії валідності наукового методу потребують адаптації. Відповіддю на ці виклики стає формування парадигми автоматизованого науковця та пов'язаних із нею концептуальних зсувів, зокрема Філософії автономної науки (PAS) та концепції «калібрувального повороту».

2. Еволюція штучного інтелекту: від евристичних систем до автономних дослідників

Ідея автоматизації наукових відкриттів (automated scientific discovery) не є абсолютно новою. Її коріння сягають так званого другого «літа ШІ» (1978–1987 роки), коли були розроблені перші експертні системи, такі як Autoclass, Automated Mathematician (AM), Eurisko та Glauber. Ці ранні системи використовували методи евристичного пошуку та символьної регресії для вилучення математичних закономірностей чи хімічних властивостей з масивів даних. Проте їхня агентність була жорстко обмежена заданими правилами.

Фундаментальний злам відбувся у 2009 році, коли дослідницька група під керівництвом Росса Кінга повідомила про створення робота-науковця "Adam" (Robot Scientist Adam)[7]. Ця система стала першою машиною, яка здійснила самостійне наукове відкриття: вона висунула гіпотези щодо геноміки хлібних дріжджів (*Saccharomyces cerevisiae*), розробила план лабораторних експериментів для перевірки цих гіпотез, фізично виконала їх за допомогою інтегрованої лабораторної робототехніки, інтерпретувала результати та оновила свою базу знань. Успіх "Adam" довів, що автоматизація абдукції (переходу від спостережень до пояснень) та індукції є технічно можливою і здатна продукувати нове, достовірне біологічне знання[7].

Сьогодні еволюція систем ШІ вийшла на рівень автономних пайплайнів, мультиагентних систем-співдослідників (co-scientists) та агентів математичних відкриттів на кшталт AlphaProof. Моделі великих мовних систем інтегруються з формальними пруверами (наприклад, Lean), утворюючи закриті цикли дослідження, де природномовне міркування поєднується з механічною верифікацією без втручання людини. Цей зсув від ізольованого виконання завдань до систем, що самостійно визначають напрямок пошуку, актуалізує потребу в новій філософській рамці.

3. Філософія автономної науки (PAS): проблема розуміння та неантропоцентричні цілі

Усвідомлення того, що ШІ стає повноцінним учасником наукового процесу, призвело до зародження Філософії автономної науки (Philosophy of Autonomous Science, PAS) – дослідницької програми, ініційованої Маріо Кренном, Хізер Чемпіон та їхніми колегами. Фундаментальна мета PAS полягає у трансляції ключових епістемічних драйверів людського пізнання, таких як наукове розуміння, цікавість, здивування та креативність, в обчислювані, неантропоцентричні цільові функції для машин.

Найскладнішим питанням у межах PAS є концептуалізація «наукового розуміння» (scientific understanding). Сучасна епістемологія розрізняє здатність до ідеального прогнозування та глибинне розуміння. Як зазначають дослідники, якби ми мали оракул, здатний безпомилково передбачати результати всіх хімічних реакцій або функцій білків (як це частково робить AlphaFold), вчені все одно не були б повністю задоволені; вони прагнули б зрозуміти механізми, які лежать в основі цих передбачень.

Спираючись на контекстуальну та прагматичну теорію розуміння Хенка де Регта (Henk W. de Regt) та Денніса Дікса (Dennis Dieks), PAS визначає, що явище можна вважати зрозумілим, якщо існує інтелігібельна теорія, яка дозволяє якісно розпізнавати її характерні наслідки без виконання точних математичних розрахунків. Оскільки цей критерій не залежить від психологічного стану і базується на прагматичному спостереженні, він потенційно може бути застосований до штучного інтелекту. Завдання

полягає в тому, щоб знайти спосіб масштабованого обчислення цього критерію для алгоритмів, стимулюючи їх формувати абстракції високого рівня, а не просто максимізувати точність класифікації.

Окрім розуміння, автономний науковець має керуватися внутрішньою мотивацією до дослідження – цікавістю (curiosity) та реакцією на здивування (surprise). У програмуванні агентів ці емоційні концепти формалізуються через механізми внутрішньої винагороди (intrinsic rewards), коли алгоритм отримує позитивний сигнал за виявлення нестандартних або статистично несподіваних просторів даних (наприклад, у просторах хімічних молекул).

4. Калібрувальний поворот: управління правами на наукові твердження

Разом із розвитком агентності ШІ виникає критична проблема епістемічної легітимності згенерованих ним тверджень. Вирішення цієї проблеми лежить у площині так званого «калібрувального повороту» (Calibration Turn), концептуалізованого Хунміном Лі (Hongmin Li). Згідно з цією методологічною рамкою, головне питання ШІ-науки сьогодні полягає не в тому, чи може система написати статтю чи провести експеримент, а в тому, чи відкалібровані її остаточні наукові твердження до рівня доказів, які їх підтримують.

Калібрування тут не зводиться до обережного використання термінології чи ймовірнісних фраз. Це суворий механізм управління «правами на наукові твердження» (scientific assertion rights). Наявність певних доказів ліцензує (дозволяє) одні форми висловлювань і відхиляє інші. У цій системі координат якісний цикл ШІ-дослідження (AI science loop) складається з п’яти фундаментальних операторів:

Назва оператора	Функціональне призначення у циклі автоматизованого дослідження
Генерація гіпотез (Hypothesis generation, G)	Відбір кандидатних гіпотез на базі наявних знань (K), накопичених даних (D_t) та дослідницького запиту (q).
Виведення наслідків (Consequence derivation, MD)	Перетворення загальної гіпотези на предметно-орієнтовані, тестовані наслідки або передбачення (наприклад, ретродиктивні сліди, діагностичні ознаки).
Зовнішня валідація (External validation, V)	Оцінка наслідків через фізичний експеримент, комп’ютерну симуляцію, бенчмаркінг, статистичний тест або автоматизоване доведення.
Оновлення переконань (Belief update, U)	Інтеграція нових результатів валідації у загальне тіло доказів (E) та оновлення стану системи знань.
Калібрування тверджень (Claim calibration, Cal_D)	Мапування сирого (неперевіреного) твердження, наявних доказів та контексту предметної області (D) для формування максимально допустимого доказово-ліцензованого твердження[12].

Цей формалізм перетворює оцінку роботи штучного інтелекту з бінарної логіки («правильно / неправильно») на імовірнісне ліцензування тверджень (probabilistic claim licensing), де невід’ємною умовою легітимності виступає чітке документування профілю невизначеності.

5. Розрив між доказами та твердженнями: епістемічний борг ШІ

Впровадження калібрувального повороту дозволяє діагностувати специфічні патології автоматизованої науки. Центральними концептами тут виступають «розрив між твердженням і доказами» (claim-evidence gap) та «епістемічний борг» (epistemic debt).

Розрив між твердженням і доказами обчислюється як невідповідність між рівнем епістемічної впевненості, якого вимагає сформульоване твердження, та фактичним рівнем підтримки, який забезпечують наявні дані валідації. Якщо система заявляє про причинно-наслідковий зв’язок, спираючись лише на кореляційну статистику, вона генерує позитивний розрив. Цей позитивний розрив і формує епістемічний борг.

Щоб керувати цим боргом, ШІ-агент або його наглядач повинні діяти за чіткими калібрувальними принципами:

1. *Немає твердження без ліцензії* (No claim without license).
2. *Факт валідації не визначає рівень твердження* (Validation does not determine claim level) – успішне проходження тесту ще не означає абсолютного доведення універсального закону.
3. Автоматизація експоненціально посилює потребу в калібруванні.

Якщо система фіксує неможливість погасити епістемічний борг через збір додаткових емпіричних доказів, оператор Cal_D автоматично здійснює спадне калібрування (спрощення) гіпотези, звужуючи її межі або змінюючи її модальний статус. Таким чином, ШІ виступає не як беззаперечний авторитет, а як відповідальний епістемічний агент, висловлювання якого строго обмежені доказовим субстратом.

6. Соціальна епістемологія та інтерсуб’єктивні межі гібридної науки

Незважаючи на формальну елегантність механізмів калібрування та автономності, сучасна філософія науки стверджує, що існують фундаментальні онтологічні обмеження для повної автоматизації наукового

процесу. Наука ніколи не функціонувала як суто механічне накопичення фактів; це глибоко соціальне підприємство, укорінене в людському житті, цінностях та інтерсуб'єктивній взаємодії.

Як зазначають дослідники, великі мовні моделі та системи ШІ не навчаються безпосередньо від фізичного світу. Вони вивчають лише ті «світи», які для них сконструювали люди у вигляді відфільтрованих наборів даних. Визначні досягнення того ж AlphaFold були б неможливими без колосальної бази теоретичних і методологічних знань, зібраних поколіннями біологів і кристалографів. Якщо модель втрачає емпіричний зв'язок з уже встановленим людством знанням, вона починає генерувати нереалістичні або фізично неможливі результати.

Крім того, наукова істина вимагає інтерсуб'єктивного консенсусу. Символьне представлення законів фізики (як-от ньютонівська механіка) стало універсальним культурним знанням саме тому, що ці абстракції інтерпретуються в межах когнітивних можливостей людського розуму. Теорії обмежені інформаційно-процесорною ємністю мозку і специфікою мови. Штучний інтелект також стикається зі своїми обмеженнями у репрезентації. Продукування машиною неймовірно складної багатовимірної моделі, яку жодна людина не здатна осягнути (black box model), не сприяє примноженню знання у класичному розумінні, адже воно позбавлене елемента прозорої пояснюваності.

Нарешті, застосування класичних умов епістемічної довіри (надійності, розуміння та відповідальності) показує, що сучасний ШІ не може бути повноцінним суб'єктом відповідальності. Машина не несе етичної чи інституційної відповідальності за фальсифікацію даних або хибне відкриття. Тому ідея абсолютно автономного «штучного науковця», що повністю замінить людські інституції, ризикує перетворити науку на карикатуру. Розробка «персистентного ідентифікатора» для ШІ-науковців (подібного до ORCID) є кроком до інфраструктурного розв'язання проблеми атрибуції, але вона не вирішує проблему моральної та соціальної легітимності знання.

7. Висновки

Сьогоднішня філософія науки переживає парадигмальний зсув. Формування парадигми автоматизованого науковця вимагає відмови від традиційного погляду на комп'ютер як на простий калькулятор. Натомість ми стикаємось із необхідністю розробки концептуальних рамок, які б дозволили керувати цією новою формою когнітивної агентності.

«Калібрувальний поворот» виступає критично важливим епістемологічним запобіжником. Інтегруючи оператор калібрування тверджень, він змушує штучні системи порівнювати рівень своєї впевненості з фактичним доказовим покриттям, що дозволяє уникнути неконтрольованого накопичення епістемічного боргу. Паралельно з цим, Філософія автономної науки (PAS) забезпечує концептуальний базис для програмування таких глибинних характеристик, як наукове розуміння та цікавість, орієнтуючи розвиток ШІ на фундаментальні, а не лише прикладні відкриття.

Проте, найважливішим висновком залишається те, що наука не може бути зведена до набору алгоритмічних інструкцій. Її природа залишається глибоко соціальною, а верифікація та прийняття нового знання базується на людському консенсусі та спільних цінностях. Найбільший потенціал ШІ у науці полягає не в заміні дослідника, а у створенні ефективного гібридного інтелекту, де машина розширює горизонти можливого, а людина зберігає за собою функцію епістемічного контролю, моральної відповідальності та кінцевого смислоутворення.

Література

[1] Li H. The Calibration Turn in AI-Assisted Research: A Conceptual and Methodological Framework for Evidence-Licensed Claims. – arXiv preprint arXiv:2606.31273, 2026. – 4 с.

[2] Krenn M., Champion H. Philosophy of Autonomous Science: Ten Questions for the Coming Age of Artificial Scientists. – Daedalus, 2026. – Vol. 155, No. 1-2. – С. 335–349.

[3] King R. D., Rowland J., Oliver S. G. та ін. The Automation of Science. – Science, 2009. – Vol. 324, No. 5923. – С. 85–89.

[4] Sullivan E. Why AI can't automate science, according to a philosopher. – The Conversation / Fast Company, 2026.

[5] Manyika J. M. Introductory Notes: On AI, Science & the Future of Discovery. – Daedalus, 2026. – Vol. 155, No. 1-2. – С. 7–21.

[6] de Regt H. W., Dieks D. A Contextual Approach to Scientific Understanding. – Synthese, 2005. – Vol. 144. – С. 137–170.

THE CALIBRATION TURN AND THE AUTOMATED SCIENTIST PARADIGM IN CONTEMPORARY PHILOSOPHY OF SCIENCE

Patlaichuk O. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. The article provides an in-depth analysis of the transformations in the contemporary philosophy of science driven by the shift from instrumental artificial intelligence to the automated scientist paradigm. The

study focuses on the “calibration turn," a novel epistemological framework that offers a methodology for evaluating evidence-licensed claims and managing the epistemic debt of artificial agents. Furthermore, it meticulously examines the Philosophy of Autonomous Science (PAS), the criteria for nonanthropocentric scientific understanding, and the inseparable social and intersubjective nature of scientific knowledge verification.

Keywords: philosophy of science, artificial intelligence, automated scientist paradigm, calibration turn, epistemic debt, nonanthropocentric understanding.

УДК 304.2

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ У УКРАЇНСЬКІЙ ФІЛОСОФІЇ НАУКИ У ПЕРІОД 2022–2026 РР.

Патлайчук О.В.,
кандидат філософських наук,
доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
oksana.patlaichuk@nuos.edu.ua

Анотація. Стаття пропонує вичерпний огляд розвитку української філософії науки в період 2022–2026 років, акцентуючи увагу на трансформації академічного дискурсу в умовах воєнного стану, глобальної цифровізації та постнекласичної раціональності. Проаналізовано фундаментальні зрушення в методології пізнання, від впровадження графових класифікацій для природничих і математичних наук до розробки цифрової епістемології та етичного осмислення штучного інтелекту. Досліджено процеси інституціоналізації дисципліни через підготовку новітньої навчальної літератури для здобувачів наукових ступенів, а також розкрито міждисциплінарний потенціал філософії науки у правознавчих, міжнародно-політичних та інженерно-технічних прикладних дослідженнях.

Ключові слова: українська філософія науки, методологія пізнання, цифрова епістемологія, штучний інтелект, постнекласична раціональність, міждисциплінарність, воєнний стан.

Вступ: екзистенційний та соціокультурний виміри філософії науки в умовах війни

Період з 2022 по 2026 рік став для української філософії науки часом безпрецедентних випробувань та одночасно епохою глибокої концептуальної трансформації. Повномасштабна війна докорінно змінила екзистенційний ландшафт академічної діяльності, перетворивши наукову роботу не лише на процес пошуку істини, але й на акт суспільного спротиву та збереження національної ідентичності. У цей час філософія науки остаточно відійшла від статусу винятково абстрактної дисципліни, набувши гострого етичного та державотворчого звучання, де здатність спільноти підтримувати справедливість у пізнанні та повагу до гідності Іншого стала ключовим імперативом [7, с. 5].

Знаковим проявом консолідації академічного середовища стало функціонування загальноуніверситетського семінару «Філософія науки» у Львівському національному університеті імені Івана Франка під керівництвом ректора Володимира Мельника [1, с. 1]. Вже восени 2022 року на його засіданнях науковий та філософський інструментарій застосовувався для аналізу рецепції української культури крізь призму війни, що засвідчило інтеграцію вітчизняного гуманітарного знання в ширший європейський контекст та продемонструвало готовність науки до адаптації [1, с. 2]. Закономірною еволюцією цього дискурсу стало присвячення семінару 2023 року питанням української національної ідеї як світоглядної основи, що спрямовує вектори вітчизняного наукового пошуку [3, с. 1]. Таким чином, інституційний вимір філософії науки в Україні характеризується поєднанням класичної академічної строгості з гострою реакцією на соціально-політичні виклики.

Еволюція теоретико-методологічних засад: графова аналітика та структура наукового знання

Поруч із розв’язанням світоглядних проблем, українські дослідники здійснили суттєвий внесок у суто теоретичну архітектуру філософії науки. Найважливішим здобутком у цьому напрямі стало масштабне дослідження О. Габовича та В. Кузнєцова, опубліковане у виданні «Філософська думка» у 2022 році, яке запропонувало новітній погляд на диференціацію математичних та природничих наук [2, с. 137]. Традиційні лінійні або ієрархічні моделі класифікації наукового знання поступово вичерпують свою пояснювальну силу через стрімке зростання міждисциплінарних зв’язків. У відповідь на це було обґрунтовано використання методу графових класифікацій [2, с. 138].

Ця теоретична інновація дозволяє візуалізувати та аналізувати специфічні ознаки наук як багатовимірні мережі специфічних теорій, що утворюють їхнє динамічне ядро. Відповідно до графового підходу, філософії наук поділяються на глобальні (або загальні) та локальні (наукоцентровані), кожна з

яких оперує власними реконструкціями практичних теорій [2, с. 140]. Впровадження оцінних графів дозволило інтегрувати в філософський аналіз внутрішні та зовнішні оцінки, тим самим враховуючи історично-соціальні чинники формування науки, а також суспільні умови її сприйняття та підтримки [2, с. 141]. Дослідники також проблематизували можливість екстраполяції цих теоретико-реконструктивних класифікацій на суспільні та гуманітарні науки, стимулюючи подальшу дискусію щодо меж формалізації в соціальній епістемології [2, с. 150].

Постнекласична парадигма: цифрова епістемологія, синергетика та виклики штучного інтелекту

Сучасний етап розвитку науки безальтернативно маркується переходом до постнекласичної раціональності. Дослідження В. Г. Воронкової, О. С. Бурашнікової, М. Козловця та інших провідних науковців (2024 р.) доводять, що філософія науки остаточно відходить від ньютонівського детермінізму, концентруючись на складних, самоорганізованих системах, таких як живі організми, біосфера та соціально-економічні структури [4, с. 60]. Постнекласична методологія інтегрує в себе синергетику, теорію хаосу та враховує нелінійність процесів, поєднуючи природничі підходи з гуманітарними вимірами (наприклад, у біоетиці) [4, с. 62].

Центральним феноменом цієї парадигми виступає цифрова епістемологія та масове впровадження штучного інтелекту (ШІ). Філософська рефлексія розглядає ШІ не просто як прикладну технологію, а як нову онтологічну реальність, що безпосередньо впливає на буттєвість людини та її здатність до пізнання [5, с. 55]. Раціональність, яка історично тлумачилася як осягнення буття виключно за допомогою людського розуму, нині стикається з автономними алгоритмічними агентами [5, с. 56].

Водночас українські філософи акцентують увагу на конструктивному та прагматичному вимірах цих технологій. Сучасна наука дедалі більше взаємодіє з філософією для управління інформаційною стохастичністю та невизначеністю [4, с. 64]. Наприклад, новітні технології штучного інтелекту активно концептуалізуються як ключовий інструмент для вирішення глобальних екологічних проблем, зокрема для боротьби із забрудненням довкілля та досягнення цілей сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй[9].

Універсальність логіко-епістемологічного інструментарію в прикладних галузях

Однією з найяскравіших рис української філософії науки аналізованого періоду є активне використання її фундаментальних категорій – епістемології, діалектичної та формальної логіки, класифікації – для розв'язання суто прикладних проблем в умовах війни та суспільної трансформації. Епістемологія, як вчення про структуру та функціонування знання, забезпечує критерії відмежування істини від маніпуляцій. У сучасному розумінні «знати щось» невіддільне від епістемологічної віри у те, що відповідна пропозиція є об'єктивним фактом, що стає методологічним підґрунтям для інформаційної безпеки.

Спектр застосування філософсько-методологічного інструментарію у прикладних наукових працях (зокрема, дослідження А. І. Кравчука, В. І. Максименка, О. В. Шрамко та співавторів) можна структурувати за ключовими сферами:

Сфера застосування	Філософсько-методологічний інструментарій	Практична реалізація та специфіка предмета
Кримінологія та правоохоронна діяльність	Методологія науки, діалектична логіка, принципи класифікації.	Методологія визначає традиції постановки проблем та між-дисциплінарного діалогу щодо господарської злочинності [6, с. 79]. Логіка поділу обсягу понять (рід-вид) дозволяє систематизувати емпіричні масиви автотранспортних правопорушень в умовах воєнного стану та розробляти превентивні механізми [8, с. 83].
Міжнародні відносини та геополітика	Логіка прийняття рішень, аналіз причинно-наслідкових зв'язків.	Розкриття парадоксів логіки санкційного примусу. Демонструється, що авторитарні режими здатні уникати прямого впливу санкцій, перекладаючи економічний тягар на громадян для збереження владних коаліцій, що вимагає нелінійного філософського осмислення міжнародної політики [9, с. 81].
Інженерія та захист критичної інфраструктури	Алгоритмічна (математична) логіка, епістемологія довіри в системах автоматизації.	Розмежування рівнів контролю: критична логіка зосереджується виключно в апаратних контролерах (ПЛК), тоді як системи SCADA виконують лише архівацію та візуалізацію. Це філософське розмежування функцій мінімізує втручання «людського фактора» та нівелює гібридні загрози на виробництвах [10, с. 65].
Освіта та розвиток особистості	Логіка розвитку продуктивного мислення, епістемологічні моделі діагностики.	Відмова від сегрегованих спеціалізованих класів для обдарованих дітей на користь профільного та інклюзивного навчання. Логічне моделювання структурно-функціональних компонентів (попередній, поточний контроль, взаємодіагностика) у процесі формування творчого досвіду фахівців [11, с. 104].

Цей широкий діапазон застосувань підтверджує тезу про те, що універсальним інструментом для всіх наук залишається діалектична логіка [8, с. 236]. Принципи діалектики дозволяють фіксувати взаємозумовлений і суперечливий розвиток явищ, єдність протилежностей та механізми саморозвитку як у макромасштабах суспільства, так і в інженерних чи освітніх мікромоделях.

Навчально-освітня інституціоналізація та академічна рефлексія науки

Досягнення теоретичної та прикладної філософії науки були б неповними без належної трансляції здобутого знання новим поколінням науковців. У 2024 році цей напрям отримав потужний стимул завдяки виходу у світ 516-сторінкового підручника «Філософія науки» за авторством О. П. Дзьобаня (видавництво «Фенікс») [12, с. 2].

Це видання стало концептуальним узагальненням попереднього досвіду і закріпило розуміння філософії науки не як зовнішнього або «звичайного супроводу науки», а як її глибинної аналітики, здатності до самоусвідомлення та рефлексії [12, с. 8]. Згідно з викладеними в підручнику концепціями, наука розглядається як фундаментальний соціокультурний феномен, що формує систему раціональних етичних цінностей. Саме принципи наукової раціональності здатні об’єднати людей, незалежно від їхньої етнічної та релігійної належності, що робить науку базисом глобалізації та цивілізаційного поступу [12, с. 15].

Методологічно підручник насамперед орієнтований на здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії (PhD) [12, с. 18]. Його мета полягає у забезпеченні молодих учених освітньо-науковими технологіями, які розкривають процеси творчого усвідомлення структури наукового пізнання, механізми здійснення наукових відкриттів і закономірності історичної еволюції наукового апарату [12, с. 20]. Інституціоналізація через створення якісної україномовної літератури такого рівня є свідченням зрілості дисципліни, яка здатна продукувати комплексний погляд на природу знання та його вплив на суспільство.

Висновки. Синтезуючи результати огляду досліджень в українській філософії науки за період 2022–2026 років, можна зробити висновок про глибоку структурну модернізацію галузі. Попри надскладні умови воєнного часу, академічна спільнота не лише зберегла інституційну спроможність, але й перетворила філософську рефлексію на інструмент суспільної стійкості. Теоретичні розробки (наприклад, графові оцінні моделі) збагатили світовий інструментарій диференціації та систематизації наукових знань, запропонувавши дієві моделі реконструкції практичних теорій природничих наук.

Паралельно відбувся остаточний перехід до постнекласичної раціональності, де провідну роль відіграють синергетика та спроби епістемологічного осмислення штучного інтелекту як чинника, що переформатовує людську буттєвість. Доведено високу прикладну цінність філософії науки: її логічні та методологічні категорії безпосередньо імплементуються в юриспруденцію, архітектуру промислової безпеки, аналітику міжнародних санкцій та інноваційну педагогіку. Нарешті, забезпечення освітнього процесу фундаментальними підручниками засвідчує, що українська філософія науки успішно генерує нові смисли, формуючи цілісне розуміння світу для майбутніх поколінь науковців.

Література

[1] Мельник В. П., Татаренко А. Л. Засідання семінару «Філософія науки», присвячене аналізу рецепції української літератури в Хорватії 2022 року. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2022.

[2] Габович О. О., Кузнєцов В. І. Огляд сучасної філософії науки (ч. 2). Оцінні графи окремої науки // Філософська думка. – 2022. – № 2. – С. 137–154.

[3] Мельник В. П. Відбулося засідання семінару «Філософія науки», присвячене питанню української національної ідеї. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2023.

[4] Воронкова В. Г., Бурашнікова О. С. Синергетична методологія дослідження цифрових інструментів ефективного функціонування податкової системи // Цифрова економіка та економічна безпека. – 2024. – Вип. 1 (10). – С. 60–66.

[5] Козловець М. Технології штучного інтелекту та їх вплив на буттєвість людини // Humanities Studies. – Запоріжжя: Вид-во Запорізького нац. ун-ту, 2024. – Вип. 19 (96). – С. 55–66.

[6] Кравчук А. І. Методологія науки та кримінологія господарської злочинності: Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії. – Ірпінь: Державний податковий університет, 2026. – 25 с.

[7] Шрамко О. В. Теоретико-прикладні питання інформаційної моделі стану: епістемологія та логіка. – Київ: НАВС, 2024. – 18 с.

[8] Шрамко О. В., Калініна А. М. Запобігання та протидія злочинності: логіка діалектичного розвитку. – Дніпро: ДДУВС, 2025. – 23 с.

[9] Шрамко О. В., Осін В. В. Головні підходи до прийняття зовнішньополітичних рішень // Інноваційні рішення в економіці. – Дніпро: УМСФ, 2024. – С. 78–82.

[10] Шрамко О. В., Остапенко О. П., та ін. Недоліки системи грошового забезпечення військовослужбовців та перспектива впровадження моделі за стандартами НАТО // Ефективна економіка. – 2024. – № 6. – С. 60–70.

[11] Максименко В. І. Самостійна робота студентів-хореографів в умовах дистанційного навчання // Теорія і методика мистецької освіти. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2020. – Вип. 4. – С. 104–109.

[12] Дзьобань О. П. Філософія науки: Підручник / ДНУ «Інститут інформації, безпеки і права Нац. академії прав. наук України». – Київ; Одеса: Фенікс, 2024. – 51 с.

REVIEW OF RESEARCH IN THE UKRAINIAN PHILOSOPHY OF SCIENCE IN THE PERIOD 2022-2026

Patlaichuk O. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. The article lecture provides an exhaustive review of the development of the Ukrainian philosophy of science during the 2022–2026 period, emphasizing the transformation of academic discourse under the conditions of martial law, global digitalization, and post-non-classical rationality. Fundamental shifts in the methodology of cognition are analyzed, ranging from the introduction of graph classifications for natural and mathematical sciences to the development of digital epistemology and the ethical conceptualization of artificial intelligence. The processes of institutionalization of the discipline through the preparation of advanced educational literature for PhD candidates are examined, and the interdisciplinary potential of the philosophy of science in legal, international-political, and engineering applied research is revealed.

Keywords: Ukrainian philosophy of science, methodology of cognition, digital epistemology, artificial intelligence, post-non-classical rationality, interdisciplinarity, martial law.

УДК 304.2

ФІЛОСОФІЯ НАУКИ У ПРАЦІ МАЗВІЇТИ ЧІРІМУУТИ “THE BRAIN ABSTRACTED: SIMPLIFICATION IN THE HISTORY AND PHILOSOPHY OF NEUROSCIENCE”

Патлайчук О.В.,
кандидат філософських наук,
доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
oksana.patlaichuk@nuos.edu.ua

Анотація. У статті розглядається новаторська концептуальна рамка філософії нейронауки, запропонована Мазвіїтою Чірімуутою у книзі “The Brain Abstracted” (2024). Аналізується епістемологічна проблема надзвичайної складності мозку, що змушує науковців вдаватися до стратегій радикального спрощення – абстрагування та ідеалізації. Увагу зосереджено на критиці обчислювальної теорії розуму, введенні концепції «гаптичного реалізму» замість традиційного наукового перспективізму та подоланні омани недоречної конкретності. Доводиться, що сучасний перехід до методів машинного навчання генерує конфлікт між предиктивною точністю та науковим розумінням, що вимагає нової епістемологічної скромності.

Ключові слова: філософія нейронауки, епістемологія, абстрагування, ідеалізація, обчислювальна теорія розуму, гаптичний реалізм, наукове розуміння, епістемологічна скромність.

1. Вступ. Гіперскладність мозку та епістемологічний виклик нейронауки

Сучасна нейронаука перебуває на етапі безпрецедентного накопичення емпіричних даних, проте її філософське осмислення нерідко відстає від технологічного прогресу. Праця Мазвіїти Чірімуути “The Brain Abstracted: Simplification in the History and Philosophy of Neuroscience” (2024), яка була відзначена престижною премією Лакатоса 2025 року [1, с. 14] та премією Наєфа Аль-Родхана 2024 року [2, с. 2], пропонує глибокий критичний аналіз методологічних засад наук про мозок. Головна теза дослідження полягає в тому, що стандартні способи спрощення, до яких вдаються нейронауковці для побудови моделей, створюють оманливе уявлення про те, як мозок функціонує насправді.

Вихідною точкою аналізу є визнання надзвичайної, майже незбагненної складності людського мозку. Цей орган, що складається приблизно з 8 мільярдів електрично збудливих клітин (нейронів) та такої ж кількості гліальних клітин, характеризується величезною гетерогенністю [1, с. 3]. Кора головного мозку містить безліч анатомічно та функціонально диференційованих ділянок, а самі нейрони кардинально відрізняються розмаїттям форм, розмірів та патернів синаптичних зв’язків. Окрім структурної складності,

мозок є динамічною системою, що постійно змінюється в часі на різних рівнях масштабу завдяки механізмам пластичності. Чірімуута застосовує влучну метафору «гераклітового мозку» (Heraclitean brain), підкреслюючи безперервний потік та процесуальну природу нейронної активності [1, с. 183].

Через таку гіперскладність мозок неможливо пізнати «як такий» у всій його повноті. Будь-яка спроба наукового опису неминуче стикається з межами людського когнітивного апарату та наявного методологічного інструментарію. Усвідомлення цього факту ставить під сумнів амбіції так званої «нейрофілософії» – редукціоністського напряму, що намагається вирішити всі філософські проблеми свідомості виключно через нейробіологічні механізми. Зазначається, що нейронаукові теорії здатні відображати лише часткові істини, відтак філософія повинна зберігати певну автономію [3, с. 711].

2. Стратегії спрощення: історичний контекст та омана недоречної конкретності

Уся наука потребує спрощення, проте у випадку з мозком цей виклик випробовує межі наукових можливостей. Чірімуута детально розглядає три основні стратегії спрощення, які історично застосовувалися у фізичних та біологічних науках: математизацію, редукцію та створення аналогій. Думка науковця, за словами дослідниці, діє як смуговий фільтр (bandpass filter) [1, с. 6]. Щоразу, коли вчений концептуалізує, категоризує чи дає назву явищу, він абстрагується від його унікальних партикулярій, подібно до того, як слово «газон» стирає відмінності між тисячами унікальних травинок та квітів. Це цілеспрямоване спотворення об’єкта репрезентації дозволяє зробити його зрозумілим і керованим для дослідника.

Історичним прикладом такої редукції є рефлекторна теорія, яка домінувала наприкінці XIX та на початку XX століття. Цей підхід намагався розкласти складну поведінку на прості сенсомоторні дуги, наслідуючи аналітичні успіхи класичної фізики [4, с. 12732]. Проте, як зазначав ще у 1930-х роках невролог Курт Гольдштейн у своїй праці «Організм» (The Organism), цей редукціоністський підхід грубо ігнорував цілісність біологічної системи. Гольдштейн доводив, що ізольовані рефлекси демонструють стабільність лише у штучно створених лабораторних умовах, тоді як у природному середовищі організм реагує як динамічне ціле [5, с. 505].

Іншим яскравим прикладом спрощення є концепція «простих клітин» (simple cells) у первинній зоровій корі, введена видатними нейрофізіологами Д. Г’юбелом та Т. Візелом. Чірімуута доводить, що «проста клітина» не існує як фіксована об’єктивна сутність. Радше це «ідеальний патерн» (ideal pattern), тобто ідеалізація експериментальних даних, накладена на світ нейрофізіологом за допомогою специфічних стимулів та умов [3, с. 713]. Ця ідеалізація уможливила стрімкий розвиток функціональних моделей зору, але водночас на десятиліття заблокувала глибше розуміння природного зору в його етологічній повноті.

Критичним наслідком ігнорування факту спрощення є те, що видатний філософ Альфред Норт Вайтгед назвав «оманою недоречної конкретності» (fallacy of misplaced concreteness) [1, с. 245]. Це помилка сплутування абстрактних наукових моделей (мап) із самою конкретною реальністю (територією). Сучасні нейронауковці та філософи свідомості часто сприймають свої «діряві абстракції» (leaky abstractions) як буквальний опис того, як працює розум [1, с. 246]. Спрощені об’єкти пізнання існують як проміжні інструментальні ланки, що дозволяють науковцям маніпулювати реальністю, але вони не тотожні самому гераклітовому потоку нейронних взаємодій.

3. Перспективізм та «гаптичний реалізм»: нова філософська парадигма

Для подолання обмежень традиційного наукового реалізму М. Чірімуута формулює власну епістемологічну платформу, яка поєднує науковий перспективізм, кантіанський формальний ідеалізм та оригінальну концепцію «гаптичного реалізму» (haptic realism) [6, с. 63].

Традиційний науковий реалізм базується на припущенні, що наука забезпечує буквальний, семантично істинний опис незалежної від людини природи. Він метафорично спирається на зір: передбачається, що спостерігач дистанційований від об’єкта і пасивно, немов з позиції «ока Бога» (God’s eye view), споглядає його істинні властивості [6, с. 3]. Однак для гіперскладних об’єктів візуальна метафора виявляється непродуктивною. Замість неї пропонується метафора дотику (гаптики). Для кращого розуміння відмінностей між цими підходами наведено порівняльну таблицю.

Критерій порівняння	Традиційний науковий реалізм	Гаптичний реалізм (М. Чірімуута)
Базова метафора пізнання	Зір (дистанційоване, пасивне споглядання об’єкта ззовні)	Дотик (активна взаємодія, фізична маніпуляція, опір матеріалу)
Епістемологічна позиція	Абсолютизм, об’єктивний погляд з позиції «ока Бога»	Перспективізм, залежність знань від методів, інструментів та цілей
Статус наукових моделей	Буквальні описи незалежної від людини реальності (істини)	Інструментальні артефакти, часткові істини (partial truths)
Ставлення до складності	Віра у фундаментальну простоту і математичну впорядкованість природи	Визнання нездоланної складності (мозок як гераклітовий потік)

Гаптичний реалізм стверджує, що наукове пізнання неодмінно вимагає фізичного контакту, залученості та цілеспрямованого маніпулювання [6, с. 4]. Нейронауковці ніколи не вивчають живий, інтегрований у тіло та середовище мозок «безпосередньо». Вони вивчають редуковані підготовлені препарати – зрізи тканин, ізольовані клітини, зафіксовані організми. Дослідник пізнає мозок так само, як людина пізнає об'єкт на дотик у темряві – обмацуючи його, активно взаємодіючи з ним, створюючи певні локальні деформації для отримання потрібної інформації [7, с. 746]. Об'єкти наукового дослідження конструюються (спрощуються та стабілізуються) самим процесом дослідження.

Водночас ця епістемологічна позиція залишається суто *реалістичною*, оскільки дотик наштовхується на опір зовнішньої матерії. Нейронаукові моделі не є довільними вигадками; вони відображають результати реальної, емпіричної взаємодії з фізичним світом. Але патерни, що фіксуються у підручниках, є значною мірою ідеалізованою формою, яку людський розум (разом зі своїми інструментами) накладає на матерію [1, с. 35].

4. Аналогія з комп'ютером та подолання «картезіанської ідеалізації»

Окремий масив філософського аналізу у книзі присвячений обчислювальній теорії розуму та метафорі «мозок як комп'ютер». З точки зору філософії науки, сприйняття мозку як пристрою для обробки інформації (information processing device) є лише ще однією спрощувальною аналогією, яка була надзвичайно корисною евристикою з часів зародження кібернетики [1, с. 91].

Вона дозволила нейронауковцям абстрагуватися від незліченних фізико-хімічних та метаболічних процесів, зосередившись виключно на тих каузальних взаємодіях, які нібито відповідають за трансформацію інформації. Проте буквальне тлумачення нейрообчислювальних моделей – віра в те, що мозок *насправді є* комп'ютером – призводить до глибоких концептуальних помилок. Мозок кардинально відрізняється від обчислювальної машини фон Неймана: він не має апаратного та програмного розділення, а його біологічна структура та енергетичний метаболізм глибоко взаємопов'язані з когнітивними функціями, на відміну від сучасних масивних дата-центрів штучного інтелекту [8, с. 767].

Найбільша проблема обчислювальної парадигми полягає у закріпленні «картезіанської ідеалізації» (Cartesian Idealization) [1, с. 277]. Це методологічне припущення, за яким мозок чітко відокремлюється від тіла та зовнішнього середовища, перетворюючись на ізольований механізм. Така ідеалізація створює ілюзію, що можна вивчати свідомість, абстрагувавшись від тілесності та екологічної ніші організму. Філософи, які некритично запозичують цю ідеалізацію, самі того не підозрюючи, регенерують старий дуалізм розуму і тіла у новій технологічній обгортці.

5. Епістемологічна криза: розуміння проти прогнозування в епоху штучного інтелекту

У XXI столітті в науках про мозок стався історичний розрив між «класичним» науковим підходом та новим інженерно-орієнтованим стилем пізнання [1, с. 209]. Якщо класична наука прагнула віднайти прості, зрозумілі принципи та закони, що стоять за складністю природи, то сучасні дослідники дедалі частіше спираються на великі дані (Big Data) та глибинне навчання штучних нейронних мереж (Deep Learning) [8, с. 768].

З точки зору прогнозування реакцій кори головного мозку (наприклад, моторної) на певні стимули, моделі ШНМ досягли безпрецедентної точності. Проте цей прогрес несе у собі тяжку епістемологічну ціну. Чірімуута формулює фундаментальний конфлікт, компроміс (trade-off) між здатністю алгоритмічної моделі здійснювати точне прогнозування та її здатністю забезпечувати наукове *розуміння* явища [8, с. 769].

Глибокі нейронні мережі є класичними «чорними скриньками» (black boxes). Хоча інженери створили їхню архітектуру, точний механізм класифікації стимулу всередині прихованих шарів залишається непрозорим і неінтерпретованим. Нейронаука отримує інструмент, який блискуче симулює виходи мозку, але не пояснює його як біологічну систему. Відмова від традиційних, менш точних, але концептуально прозорих пояснювальних моделей на користь предиктивного машинного навчання свідчить про зміщення фундаментальної мети науки: від епістемічного ідеалу «розуміння природи» до інженерного прагматизму «контролю та передбачення». Це створює ситуацію, в якій ми можемо математично відтворити поведінку системи, але абсолютно втрачаємо здатність її збагнути.

6. Висновки. Обмеження нейрофілософії та епістемологічна скромність

Філософський аналіз, здійснений Мазвіїтою Чірімуутою, не є закликом до відмови від нейронауки або знеціненням її колосальних досягнень. Навпаки, її метою є пропозиція нової, більш зрілої та адекватної рамки для інтерпретації цих результатів. Вона аргументує необхідність дотримання *теоретичної та практичної скромності* (theoretical and practical humility) щодо меж наукового пізнання.

Оскільки мозок є системою гіперскладного характеру, будь-яка наукова теорія приречена захоплювати лише парціальні істини, які суворо обмежені специфічними інструментами, метафорами та цілями лабораторного дизайну. Це накладає жорсткі обмеження на амбіції класичної «нейрофілософії». Ми не можемо прямолінійно екстраполювати лабораторні абстракції на вирішення екзистенційних та метафізичних проблем свідомості. Ігнорування гаптичної, конструюючої природи наукового втручання та

підміна складного субстрату життя спрощеними блок-схемами спотворює наше розуміння місця свідомості у природі.

Філософія науки повинна зберігати критичну автономію, аналізуючи евристичні метафори нейронауки та постійно нагадуючи, що складність живого неодмінно виходить за межі будь-якої обчислювальної ідеалізації.

Література

[1] Chirimuuta M. The Brain Abstracted: Simplification in the History and Philosophy of Neuroscience. Cambridge, MA: The MIT Press, 2024. 376 p.

[2] Royal Institute of Philosophy. 2024 Nayef Al-Rodhan International Prize in Transdisciplinary Philosophy. London: TRIP, 2024. 5 p.

[3] Roskies A. L. Concrete thoughts on The Brain Abstracted // Philosophical Psychology. 2024. Vol. 37. P. 711–715.

[4] Chirimuuta M. Reflex theory, cautionary tale: misleading simplicity in early neuroscience // Synthese. 2021. Vol. 199. P. 12731–12751.

[5] Goldstein K. The Organism: A Holistic Approach to Biology Derived from Pathological Data in Man. New York: Zone Books, 1995. 422 p.

[6] Chirimuuta M. Haptic realism for neuroscience // Synthese. 2023. Vol. 202, Article 63. P. 1–16.

[7]. Chirimuuta M. Vision, Perspectivism, and Haptic Realism // Philosophy of Science. 2016. Vol. 83, No. 5. P. 746–756.

[8] Chirimuuta M. Prediction versus understanding in computationally enhanced neuroscience // Synthese. 2021. Vol. 199. P. 767–790.

PHILOSOPHY OF SCIENCE IN MAZVIITA CHIRIMUUTA'S "THE BRAIN ABSTRACTED: SIMPLIFICATION IN THE HISTORY AND PHILOSOPHY OF NEUROSCIENCE"

Patlaichuk O. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. The article examines the innovative conceptual framework of the philosophy of neuroscience proposed by Mazviita Chirimuuta in "The Brain Abstracted" (2024). It analyzes the epistemological problem of the brain's extreme complexity, which compels scientists to employ strategies of radical simplification–abstraction and idealization. The focus lies on the critique of the computational theory of mind, the introduction of "haptic realism" as an alternative to traditional scientific perspectivism, and overcoming the fallacy of misplaced concreteness. It is argued that the current shift toward machine learning methods generates a trade-off between predictive accuracy and scientific understanding, thereby demanding a new epistemological humility.

Keywords: philosophy of neuroscience, epistemology, abstraction, idealization, computational theory of mind, haptic realism, scientific understanding, epistemological humility.

УДК 7.012:378.4

ЛЮДИНОЦЕНТРИЧНИЙ ДИЗАЙН СЕРЕДОВИЩА ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЯК ЗАСІБ ПІДТРИМКИ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО КОМФОРТУ СТУДЕНТІВ І ВИКЛАДАЧІВ В УМОВАХ ВІЙНИ

Портнов Д.В.,
старший викладач кафедри дизайну
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна
dmutro.portnov@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто роль дизайну середовища закладів вищої освіти у підтримці психоемоційного комфорту студентів і викладачів в умовах війни. Визначено основні проблеми освітнього простору та запропоновано напрями їх вирішення засобами гнучкого планування, природних елементів, акустичного й світлового комфорту та організації зон відпочинку. Обґрунтовано необхідність формування людиноцентричного освітнього середовища, здатного відповідати сучасним потребам учасників освітнього процесу.

Ключові слова: дизайн інтер'єру, людиноцентричний дизайн, багатофункціональність, зонування, навчальне середовище.

Повномасштабна війна в Україні суттєво змінила умови функціонування закладів вищої освіти та висунула нові вимоги до організації освітнього середовища. Постійна загроза обстрілів, повітряні тривоги, вимушене переміщення, пошкодження будівель, нестабільність освітнього процесу та тривале перебування в умовах психологічного напруження впливають не лише на організацію навчання, а й на емоційний стан студентів і викладачів. У таких умовах освітнє середовище має забезпечувати не тільки можливість проведення занять, а й відчуття психологічної та фізичної безпеки, можливість відновлення, спілкування та зниження рівня повсякденного стресу [3].

Середовище університету може впливати на сприйняття людиною простору, її поведінку та можливість психологічного відновлення. Дослідження, проведене серед студентів [1], продемонструвало зв'язок між характеристиками університетського середовища та показниками ментального відновлення. Позитивний вплив на сприйняття середовища виявляли, зокрема, наявність рослин у приміщеннях, природне освітлення та сприятливе акустичне оточення [1].

Однією з основних проблем сучасного освітнього середовища є його орієнтація переважно на функціональне забезпечення навчального процесу, тоді як психологічні та соціальні потреби його користувачів часто розглядаються недостатньо. Огляд досліджень навчальних просторів закладів вищої освіти [2] показує, що оцінювання середовища нерідко зосереджується на фізичному комфорті, стані здоров'я окремого користувача. Водночас для повноцінного розуміння благополуччя студентів необхідно враховувати також соціальні та колективні характеристики середовища [2]. В умовах війни ця проблема набуває додаткового значення. Простір університету повинен одночасно виконувати декілька функцій: забезпечувати навчання, сприяти соціальній взаємодії, створювати умови для відпочинку та психологічного відновлення, а також відповідати вимогам безпеки. Тому традиційна модель освітнього простору потребує адаптації до нових умов. Доцільним є формування більш гнучкого середовища, здатного змінювати функціональне призначення залежно від потреб та ситуації.

Важливим напрямом є створення просторів для психологічного відновлення. Такі зони можуть передбачати місця для короткотривалого відпочинку, усамітнення або спілкування. Особливого значення набуває використання природних компонентів, оскільки рослинність, відкриті види, небо та природне освітлення пов'язані з більш позитивним сприйняттям середовища та його відновлювальними властивостями. З огляду на це перспективним є застосування принципів біофільного дизайну. Практичними засобами можуть бути озеленення, використання природних матеріалів і фактур, забезпечення доступу до денного світла, створення візуального зв'язку із зовнішнім середовищем та організація невеликих зелених зон усередині будівлі. Такі рішення можуть формувати більш сприятливе середовище для відпочинку та відновлення між навчальними заняттями [1].

Особливого значення в умовах війни набуває поєднання таких характеристик простору: безпекових та психологічно-комфортних. Безпечні зони не повинні сприйматися виключно як технічні приміщення, відірвані від загальної структури навчального закладу. Їх доцільно інтегрувати в систему освітнього середовища таким чином, щоб вони залишалися функціональними та комфортними під час тривалого перебування людей. При цьому організація простору повинна сприяти зрозумілому орієнтуванню та мінімізувати додаткове психологічне навантаження, пов'язане з пошуком необхідних зон і переміщенням будівлею [3].

Перспективними тенденціями розвитку дизайну середовища закладів вищої освіти є поєднання безпеки, гнучкості, природності, сенсорного комфорту та соціальної взаємодії. У межах дизайн-проєктів доцільно передбачати рекреаційні зони з озелененням, простори для усамітнення та психологічного відновлення, трансформовані навчальні аудиторії, акустично комфортні приміщення, зрозумілу навігацію та інтегровані безпечні зони. Такий підхід відповідає сучасному розумінню благополуччя в освітньому середовищі, яке передбачає врахування не лише індивідуального фізичного комфорту, а й психологічних, соціальних та колективних потреб користувачів [2].

Отже, в умовах війни дизайн середовища закладів вищої освіти набуває додаткової соціальної функції та може розглядатися як один із засобів підтримки психоемоційного комфорту студентів і викладачів. Його завдання полягає не у створенні ізольованого «комфортного» простору, а у формуванні адаптивного середовища, яке одночасно забезпечує безпеку, можливість навчання, соціальну взаємодію та психологічне відновлення. Поєднання природних компонентів, якісного внутрішнього середовища, гнучкого планування та безпекових рішень створює передумови для формування більш стійкого та людиноцентричного освітнього простору

Література

[1] Fernández-Cavia et al. / Building and Environment (2023). Restoring the mind: A neuropsychological investigation of university campus built environment aspects for student well-being. *Building and Environment, 244*,110810.DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.110810.

[2] Nastaran Makaremi, Serra Yildirim, Garrett T. Morgan, Marianne F. Touchie, J. Alstan Jakubiec, John B. Robinson, Impact of classroom environment on student wellbeing in higher education: Review and future

directions, Building and Environment, Volume 265, 2024, 11958, ISSN 0360-1323, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111958.

[3] Kotsur, N., & Tovkun, L. (2023). Formation of the psychological safety of the educational environment in the conditions of the Russian-Ukrainian war. DOI: 10.38014/ehs-ss.2023.1.04.

HUMAN-CENTERED DESIGN OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS AS A MEANS OF SUPPORTING THE PSYCHO-EMOTIONAL WELL-BEING OF STUDENTS AND FACULTY AMIDST WAR

Portnov D.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, Mykolaiv.

Abstract. This paper examines the role of environmental design in higher education institutions in supporting the psychological and emotional well-being of students and faculty during wartime. It identifies the main challenges of educational spaces and proposes solutions through flexible planning, the incorporation of natural elements, acoustic and lighting comfort, and the organization of relaxation areas. The paper justifies the need to create a human-centered educational environment capable of meeting the contemporary needs of those involved in the educational process.

Keywords: interior design, human-centered design, multifunctionality, zoning, learning environment.

UDC 81’373.72:811.111

USING IDIOMS IN TEACHING ENGLISH

Smuhliakova M.K.,
senior lecturer of Language Studies Department
marina124553@gmail.com
Ponomarenko N.M.,
senior lecturer of Applied Linguistics Department
e-mail: datsko3001@gmail.com
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
the city of Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper presents a comprehensive analysis of using idiomatic expressions in the process of learning English as a foreign language. The authors examine the essential characteristics of idioms including their semantic opacity, cultural basis, and fixed structure. Practical recommendations for teachers for incorporating idiomatic language into the learning process are also highlighted in the paper.

Keywords: idiom, teaching strategies, English language learning, teaching methods, interactive methods, role plays, visualisation, gamification

A deep understanding of a language presupposes the ability to comprehend its cultural code, one of the most vivid manifestations of which is idiomatic language. Idioms are an integral part of authentic communication. They enrich speech, making it more expressive, emotional, and culturally meaningful. Therefore, the study of these linguistic units is a key prerequisite for mastering a language for those who seek to achieve a high level of proficiency in English.

Despite the considerable number of studies devoted to particular aspects of the issue, such as the analysis of difficulties and the description of specific teaching methods, the academic literature still lacks a comprehensive analysis that would consider idioms as a valuable resource in the learning process.

Three key characteristics of idioms can be identified: semantic opacity, cultural specificity, and fixed structure**.**

Semantic opacity is a fundamental characteristic of an idiom. Its meaning is holistic and cannot be derived from the sum of the meanings of the individual words that constitute it. Attempts to translate such expressions literally may lead to absurd or humorous results. Classic examples include “kick the bucket” (“to die”) and “spill the beans” (“to reveal a secret”). This semantic opacity represents one of the major cognitive challenges for learners.

With regard to cultural specificity, idioms function as carriers of unique cultural information. Idioms often originate from historical events, traditions, literature, or even everyday realities of the past. For example, the origin of the expression “raining cats and dogs” (“raining very heavily”) has sometimes been associated with medieval England, where heavy rainfall allegedly washed dead animals through the streets, creating such an impression.

Understanding expressions of this kind therefore requires not only linguistic knowledge but also cultural background knowledge.

Most idioms have a stable and conventional grammatical structure and lexical composition that do not allow significant modification. For example, the expression “to sit on the fence” (“to remain undecided or neutral”) cannot be freely transformed structurally or lexically, since such changes may destroy its idiomatic meaning. Replacing words, changing word order, or altering grammatical forms may deprive the expression of its specific conventional meaning.

Despite the difficulties associated with learning idioms, they constitute an extremely valuable resource for learners who seek to achieve a high level of language proficiency. Thus, their importance is not limited to vocabulary expansion. The idiomatic system of a foreign language serves as a means of achieving greater authenticity in speech, developing sociocultural competence, enriching learners’ vocabulary, and strengthening their memory.

Contemporary approaches to teaching English as a foreign language offer a wide range of tools that can transform the complexity of idioms into an engaging and highly effective component of the learning process.

Narrative and activity-based methods are aimed at actively incorporating idioms into speaking practice, thereby helping learners overcome psychological barriers and develop productive language skills. These methods include storytelling, role-playing activities, and dialogues.

Creating their own stories encourages learners not merely to memorise an expression but to integrate it into a broader meaningful context, which contributes to deeper and more lasting acquisition.

Role plays and dialogues enable learners to practise idioms in situations that resemble real-life communication. By acting out dialogues on a particular topic, students learn how to use specific idioms correctly and appropriately. This facilitates their natural integration into spontaneous speech [1].

Visualisation**,** or the use of visual aids, helps learners create mental images which can significantly facilitate memorisation.

Gamification**,** particularly the use of games such as “Idiom Bingo,” “Charades,” and word puzzles, turns learning into an engaging competition, reduces tension, and encourages active participation. Although such activities may be less effective for developing productive recall than storytelling, a number of researchers emphasise their undeniable role in increasing motivation and learner engagement [2, 3].

Effective teaching of idiomatic language requires a shift away from an approach that treats idioms as isolated lexical units to be memorised towards a sociocognitive and context-embedded approach in which idioms are acquired through cultural experience. Strategies such as contextualisation, narrative and activity-based methods, cognitive-sensory engagement, and cognitive analysis form the components of such a holistic and effective system. They make it possible not only to overcome the difficulties associated with idiom learning but also to transform the study of idioms into an effective tool for developing learners’ linguistic and cultural awareness.

Idioms are regarded as a key component of language because, like a mirror, they reflect the mentality, history, traditions, and cultural values of a nation. These fixed expressions represent a concentrated embodiment of a people’s cultural identity and worldview. Mastering them opens the way to a deeper understanding of the culture associated with the foreign language.

References

[1] EFLCafe.net. Essential Techniques for Teaching Idioms in EFL/ESL Classes. 2024. URL: https://eflcafe.net/essential-techniques-for-teaching-idioms-in-efl-esl-classes/

[2] Derakhshan A., Davoodi Khatir E. The effects of using games on English vocabulary learning. *Journal of Applied Linguistics and Language Research*. 2015. Vol. 2, No. 3. P. 39–47.

[3] Zarei A. A. L2 Idioms: On the Effectiveness of Teaching Techniques. *Teaching English Language*. 2020. Vol. 14, No. 2. P. 217–238.

УДК 37.011.3-051:37.013:005.342

ФОРМУВАННЯ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: КОМПОНЕНТНО-РІВНЕВИЙ ПІДХІД

Тимченко А.А.,
кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри початкової освіти
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
alla.tymchenko@nuos.edu.ua

Анотація. В статті подано визначення поняття «психолого-педагогічна готовність майбутнього вчителя до професійної діяльності», обґрунтовано критерії, показники та рівні психолого-педагогічної готовності майбутнього вчителя до професійної діяльності, серед яких: когнітивний критерій (усвідомлення майбутніми вчителями професійно значущих психолого-педагогічних знань); мотиваційно-ціннісний критерій (рівень сформованості мотивації до опанування студентами системи психолого-педагогічних знань, що сприяють професійному становленню, розвиток потреби в професійному становленні); діяльнісний критерій (рівень процесуальної активності майбутнього вчителя в професійному становленні, оволодіння комунікативним компонентом професійної діяльності та практичними вміннями).

Ключові слова: психолого-педагогічна готовність майбутнього вчителя, когнітивний критерій, мотиваційно-ціннісний критерій, діяльнісний критерій, професійна діяльність, вчитель початкових класів.

Реформування сучасної системи освіти в Україні відбувається в напрямі її подальшої модернізації відповідно до загальноєвропейських і світових стандартів, інтенсифікації, технізації та інформатизації освітнього процесу, що відображено в низці державних освітніх нормативно-правових документів: Закон України «Про освіту» (2017 р.), Національна стратегія розвитку освіти в Україні на період до 2021 року (2013 р.), Концепція розвитку освіти України (2015 р.), Державний стандарт початкової освіти (2018 р.), Концепція «Нової української школи» (2018 р.), Концепція розвитку педагогічної освіти (2018 р.) тощо. Цими документами розкривається важливість професійної підготовки вчителів, які здатні впроваджувати інноваційні підходи до організації освітнього процесу, мають високий рівень професіоналізму, творчості й особистої активності, виявляють прагнення до безперервного професійного зростання відповідно до потреб і вимог суспільства [1, 2, 4, 5].

Професійне становлення майбутнього учителя, здатного поєднувати науковий світогляд, психолого-педагогічні знання, духовну культуру, передусім відбувається в період професійної підготовки у закладі вищої освіти (ЗВО). Базова роль належить психолого-педагогічній підготовці, яка складає базову характеристику психолого-педагогічної моделі сучасного вчителя, єдність його теоретичної та практичної готовності до здійснення навчальної та виховної діяльності; складну, багаторівневу стійку особистісну структура, що формується внаслідок інтеграції теоретичних знань, практичних умінь, досвіду, розвитку загальнопедагогічних здібностей та значущих для вчителя особистісних якостей, гармонійне поєднання яких становить результат професійного становлення вчителя в процесі загальнопедагогічної підготовки. Її якість визначається потребою в безперервній самоосвіті та самовдосконаленні, творчому ставленні до професійної діяльності. Учитель, який в процесі професійного становлення досяг високого рівня психолого-педагогічної готовності успішно реалізує цілі та завдання освітнього процесу, мотивований до педагогічної діяльності, відкритий для постійного професійного зростання, чітко усвідомлює можливості та перспективу свого професійного розвитку, збагачує і розвиває професійний досвід завдяки особистому творчому внеску, соціально активний та відданий педагогічній професії.

Проблеми психолого-педагогічної підготовки майбутнього вчителя досліджуються й розкриваються у працях таких науковців: А. Алексюка, В. Бондаря, С. Гончаренка, М. Гуревича, І. Зязюна, О. Савченко, Л. Хомич, Л.Хоружа та ін.

Зміст психолого-педагогічних дисциплін трактуємо як вимоги до знань, умінь і навичок у вигляді теоретичних положень, загальних методів психології й педагогіки, часткових методик початкового навчання, які мають здобути майбутні вчителі початкової школи з урахуванням сучасних тенденцій розвитку української освіти, її поступової інтеграції в освітній європейський простір.

Відповідно до професійного стандарту «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти» [5] психолого-педагогічні дисципліни спрямовані на забезпечення набуття знань, формування вмінь і навичок у вчителів початкової школи щодо виконання їхніх основних трудових функцій, а саме планування й здійснення освітнього процесу; забезпечення та підтримки навчання, виховання й розвитку

майбутніх школіряв в освітньому середовищі та родині; створення сприятливого освітнього середовища; рефлексії та професійного саморозвитку; надання методичної допомоги колегам із питань навчання, розвитку, виховання й соціалізації учнів початкових класів закладу загальної середньої освіти; узагальнення власного педагогічного досвіду та його презентації педагогічній спільноті; оцінювання результатів роботи вчителія початкових класів закладу загальної середньої освіти.

Зміст саме психолого-педагогічних дисциплін забезпечує розвиток здатності майбутніх учителів початкової школи проєктувати власну професійну діяльність та освітню діяльність учнів шляхом формування широкого діапазону вмінь.

З метою практичного вивчення психолого-педагогічної готовності майбутнього вчителя до професійної діяльності було проведено констатувальний експеримент. Для цього нам необхідно було визначити критерії, показники та рівні рівні психолого-педагогічної готовності майбутнього вчителя до професійної діяльності. Важливо враховувати, що дослідження містить два феномени – психологічна готовність і педагогічна готовність до професійної діяльності. Тому у визначенні критеріїв і показників ми дотримуватимемось обох складників об'єкта дослідження.

Критерій – це базовий структурний компонент педагогічного дослідження, ознака, на основі якої здійснюється об'єктивна діагностика, незалежно від суб'єктивної думки [6, с. 504]. Під критерієм ми розуміємо ідеальний зразок, еталон, який визначає вищий, найдосконаліший рівень функціонування певної системи, порівняно з яким можна встановити ступінь відповідності та наближення його реального рівня до ідеалу.

Сутнісними характеристиками професійної діяльності вчителя є її базова основа – система психолого-педагогічних знань і вмінь; педагогічні здібності, що забезпечують успішність професійної діяльності в постійно змінюваних умовах; потреба в постійному самовихованні і самовдосконаленні; здатність до критичного аналізу власних професійних установок та корекції способів навчально-виховної взаємодії з учнями. В зв'язку з тим, що професійна діяльність педагога спрямована на навчання, виховання і особистісний розвиток учнів, цим напрямкам відповідають три аналогічні підструктури загальнопедагогічної компетентності: навчальна, виховна і особистісно-рефлексивна, в яких знайшли відображення загальні педагогічні вміння, необхідні для реалізації професійних функцій учителя.

З урахуванням аналізу наукової літератури та дисертаційних робіт, присвячених проблемі готовності, поняття *психолого-педагогічна готовність майбутніх учителів до професійної діяльності* визначено як інтегроване особистісне утворення, що охоплює мотиваційно-ціннісні установки, особистісні якості, прагнення до професійного та особистісного розвитку, сукупність педагогічних (фахово-методичних) знань, мовно-комунікативних, фахово-методичних, дослідницько-проєктувальних умінь, навичок, необхідних для їх практичного використання під час навчання, виховання, розвитку.

На основі аналізу змістових характеристик виокремлених складових нами визначено наступні критерії психолого-педагогічної готовності майбутнього вчителя до професійної діяльності*: когнітивний, мотиваційно-ціннісний, діяльнісний.*

Когнітивний критерій: усвідомлення майбутніми вчителями професійно значущих психолого-педагогічних знань, пізнавальних здібностей та інтелектуальних умінь, необхідних для становлення вчителя як професіонала, що в сукупності є фундаментом професійної та педагогічної підготовки майбутнього фахівця.

Мотиваційно-ціннісний критерій відображає рівень сформованості мотивації до опанування студентами системи психолого-педагогічних знань, що сприяють професійному становленню, оволодіння уміннями їх застосування в майбутній фаховій діяльності та розвиток потреби в професійному становлення під час навчання у ЗВО та впродовж життя.

Діяльнісний критерій відображає рівень процесуальної активності майбутнього вчителя в професійному становленні, оволодіння комунікативним компонентом професійної діяльності та практичними вміннями реалізації освітніх та виховних функцій освітнього процесу.

Когнітивний критерій характеризується *такими показниками:* сукупність психолого-педагогічних знань про сутність й особливості педагогічної професії; знання основ педагогічної майстерності; знання про інноваційні технології в початковій освіті, про реформу НУШ.

Мотиваційно-ціннісний критерій характеризує морально-психологічна готовність студентів до майбутньої педагогічної діяльності, систему потреб студентів стосовно їх професійного становлення, усвідомлення сформованості цієї якості для майбутньої фахової діяльності, орієнтацію на професійний розвиток, забезпечує відчуття «єднання» з професією як необхідністю.

Цей критерій конкретизовано *в таких показниках*: внутрішня мотивація в оволодінні психолого-педагогічними знаннями, мотивація досягнення успіху в професійному становленні; ціннісне ставлення до педагогічної діяльності та усвідомлення особистісного сенсу і значущості професійного становлення; наявність інтересу і потреби до особистісно-професійного становлення.

Діяльнісний критерій відображає практично-операційний аспект становлення майбутнього вчителя, що проявляється в сформованості досвіду практичної діяльності і ґрунтується на визнанні діяльності головним засобом і вирішальною умовою досліджуваного процесу. Цей критерій передбачає спроможність організовувати, виконувати, регулювати, контролювати діяльність, аналізувати й оцінювати її результати.

Комплекс *показників,* в яких конкретизовано цей критерій, наступний: уміння використовувати психолого-педагогічні знання для вирішення практичних завдань та розв'язання професійно-педагогічних ситуацій; уміння здійснювати психолого-педагогічне діагностування; уміння забезпечувати взаємний контакт з учнями і підтримувати його; здатність використовувати інноваційні технології в початковій освіті.

Для переведення якісних критеріїв професійної підготовки студентів у кількісні нам потрібно визначити її рівні. Г. Козберг розглядає рівень професійної компетентності вчителя як «ступінь розвитку його теоретичної обізнаності та технологічних умінь, а також результатів педагогічної діяльності» [3]. Оцінка рівня професійного становлення, вважає В. Адольф, повинна здійснюватися за основними функціями, характерними для професійної педагогічної діяльності, а саме: діагностичною, інформаційною, конструктивно-проєктувальною, організаторською, комунікативною, прогностичною, дослідницькою та оціночною [2, с. 56–58]. Нами визначено такі рівні:

Високий рівень сформованості є характерним для студентів, які виявляють високий рівень психолого-педагогічних знань про сутність й особливості педагогічної професії, високий рівень пізнавального інтересу та творча активність і спрямованість на опанування інноваційними технологіями в початковій освіті. Їх вирізняє впевненість у собі, уміння логічно та абстрактно мислити, відстоювати та обгрунтовувати власну світоглядну позицію, оригінальність способів вирішення педагогічних ситуацій, наявність власної позиції щодо оцінки передового педагогічного досвіду; здатність до імпровізації, що базується на знаннях та інтуїції. Висока внутрішня мотивація в оволодінні психолого-педагогічними знаннями та бажання досягти успіху в професійному становленні, ціннісне ставлення до педагогічної діяльності, наявність інтересу і потреби до особистісно-професійного становлення. На високому рівні здійснюють психолого-педагогічне діагностування та можуть забезпечувати взаємний контакт з учнями і підтримувати його.

Середній рівень сформованості об'єднує студентів, які: На цьому рівні студенти мають недостатньо глибокі та усвідомлені психолого-педагогічні знання у межах навчальних програм, але не проявляють бажання їх розширювати. У них простежується ситуативний інтерес до опанування інноваційними технологіями в початковій освіті. Вони епізодично проявляють бажання здійснювати психолого-педагогічне діагностування, епізодично проявляють готовність до саморегуляції, комунікативні та організаторські здібності; недостатньо вмотивовані до удосконалення професійної діяльності.

Низький рівень сформованості властивий студентам у яких неповні, неглибокі, безсистемні, часто неусвідомлені психолого-педагогічні знанння про сутність й особливості педагогічної професії; схильні до використання шаблонів у процесі педагогічної практики, відсутність оригінальності, нестандартності мислення; на низькому рівні сформовані мовнокомунікативні, фахово-методичні, інформаційно-цифрові, дослідницько-проєктувальні вміння. У студентів слабко виражений інтерес до майбутньої професії; активність та інтерес до вивчення психолого-педагогічних дисциплін; відсутня потреба в саморозвитку; не володіють методами професійного самовдосконалення.

Організація дослідно-експерементальної роботи передбачала три стадії: пошуково-теоретичну, моделювальну, експериментальну (констатувальний, формувальний, контрольний етапи). На пошуково-теоретичній стадії вивчено та проаналізовано психолого-педагогічну, філософську, соціологічну літературу з проблеми дослідження. Завданням моделювальної стадії експерименту став аналіз навчально-виховних планів, розробка педагогічних умов професійної підготовки майбутнього вчителя в умовах інноваційного освітнього середовища та методик констатувального етапу експерименту, які передбачали завдання для визначення рівня готовності означеної проблеми.

На констатувальному етапі експерименту використовувалися емпіричні методи дослідження – спостереження, анкетування, діагностична. Ці методи використовувалися для виявлення рівня психолого-педагогічної готовності майбутнього вчителя в умовах інноваційного освітнього середовища.

Отже, під рівнем психолого-педагогічної готовності майбутнього вчителя до професійної діяльності розуміємо наявність відповідної мотивації; ступінь оволодіння психолого-педагогічними знаннями і вміннями; розвиток педагогічних здібностей та особистісних якостей. Визначити рівень психолого-педагогічної готовності майбутнього вчителя до професійної діяльності як результату їх професійного становлення – означає надати кількісну та якісну характеристику стану її основних критеріїв і показників. Психолого-педагогічна готовність майбутнього вчителя до професійної діяльності в умовах інноваційного освітнього середовища оцінюється за такими критеріями: когнітивним, мотиваційно-ціннісний, діяльнісний, а також рівнями готовності: низьким, середнім і високим.

Література

[1] Державний стандарт початкової освіти. (2018). URL: https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-zatverdzhennya-derzhavnogo- standartupochatkovoyi-osviti

[2] Діхнич, К. В. Професійний розвиток майбутніх учителів початкової школи у процесі педагогічної практики. Пріоритетні наукові напрямки пе-дагогіки і психології: від теорії до практики: збірник тез Міжнародної нау-ково-практичної конференції. Харків. 2019. С. 78–80.

[3] Каплінський В. В. Формування загальнопедагогічної компетентності майбутнього вчителя в процесі вивчення дисциплін педагогічного циклу. Особистісно-професійний розвиток майбутнього вчителя: Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (м. Вінниця, 29–30 листопада 2018 р.). Вінниця: Нілан, 2018. С. 133–137.

[4] Концепція «Нова українська школа". Розпорядження Кабінету Міні-стрів України від 14 грудня 2016 р. № 988-р. URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf

[5] Професійний стандарт «Вчитель початкових класів закладу загаль-ної середньої освіти» Режим доступу : file:///C:/Users/User/Downloads/%D0%9D%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B7_2736.pdf

[6] Фрицюк В. А. Теоретичні та методичні засади підготовки майбутніх педагогів до безперервного професійного саморозвитку: дис. … докт. пед. наук. Вінниця, 2017. 542с.

FORMATION OF THE PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL READINESS OF THE FUTURE TEACHER FOR PROFESSIONAL ACTIVITY: A COMPONENT-LEVEL APPROACH

Tymchenko A.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article defines the concept of "psychological-pedagogical readiness of a future teacher for professional activity", substantiates the criteria, indicators and levels of psychological-pedagogical readiness of a future teacher for professional activity, including: cognitive criterion (awareness of future teachers of professionally significant psychological-pedagogical knowledge); motivational and value criterion (the level of formation of motivation for students to master the system of psychological and pedagogical knowledge that contributes to professional development, the development of the need for professional development); activity criterion (level of procedural activity of the future teacher in professional development, mastery of the communicative component of professional activity and practical skills).

Keywords: psychological and pedagogical readiness of the future teacher, cognitive criterion, motivational and value criterion, activity criterion, professional activity, primary school teacher.

УДК 811.161.2

МІЖМОВНІ ВЗАЄМОДІЇ: УКРАЇНСЬКОМОВНА ОСВІТНЯ ТЕРМІНОЛОГІЯ

Філіппова Н.М.,
кандидат філологічних наук, доцент
nina.filippova@nuos.edu.ua
Левентир В.О.,
студентка спеціальності «Філологія», спеціалізація «Прикладна лінгвістика»
vikusya.lev05@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. На матеріалі даних фрейму сучасної українськомовної освітньої термінології проаналізовані термінологічні запозичення в цій галузі і відмічено тенденцію їх збільшення. Використано відповідні нормативні джерела МОНУ, які є настановчими обов'язковими документами для всіх вищих навчальних закладів України. Зазначено факт багатозначності відповідних запозичень латинського походження і термінологічної синонімії запозиченої і питомої лексики.

Ключові слова: міжмовна взаємодія, мовні контакти, запозичення, етимологія, освітня термінологія.

Актуальність цієї розвідки полягає у тому, що процес становлення сучасної українськомовної освітньої термінології відбувається в умовах інтенсивних глобалізаційних та євроінтеграційних процесів. Тому важливими є не лише суто лінгвістичні, але і соціополітичні, етнопсихологічні аспекти формування національної терміносистеми. Виконання завдання укладання електронного термінологічного словника дозволило нам зібрати основной термінологічний корпус сучасної освітньої сфери і розробити

лінгвістичний паспорт цієї термінології. Аналіз етимологічної складової лінгвістичних характеристик паспорту висвітлив проблему, яку можна визначити як виклик, що стосується співіснування термінів-запозичень і їхніх українських відповідників, а також ширшу проблему надмірного проникнення іншомовної лексики в освітній дискурс. Саме ці проблеми привернула нашу особливу увагу.

Об'єкт дослідження – сучасна українськомовна освітня термінологія та пов'язана з нею академічна лексика. Предмет дослідження – міжмовна взаємодія, етимологічний склад, структурні та семантичні особливості запозичених одиниць. Мета розвідки полягає у висвітленні сучасних тенденцій міжмовної взаємодії в українськомовному освітньому просторі на матеріалі даних лінгвістичного паспорта освітньої термінології. Джерелом дослідження слугували основні документи МОН України, які розміщені на офіційних ресурсах міністерства.

Відомі українські дослідники приділяють досить велику увагу аналізу запозичень, які поповнюють сучасну українську мову. Б. Ажнюк, Я. Голдованський, В. Пономаренко, П. Селігей, О. Тараненко, І. Фаріон, Ю. Шевельов і багатьох інших намагаються осмислити і проаналізувати рівень фонетичної, графічної, граматичної, словотвірної, лексико-семантичної адаптації запозичень в сучасній українській мові, розробити підходи до мовного законодавства, мовного планування, надати необхідні і доречні рекомендації їх використання.

В цій розвідці будемо користуватися визначенням поняття «термін», який надає Л. Симоненко [4, с. 35–36]. Особливо важливо, що вона виділяє дві властивості терміна: лексична одиниця, яка виконує номінативну і пізнавально-інформативну функцію.

Аналіз розділено на декілька етапів. 1-й етап аналізу – «Структурний склад». Він полягає у визначенні загальної будови базового банку даних, що містить 120 базових термінів: а) 25 % становлять однокомпонентні терміни (*академія, кафедра, коледж, декан);* б) 56 % – двокомпонентні терміни (*інклюзивна освіта)*; в) 18 % – трикомпонентні терміни (*здобувач вищої освіти, результати навчання, освітньо-професійна програма*); г) близько 1 % – чотирикомпонентні терміни (*система внутрішнього забезпечення якості освіти*). Питома лексика складає 25 %, напр., *викладач, доброчесність, освіта.* Кількість окремих запозичених словоформ складає 75 %, але характерною особливістю багатокомпонентних термінів є співіснування в їх складі питомих і запозичених елементів (*освітні стандарти, освітній компонент, освітній простір)*.

2-й етап аналізу – «Результати асиміляції запозичених термінів». Запозичення доцільно розглядати за ступенем їх адаптації до української мовної системи. Повністю асимільовані одиниці (*академія – академічний – академічність; спеціальність – спеціаліст – спеціалізація*) сприймаються як природні лексичні одиниці. Частково асимільовані запозичення вже функціонують за граматичними нормами української мови, але можуть мати обмежену словотвірну парадигму, наприклад, термін *силабус* відмінюється як іменник чоловічого роду, однак усталена словотвірна сім'я на його основі ще не сформована.

3-й етап аналізу – «Семантичні процеси». На цьому етапі простежено, що відбувається зі значенням слова після його входження в українськомовний освітній простір.

Запозичення латинського походження надходили в українську мову через мови-посередники (французську, англійську, російську мови) на різних етапах розбудови українськомовної освітньої термінології (*екзамен, інститут, проректор, ректор, студент).* Їх називають інтернаціоналізмами, їх значення легко декодувати.

В сучасних матеріалах МОНУ регулярно функціонує значна кількість прямих англізмів, адаптованих переважно шляхом транслітерації, напр., *комунікаційна стратегія, контент, матриця, моніторинг, онлайн-навчання, презентація, проєкт, стейкхолдер, тренінг.* Частина таких одиниць настільки активно використовується, що поступово перестає сприйматися як іншомовна.

Процес семантичної адаптації запозиченої лексики відбувається таким чином: іншомовна одиниця входить до українського мовного простору і набуває спеціалізованих значень: розширення їхнього семантичного спектру та виникнення нових значень унаслідок вторинної номінації [2]. Значення таких лексем не завжди однозначно декодуються тими, хто не є безпосереднім учасником освітнього процесу, наприклад, *компетентність.* Показовим прикладом є досить новий для української освітньої сфери термін *стейкхолдер* (англ. *stakeholder*). У загальному значенні ним позначають будь-яку зацікавлену сторону – фізичну або юридичну особу, яка має легітимний інтерес у діяльності певної організації, залежить від її діяльності або може впливати на неї, а в освітньому дискурсі він конкретизується відповідно до особливостей освітньої сфери.

Окремою тенденцією є активне переміщення лексики між різними науковими сферами: лінгвістичні терміни *дискурс, наратив, парадигма* почали широко використовуватися представниками інших галузей знань, тоді як терміни природничих і технічних наук стали звичними для гуманітарного дискурсу, наприклад, *вектор, матриця, модуль.*

Семантична адаптація запозичень проявляється у системному культивуванні певних особливостей мовлення, які сприймаються як більш «елітарні» [5, с. 67]. На лексичному рівні тенденції такого роду виявляються у схильності до вживання іншомовних слів без явної суті номінативної потреби.

Отже, проблема міжмовної взаємодії полягає не лише в кількості запозичень, а й у характері їх входження до української мовної системи та функціональній доцільності.

Література

[1] Галян О. В., Гуз О. П. Поняття терміна та його місце в мовній системі // Наукові записки. Серія: Філологічні науки. 2025. № 212. С. 104–109. DOI: 10.32782/2522-4077-2025-212-15.

[2] Пономаренко В. Семантична еволюція кодифікованих іншомовних запозичень в українській мові XXI ст. Мовознавство. 2025. № 2. С. 3–18. https://doi.org/10.33190/0027-2833-341-2025-2-001

[3] Симоненко Л. О. Історична тяглість розвитку української наукової термінології // Вісник Львівського університету. Серія філологічна. 2017. Вип. 64 (1). С. 320–329.

[4] Симоненко Л.О. Термін як предмет лексикографії. Мовознавство N1, 2017. – С. 35-48.

[5] Тараненко О.О. Активізація змін у межах явища мовної варіантності в українській літературній мові новітнього періоду (кінець XX – початок XXI ст.). Мовознавство. N4, 2017. – С. 65-81.

INTERLINGUAL INTERACTIONS: UKRAINIAN-LANGUAGE EDUCATIONAL TERMINOLOGY

Filippova N.M., Leventyr V.O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Abstract. This study analyzes terminological borrowings in the field and notes a trend toward their increase based on the data regarding the framework of contemporary Ukrainian educational terminology. Relevant regulatory documents from the Ministry of Education and Science of Ukraine, which serve as mandatory guidelines for all higher education institutions in the country, were utilized. Instances of polysemy among borrowings of Latin origin, as well as terminological synonymy with in borrowed and native vocabulary, are highlighted.

Keywords: interlingual interaction, language contacts, borrowings, etymology, educational terminology.

УДК 811.161.2’373.611:070(477)

ФУНКЦІОНУВАННЯ ФЕМІНІТИВІВ У СУЧАСНОМУ УКРАЇНСЬКОМУ МЕДІАПРОСТОРІ: ВІД ЗАПЕРЕЧЕННЯ ДО НОРМИ

Бикова М.І.,
викладач кафедри обліку та оподаткування
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (ПННЦ)
м. Первомайськ, Україна
marinabikova558@gmail.com

Анотація. У дослідженні розглянуто особливості функціонування фемінітивів у сучасному українському медійному просторі. Встановлено, що ставлення до нових фемінітивних утворень серед науковців залишається неоднозначним. Одні дослідники вважають такі лексеми неприродними для української мови та інколи стилістично комічними, тоді як інші розглядають їх як важливий засіб утвердження гендерної рівності й представлення жінок у суспільстві. З’ясовано, що одним із ключових завдань уживання фемінітивів є забезпечення мовної репрезентації жінки та підкреслення її професійної й суспільної діяльності.

Ключові слова: фемінітив, маскулінітив, гендер, гендерна рівність, жінка, сексизм, медіа

Сучасне українське суспільство характеризується поступовою зміною уявлень про соціальну роль і статус жінки. Розширення участі жінок у суспільному житті є важливим показником демократичних перетворень. Сьогодні жінки активно реалізують себе в політиці, підприємництві, сфері безпеки та оборони, а також у багатьох інших професійних галузях, які тривалий час сприймалися як суто чоловічі.

Досягнення суспільної стабільності, сталого розвитку та економічного добробуту значною мірою пов’язане із забезпеченням рівних можливостей для представників обох статей. Гендерна рівність нині розглядається як невід’ємний принцип демократичного суспільства та ефективного управління. Важливу роль у цьому процесі відіграє мова, адже саме через мовні засоби відбувається репрезентація різних соціальних груп. Одним із таких засобів є фемінітиви – назви осіб жіночої статі, утворені для позначення

жінок за професією, посадою, видом діяльності, національною належністю, сімейним статусом та іншими ознаками.

Поширення фемінітивів у сучасному мовленні пов'язане зі змінами суспільних поглядів на гендерні ролі. Їхнє використання сприяє більш виразному представленню жінок у публічному просторі та підкреслює їхню активну участь у різних сферах життя. Водночас поява нових фемінітивів викликає неоднозначну реакцію в науковому середовищі. Дослідники дискутують щодо нормативності, доречності та особливостей функціонування окремих новотворів.

Актуальність проблеми посилюється й тим, що в сучасному мовознавстві досі немає абсолютно уніфікованого підходу до визначення поняття «фемінітив». Крім того, недостатня кількість спеціалізованих словників фемінної лексики ускладнює встановлення статусу та нормативності нових мовних одиниць. Унаслідок цього використання фемінітивів, особливо новітніх, у засобах масової інформації може супроводжуватися певними труднощами. Саме тому важливим напрямом сучасних мовознавчих досліджень є аналіз функціонування фемінітивів, способів їх творення та ролі в сучасній українській медіакомунікації.

Фемінітиви становлять значний пласт сучасної української лексики та є продуктивним явищем словотворення. За їх допомогою конкретизують назви осіб жіночої статі, пов'язуючи їх із певною професією, посадою, родом занять, соціальним становищем або видом діяльності. До поширених сучасних фемінітивів належать, зокрема, журналістка, редакторка, викладачка, науковиця, лікарка, директорка, менеджерка, волонтерка, депутатка та інші.

Помітною тенденцією сучасного українського мовлення є активізація творення нових жіночих назв. Цей процес реалізується переважно за допомогою продуктивних словотвірних моделей. Серед найуживаніших формантів варто виокремити -к-, -иц-, -ин-, -ес-**.** Формант -к- характерний для таких утворень, як авторка, директорка, редакторка, дизайнерка, депутатка. За допомогою -иц- формуються назви дослідниця, учасниця, захисниця, а формант -ин- спостерігаємо в лексемах фахівчиня, мисткиня, продавчиня. Суфікс -ес- представлений, зокрема, словами поетеса та стюардеса.

Одним із середовищ, у якому найвиразніше проявляється тенденція до поширення фемінітивів, є сучасні засоби масової інформації. Медіа систематично висвітлюють діяльність жінок у професійній, громадській та суспільно-політичній сферах. Зростання кількості таких матеріалів закономірно актуалізує потребу в окремих мовних засобах для позначення жінок, які виконують певні професійні чи соціальні функції.

У журналістських текстах дедалі частіше фіксуються форми директорка, міністерка, журналістка, волонтерка замість відповідних назв чоловічого роду. Такий спосіб номінації забезпечує конкретизацію інформації та дає змогу чітко ідентифікувати стать особи. Особливо актуальним це є для новинних матеріалів, де точність і однозначність повідомлення мають принципове значення.

Одним із ключових призначень фемінітивів є називання жінки як представниці певної професії або соціальної категорії**.** Саме тому номінативна функція є базовою для цієї групи лексики. Використання окремої жіночої форми дає змогу точніше передати зміст висловлення та уникнути ситуацій, коли назва чоловічого роду використовується для позначення особи жіночої статі.

Водночас функціональний потенціал фемінітивів є значно ширшим. Вони виконують репрезентативну функцію**,** оскільки сприяють представленню жінок у публічному та інформаційному просторі. Їхнє систематичне використання в медіа відображає участь жінок у політичному житті, підприємництві, науковій діяльності, військовій службі, спорті, культурі, державному управлінні та інших сферах.

Ще одним важливим призначенням фемінітивів є уточнення та ідентифікація особи**.** Жіноча форма назви може містити додаткову інформацію про стать людини, що дозволяє читачеві швидше та точніше зрозуміти зміст повідомлення. Таким чином, фемінітиви сприяють інформаційній конкретизації медіатексту. Поширення фемінної лексики має також виразний соціокультурний характер. Мовні процеси тісно пов'язані з розвитком суспільства, тому поява нових назв для жінок відображає зміни в соціальній структурі та професійній сфері. Залучення жінок до діяльності, яка раніше переважно асоціювалася з чоловіками, створює потребу в нових або актуалізованих мовних номінаціях.

Медіа в цьому процесі виконують роль своєрідного посередника між мовною системою та суспільством. Саме в медійних текстах нові слова отримують можливість швидко поширюватися, ставати впізнаваними та поступово закріплюватися в мовній практиці. Часте використання фемінітивів у новинах, інтерв'ю, аналітичних і публіцистичних матеріалах сприяє їхньому входженню до повсякденного мовлення.

Разом із поширенням фемінітивів виникають дискусії щодо доцільності використання окремих нових форм. Причиною неоднозначного сприйняття може бути їхня недостатня звичність для частини мовців або відсутність тривалої традиції використання. Проте мовна незвичність нової лексеми не

обов'язково означає порушення мовної норми. Будь-яка нова одиниця потребує певного часу для закріплення в мовній системі та суспільній практиці.

Важливим чинником становлення фемінітивів є їхнє нормативне визнання. Фіксація жіночих назв у сучасних нормативних джерелах української мови сприяє розширенню сфери їх використання. Унаслідок цього фемінітиви поступово закріплюються не лише в розмовному та публіцистичному мовленні, а й в офіційній, науковій та інших сферах комунікації. Особливо динамічно цей процес відбувається у сфері назв професій і посад. Суспільні зміни зумовили появу значної кількості ситуацій, у яких необхідно називати жінок, що обіймають керівні посади або працюють у різних професійних галузях. Використання відповідної фемінної форми дозволяє акцентувати увагу на фактичній участі жінок у певній сфері та водночас забезпечує точність мовної номінації.

Варто враховувати, що використання фемінітивів не є однаковим у всіх типах медійних текстів. На вибір відповідної форми можуть впливати жанрові особливості матеріалу, тематика, редакційна політика конкретного видання, індивідуальний стиль автора та очікування аудиторії. У новинних публікаціях фемінітиви передусім забезпечують точність називання особи, а в аналітичних і публіцистичних матеріалах можуть набувати додаткового стилістичного значення.

Таким чином, активне використання фемінітивів у сучасному українському медіапросторі є результатом взаємодії мовних і суспільних чинників. Розширення сфери функціонування жіночих назв відображає зміни в суспільному житті та водночас впливає на формування сучасної мовної практики. Поступове закріплення фемінітивів у медійному дискурсі свідчить про їх перехід від незвичних або дискусійних новотворів до поширених мовних одиниць, які активно використовуються для репрезентації жінок у різних сферах суспільного життя. Отже, становлення фемінітивів у сучасному українському мовленні є складним і поступовим процесом. Він визначається не лише особливостями розвитку словотвірної системи, а й соціальними змінами, мовними традиціями та суспільним сприйняттям. Важливим чинником переходу нових жіночих назв від незвичних мовних утворень до усталених одиниць є їх систематичне використання в медійному просторі.

Література

[1] Малахова О. Фемінітиви – не данина моді, вони властиві українській мові як системі. URL:http://womo.ua/olena-malahova/

[2] Синчак О. Вебсловник жіночих назв української мови. Львів, 2022.

[3] Словник фемінітивів Gendergid.

FEMININE FORMS IN THE CONTEMPORARY UKRAINIAN MEDIA SPACE: FROM REJECTION TO NORMATIVE USE

Bykova M.I.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Educational and scientific center in Pervomaisk)

Abstract. The study examines the functioning of feminine forms in the contemporary Ukrainian media space. It has been established that scholars' attitudes toward new feminine lexical formations remain ambiguous. Some researchers consider such lexemes unnatural for the Ukrainian language and stylistically marked, sometimes even comical, whereas others view them as an important means of promoting gender equality and ensuring the linguistic representation of women in society.The study demonstrates that one of the key purposes of using feminine forms is to ensure the proper linguistic representation of women and to emphasize their professional activities and social roles. The functioning of feminine forms in media discourse reflects contemporary social changes and contributes to the актуalization of gender-related issues in the Ukrainian information space.

Keywords: focus.ua, feminitive, masculinity, gender, gender equality, woman, sexism, media

УДК 316.324.8:17

ОБҐРУНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕТИКИ ЛУЧІАНО ФЛОРІДІ

Дар'єв А.С.,
студент групи 4341, Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
artemdar006@gmail.com
Ступак О.П.,
старший викладач кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
olga.stupak@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

Анотація: розглядаються ключові принципи інформаційної етики, зокрема моральної відповідальності суб'єктів в інформаційному середовищі в концепції інфосфери Лучіано Флоріді. Показано, що Л. Флоріді наголошує на необхідності етичної оцінки новітніх технологій та відповідальності за дії штучного інтелекту всіх суб'єктів, пов'язаних з ним.

Ключові слова: інфосфера, інформаційна етика, етика відповідальності, штучний інтелект.

Актуальність роботи: з розвитком технологій штучного інтелекту (далі – ШІ), віртуальної, доповненої та змішаної реальності та інших інформаційних технологій виникають не тільки безпекові, а і соціальні, політичні та культурні ризики. Зокрема названі технології поглиблюють проблеми приватності, адже через них суб'єкти завжди потенційно видимі, але ніколи не знають, чи за ними спостерігають. Постають проблеми зі сприйняттям об'єктивної дійсності та власного «Я», виникають ризики, пов'язані з автономією і відповідальностю суб'єктів [3]. Наразі немає однозначних відповідей на головні питання філософії ШІ, а саме: чи здатні алгоритми породити справжню свідомість чи лише скопіювати її? Чи може ШІ мати справжню суб'єктивність та особистість? Чи несе ШІ моральну відповідальність за свої вчинки? [2].

Мета: розглянути онтологічне обґрунтування етичної відповідальності у цифровому суспільстві в концепції інформаційного реалізму Л. Флоріді.

Виклад результатів дослідження: до проблем етики цифрових технологій звертається чимало філософів і науковців, зокрема провідних дослідників у сфері філософії свідомості, філософії науки, моральної філософії (Серл Д., Деннет Д., Чалмерс Д. та інші). Серед існуючих етичних теорій лише деякі, до прикладу утилітаризм, який визначає моральність дії за шкідливістю та користю від неї, гіпотетично можливо алгоритмізувати, але інші, що апелюють до морального вибору, наміру людини, не можуть бути впроваджені в модель, що не є свідомою. А оскільки багато розробників ШІ й філософів наголошують, що свідоме мислення машин наразі неможливе, то вони не можуть нести моральну відповідальність у традиційних етичних системах [1].

На нашу думку заслуговують на увагу ідеї Лучіано Флоріді (Luciano Floridi), директора Лабораторії цифрової етики Оксфордського університету, який пропонує всебічне обґрунтування інформаційної етики. Моральна філософія Л. Флоріді є складовою його концепції інфосфери. Інфосфера – глобальне інформаційне середовище, що включає людей, цифрові об'єкти (данні, алгоритми) тощо. Дихотомія «онлайн/офлайн» в межах даної концепції втрачає значення. Будь-які дії в інфосфері мають не лише правове, але й інформаційне значення. Л. Флоріді визначає зло, як негативний вплив на інфосферу, тобто погіршення якості та достовірності інформації. Водночас, на відміну від класичних моральних концепцій, де відповідальність є наслідком морального вибору, а отже можлива лише для свідомих суб'єктів, відповідальність за Л. Флоріді несе кожен учасник інфосфери, навіть коли є звичайним алгоритмом [4].

Дослідник розглядає ШІ як ««розхрещування» успішного вирішення завдань від необхідності бути розумним», тому в умовах, коли людський розум стає менш ефективним за штучні системи, він набуває нової функції: не вирішувати проблеми безпосередньо, а визначати, які мають бути вирішені [5]. Таким чином, вчений не обмежується питанням, чи є ШІ свідомим, натомість розглядає ШІ крізь призму впливу на людину і суспільство.

Відокремлення волі й інтелекту та охоплення світу породжують значні етичні проблеми, наголошує професор Флоріді, особливо щодо автономії, упередженості, пояснювальності, справедливості, конфіденційності, відповідальності, прозорості та довіри. Аби забезпечити етичність використання ШІ, він пропонує інтегрувати наступні п'ять принципів:

1) благодійність (beneficence): ШІ має сприяти благополуччю, збереженню людської гідності, підтримці екології;

2) нешкідливість (non-maleficence): архітектура ШІ має забезпечувати конфіденційність, безпеку персональних даних та застереження людини щодо можливостей ШІ;

3) автономія (autonomy): ШІ може пропонувати рішення, але саме людина контролює процес їх прийняття;

4) справедливість (justice): ШІ має сприяти процвітанню, підтримці солідарності, уникненню несправедливості;

5) пояснювальність (explicability): всі принципи мають працювати у зрозумілій та підзвітній формі [6].

Висновки: таким чином, визнаючи користь новітніх технологій, Л. Флоріді наголошує на потребі в їх етичній оцінці та відповідальності за дії ШІ всіх суб'єктів, пов'язаних з ним – користувача, компанії-розробника, держави тощо. Система етичних принципів, обґрунтована Л. Флориді, може стати концептуальною основою не тільки для визначення безпечного і суспільно сприятливого напряму розвитку ШІ, а і розробки та впровадження дієвих механізмів регулювання, стандартів відповідального використання інформаційно-комунікаційних технологій.

Література

[1] Блозва Л. М. Штучний інтелект: філософсько-антропологічний погляд. *Філософія та політологія в контексті сучасної культури.* 2016. Т. 4, № 13. С. 4-10.

[2] Дятлова І., Патлайчук О., Ступак О. Етичні виклики та перспективи філософії штучного інтелекту у XXI столітті. *ГРАНІ.* 2025. Т. 28, № 2. С. 68, 70. DOI: https://doi.org/172540

[3] Кузнєцов В. Етична відповідальність за «цифрове Я»: ідентичність та приватність у віртуальності. *Наукове пізнання: методологія та технології.* 2025. № 2 (56). С. 166-174. DOI https://doi.org/10.24195/sk1561-1264/2025-2-20

[4] Кузнецов В., Кузнецова К. Цифрова етика відповідальності у працях Л. Флоріді. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Філософія. Філософські перипетії».* 2025. № 72. С. 117–127. DOI: https://doi.org/10.26565/2226-0994-2025-72-11

[5] Флоріді Л. Ілюзія уповільнює гонки штучного розуму. *Збруч*. 2017. 1 червня. URL: https://zbruc.eu/node/66985 (дата звернення: 26.03.2026)

[6] Floridi L. A Unified Framework of Ethical Principles for AI. *The Ethics of Artificial Intelligence*. Oxford: Oxford University Press, 2023. P. 57-66. DOI: 10.1093/oso/9780198883098.003.0004

JUSTIFICATION OF INFORMATION ETHICS LUCIANO FLORIDI

Dariev A.S., Stupak O.P.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. the article examines the key principles of information ethics, in particular the moral responsibility of subjects in the information environment in the concept of the infosphere by Luciano Floridi. The article is emphasized that L. Floridi demonstrates the need for an ethical assessment of new technologies and responsibility for the actions of artificial intelligence of all subjects associated with it.

Keywords: infosphere, information ethics, ethics of responsibility, artificial intelligence.

УДК 002:378

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ З ДОКУМЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В КОНТЕКСТІ ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ

Єрмолаєва Г.А.,
кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри адміністративного та конституційного права
Факультету морського права
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
hanna.yermolaieva@nuos.edu.ua

Анотація. Обґрунтовано роль цифрового освітнього середовища, інтерактивних технологій, мобільних застосунків та штучного інтелекту у формуванні професійних і цифрових компетентностей. Акцентовано практичну спрямованість підготовки та готовність здобувачів до роботи з цифровими документами й інформаційними ресурсами. Визначено перспективи гнучких та адаптивних освітніх моделей для підготовки фахівців за спеціальністю В13 «Бібліотечна, інформаційна та архівна справа» ОПП «Документно-інформаційна діяльність органів публічної влади».

Ключові слова: документно-інформаційна діяльність, спеціальність В13 «Бібліотечна, інформаційна та архівна справа», ОПП «Документно-інформаційна діяльність органів публічної влади», воєнні виклики.

Вступна частина. Сучасний етап розвитку професійної освіти в Україні характеризується трансформацією змістових, організаційних і технологічних засад підготовки фахівців під впливом воєнних викликів. У період воєнного стану значна частина закладів вищої освіти була вимушена перейти до дистанційної або змішаної форм навчання, що зумовило активізацію використання цифрових та інтерактивних технологій в освітньому процесі. Водночас система вищої освіти зіткнулася з низкою викликів, зокрема перебоями з електропостачанням та доступом до Інтернету, технічними й організаційними труднощами, ускладненням контролю результатів навчання та психологічним навантаженням на учасників освітнього процесу. Зазначені обставини особливо актуалізують питання професійної підготовки фахівців з документно-інформаційної діяльності, професійна діяльність яких безпосередньо пов'язана з інформаційними ресурсами, документними системами та цифровими технологіями.

За таких обставин важливого значення набувають забезпечення безперервності освітнього процесу, зумовлює необхідність адаптації змісту та організації професійної підготовки до змін професійного середовища й актуалізує пошук відповідних освітніх рішень на рівні закладів вищої освіти.

Основна частина. Одним із напрямів реагування на зазначені виклики в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова стало оновлення підходів до професійної освіти, що, зокрема, реалізується через започаткування з 2026–2027 навчального року освітньо-професійної програми «Документно-інформаційна діяльність органів публічної влади» за спеціальністю В13 «Бібліотечна, інформаційна та архівна справа» [1], [2]. Особливість програми полягає в орієнтації на документно-інформаційне забезпечення діяльності органів публічної влади. Зміст ОПП охоплює роботу з документними та інформаційними ресурсами, організацію документообігу, управління інформаційними потоками, інформаційно-аналітичний супровід управлінських процесів, використання цифрових технологій і професійну комунікацію. Така змістова спрямованість забезпечує поєднання теоретичних знань із практичним опануванням професійних інструментів і технологій, необхідних для діяльності в сучасному інформаційному середовищі.

Гнучкість освітньої моделі полягає у можливості варіативного поєднання очної, дистанційної та змішаної форм навчання, використання різних цифрових ресурсів і каналів комунікації, а також зміни форматів організації навчальної діяльності залежно від конкретних умов. Адаптивність, своєю чергою, характеризує здатність освітнього процесу своєчасно реагувати на зміни безпекового, технологічного та організаційного середовища, зберігаючи при цьому визначені результати навчання, змістову спрямованість і професійну орієнтацію підготовки.

У цьому контексті цифрові та інтерактивні технології навчання набувають значення не лише засобів організації освітнього процесу, а й ресурсу його безперервності, гнучкості та адаптивності. Їх інтеграція в освітню практику розширює можливості підготовки майбутніх фахівців з документно-інформаційної діяльності, зокрема щодо опанування технологій створення, опрацювання, організації та використання цифрової документної інформації.

Сучасні здобувачі вищої освіти мають досвід роботи в цифровому середовищі. Дистанційне навчання під час пандемії COVID-19 сприяло поширенню цифрових освітніх ресурсів та онлайн-комунікації, що стало підґрунтям для адаптації освітнього процесу до умов воєнного стану.

Як зазначають І. О Шостак, К. В. Ніколенко, К. В. Петровська [3], у процесі професійної підготовки здобувачі мають можливість працювати з різноманітними цифровими матеріалами, інформаційними ресурсами та інструментами для самонавчання й самостійного вдосконалення цифрових компетентностей. Інтеграція інноваційних технологій в освітній процес, зокрема технологій штучного інтелекту, розширює можливості опанування сучасних засобів роботи з інформацією та цифровими документами. Використання таких технологій може сприяти персоналізації навчання, оперативному пошуку й опрацюванню інформації, формуванню індивідуальної освітньої траєкторії та підвищенню адаптивності освітнього процесу.

У професійній підготовці фахівців з документно-інформаційної діяльності інтерактивні технології можуть поєднуватися з мультимедійними ресурсами, онлайн-платформами, цифровими сервісами, гейміфікацією, проєктним та проблемно-орієнтованим навчанням. Їх застосування дає можливість наближати освітні завдання до змісту майбутньої професійної діяльності: моделювати ситуації опрацювання документів, організації документообігу, пошуку та аналізу інформації, підготовки інформаційно-аналітичних матеріалів і професійної комунікації.

Висновки. Зазначені підходи дають підстави розглядати професійну підготовку фахівців з документно-інформаційної діяльності в умовах воєнного стану як складний і багатовимірний процес, що потребує узгоджених дій усіх учасників освітнього процесу та адаптації його змісту й організації до сучасних викликів. Воєнні умови актуалізують удосконалення освітніх технологій, розширення використання цифрових та інтерактивних засобів навчання, посилення практичної спрямованості підготовки, а також урахування психологічних та організаційних чинників, що впливають на освітню діяльність. Водночас важливим завданням залишається формування професійних і цифрових

компетентностей, необхідних майбутнім фахівцям для роботи з документними та інформаційними ресурсами в умовах цифрової трансформації та безпекових викликів.

Література

[1] Освітньо-професійна програма «Документно-інформаційна діяльність органів публічної влади». Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, спеціальність В13 «Бібліотечна, інформаційна та архівна справа» / Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Миколаїв, 2026. URL: https://nuos.edu.ua/studentu/polozhennya-nuk/opis-opp/opp-dokumentno-informacijna-diyalnist-organiv-publichnoi-vladi-bakalavr/ (дата звернення: 22.09.2026).

[2] Освітньо-професійна програма «Документно-інформаційна діяльність органів публічної влади». Другий (магістерський) рівень вищої освіти, спеціальність В13 «Бібліотечна, інформаційна та архівна справа» / Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Миколаїв, 2026. URL: https://nuos.edu.ua/studentu/polozhennya-nuk/opis-opp/opp-dokumentno-informacijna-diyalnist-organiv-publichnoi-vladi-magistr/ (дата звернення: 22.09.2026).

[3] Шостак І. О., Ніколенко К. В., Петровська К. В. Розвиток цифрової грамотності здобувачів вищої освіти в Україні як відповідь на воєнні виклики. *Академічні візії.* 2024. Вип. 30. URL: https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1057 (дата звернення: 22.09.2026).

TRAINING OF DOCUMENT AND INFORMATION MANAGEMENT SPECIALISTS IN THE CONTEXT OF WARTIME CHALLENGES

Yermolayeva Ganna
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The role of the digital educational environment, interactive technologies, mobile applications, and artificial intelligence in developing professional and digital competencies is substantiated. Emphasis is placed on the practical orientation of professional training and learners' readiness to work with digital documents and information resources. The prospects for flexible and adaptive educational models in the training of specialists under Specialty B13 "Library, Information and Archival Studies" within the Educational and Professional Programme "Document and Information Management of Public Authorities" are identified.

Keywords: document and information management, Specialty B13 "Library, Information and Archival Studies", Educational and Professional Programme "Document and Information Management of Public Authorities", wartime challenges.

УДК 172,4:1(430)"18"

ДІАЛЕКТИКА ВІЙНИ ТА МИРУ У ФІЛОСОФСЬКІЙ СИСТЕМІ ГЕОРГА ГЕГЕЛЯ

Марущак О.В.,
кандидат філософських наук, старший викладач кафедри
соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
oleksandr.maruschak@nuos.edu.ua

Анотація: гегелівський діалектичний підхід до питань війни і миру вже майже два століття викликає гострі дискусії та суперечки. Саме тому було досліджено еволюцію гегелівського розуміння феноменів війни та миру як у його ранніх творах, так й у зрілих класичних філософських працях. Проаналізовано гегелівську діалектику війни і миру у контексті його розуміння політико-правової діяльності суверенних держав та проблеми мирного співіснування народів.

Ключові слова: Г. Гегель, війна, вічний мир, філософія права, моральність.

Гегелівське концептуальне розуміння феноменів війни та миру має важливе теоретичне значення у сучасних умовах російсько-української війни та героїчної боротьби української нації з московією за свою власну ідентичність та державний суверенітет. На відміну від пацифістського ідеалу Просвітництва (зокрема І. Канта з його ідеєю «вічного миру») Г. Гегель розглядає війну як необхідний діалектичний момент у розвитку суспільства, а мир як період внутрішньої консолідації або можливого застою. Саме тому аналіз цього актуального для нашої держави питання має спиратися на вивчення низки ключових творів Г. Гегеля, які відображають еволюцію поглядів видатного німецького мислителя на феномени війни та миру. Щоб зрозуміти як формувалась гегелівська думка щодо питань війни та миру є важливі його ранні

твори, зокрема міркування Г. Гегеля про стан німецьких земель під час конфліктів у тогочасній Європі. Це передусім такі ранні твори як «Конституція Німеччини» та «Про наукові способи дослідження природного права». Політико-філософський твір «Конституція Німеччини» (1798–1802) був написаний під впливом такої події як зникнення і розпад Священної Римської імперії. Г. Гегель приходить до висновку, що політична роздробленість і безсилля роблять державу жертвою зовнішніх агресорів. Держава повинна мати військову силу для захисту власної цілісності. У статті «Про наукові способи дослідження природного права» (1802–1803) вперше Г. Гегель висловив свою критичну позицію щодо кантівського проєкту «вічного миру» та окреслив тезу про позитивне значення війни для внутрішньої консолідації нації. Крім цього, саме тут Г. Гегель формулює ключові положення власної філософії держави та суспільства. Також у цій статті концепція війни і миру отримує фундаментальне теоретичне обґрунтування як елемент органічного життя держави та розкривається через категорію «моральної спільноти». Основні ідеї цієї статті: a) критика попередніх теорій природного права. Г. Гегель піддає жорсткій критиці два панівних на той час підходи до природного права: емпіричний підхід (Т. Гоббс, Д. Локк), який розглядає суспільство як атомізовану сукупність індивідів, де держава є лише штучним механізмом для захисту приватної власності і безпеки та формалістський підхід (І. Кант, Й. Фіхте), який спирається на абстрактний моральний обов'язок і негативне поняття свободи, яке відокремлює суб'єктивну мораль від об'єктивного життя держави. За Г. Гегелем, цим обом підходам бракує поняття органічної єдності та абсолютної моральності; b) поняття «абсолютної моральності». Для Г. Гегеля держава – це не лише юридична угода між громадянами, але й цілісний організм. Справжня свобода людини на думку мислителя досягається не у виокремленні від суспільства, а через повне розчинення суб'єктивного інтересу у цілому – у спільноті та державі.

Таким чином саме у цьому творі Г. Гегель уперше сформулював свою критику кантівського проєкту «вічного миру» та окреслив тезу про позитивне значення війни для внутрішньої консолідації нації. Також значення цієї статті для подальшого розвитку філософії Г. Гегеля полягає у тому, що його концепція війни і миру, викладена у статті стала основою для пізніших відомих творів мислителя: у «Феноменології духу» (1807) це трансформувалося у діалектику «пана та раба» та боротьбу за визнання; у «Енциклопедії філософських наук» (1817) Г. Гегель систематизує свої погляди на державу та міжнародні відносини; у «Основах філософії права» (1821) Г. Гегель остаточно закріпив тези про війну як «моральний елемент», що зберігає етичне здоров'я народів та запобігає занепаду держави.

Саме у творі «Феноменологія духу» (1807) війна розглядається як засіб подолання застою у розвитку суспільства. У «Феноменології духу» Г. Гегель аналізує Дух на етапах його становлення через боротьбу, усвідомлення свободи та взаємодію індивіда із спільнотою. Ось головні ідеї цього твору, які безпосередньо пов'язані з питанням війни та миру: a) діалектика «пана і раба» (боротьба за визнання): на рівні самосвідомості свобода здобувається через ризик для власного життя; людина стверджує свою духовну природу лише тоді, коли готова піднятися над природним інстинктом самозбереження; b) війна як засіб від «загнивання» суспільства: Г. Гегель зазначає, що у період тривалого миру приватні інтереси, власність і комфорт починають домінувати над загальним благом. Війна запобігає індивідуалізму і нагадує громадянам про потребу єдності з цілим (державою); c) етичний момент війни: саме війна позбавляє людей від зацикленості їх уваги на матеріальних речах і благах та змушує відчути «владу господаря-смерті», підпорядковуючи приватне загальному [2, с. 140]. У «Енциклопедії філософських наук» (1817) Г. Гегель систематизує свої погляди на державу та міжнародні відносини. Найбільш важливі аспекти його вчення про державу: a) абсолютний суверенітет держави: держава є вираженням моральної ідеї. Оскільки кожна держава суверенна, над нею немає вищої судової або виконавчої влади (наддержавного органу); b) природа міжнародного права: міжнародне право, за Г. Гегелем, має характер зобов'язання, а не безумовного закону. Воно базується на договорах між суверенними державами [3, с. 271]. Якщо інтереси держав суттєво зіштовхуються і договір порушується, єдиним арбітром стає війна; c) критика кантівської ідеї «вічного миру»: Г. Гегель вважає ідею І. Канта про створення всесвітньої федерації для запобігання війнам утопічною, оскільки вона передбачає наявність суду, який стоїть над суверенними державами, що суперечить самій природі суверенітету. У творі «Основи філософії права» (1821) Г. Гегель виклав вже цілісну й системну концепцію міжнародного права, суверенітету, війни та миру. Ось ключові ідеї цієї праці: a) зовнішнє право держави: Г. Гегель стверджує, що держава є індивідуальністю, яка утверджує себе щодо інших держав. Оскільки над суверенними державами немає вищого арбітра чи законодавця (претора), суперечки між ними за відсутності згоди розв'язуються війною; b) сутність війни: війна розглядається не як випадкове лихо чи просте зло, а як «моральний момент». Вона нагадує людині про кінечність приватного майна та життя, запобігає стагнації суспільства у часи довготривалого миру («як вітер заважає озеру гнити»); c) межі війни та умови миру: Г. Гегель заперечує тотальну війну. Війна має вестися між державами (їхніми арміями), а не проти цивільних осіб чи інститутів приватного права [1, с. 290]. Вона повинна зберігати можливість майбутнього миру. У творі «Основи філософії права» для Г. Гегеля феномени війни та миру є не просто зовнішньополітичними подіями, а виступають необхідними внутрішніми моментами розвитку держави (саме у цьому і полягав діалектичний підхід Г. Гегеля). Війна у Г. Гегеля – це діалектичне

випробування та відновлення здорового стану держави через: a) заперечення партикулярності: війна примушує індивіда усвідомити, що його приватна власність, комфорт і навіть життя не є абсолютними цінностями, а мають бути підпорядковані існуванню цілого (держави); b) етична мужність: військовий стан втілює вищу мораль – здатності віддати життя за загальне благо без особистої ненависті до ворога; c) очищення системи: війна нагадує про плинність речей і повертає суспільству відчуття спільноти та обов'язку. Г. Гегель формулює поняття війни через призму відносин між суверенними державами. Для нього війна – це не прояв дикості чи беззаконня, а взаємодія між суверенними індивідуальностями (державами). Оскільки вищого міжнародного суду чи наддержавної влади (яку пропонував І. Кант) не існує, єдиним арбітром у відносинах між державами стає «Світова історія» [1, с. 291]. Отже, у своєму творі «Основи філософії права» Г. Гегель здійснив глибокий аналіз такого соціального феномену як війна. Проблеми війни та миру мислитель тісно пов'язував з політико-правовою діяльністю держави. Основною причиною війни і військових конфліктів Г. Геґель вважав існуючі суперечності між державами, а оскільки суперечності об'єктивно притаманні суспільству, війна є постійним атрибутом розвитку суспільства.

Таким чином, можна зробити такі висновки щодо гегелівського аналізу питань миру і війни: а) філософський аналіз Г. Гегелем питань війни та миру відрізняється від просвітницьких ідеалів (зокрема від ідеї «вічного миру» І. Канта); b) Г. Гегель заперечує ідеал абстрактного пацифізму, вважаючи проєкт «вічного миру» (у тому числі І. Канта) утопічним, оскільки він передбачав існування наддержавного союзу, що суперечить природі абсолютно суверенної держави [1, с. 289–290]. Г. Гегель розглядає війну не як випадкове лихо чи моральне зло, а як діалектичну необхідність, яка сприяє та стимулює розвиток суверенної держави. Війна у Г. Гегеля – це не мета, а діалектичний механізм очищення суспільства від занепаду, спосіб перевірки міцності державного орган та засіб утвердження історичної суб'єктності. Особливу увагу Г. Гегель звертає на дотримання міжнародного права під час війни. Він визнавав принципи міжнародного права щодо дотримання кожною державою підписаних угод, які дають можливість уникати конфліктів та війн. Розкриваючи діалектику взаємозв'язку війни і миру німецький мислитель тісно пов'язує її з внутрішньою і зовнішньою політикою держав. Отже, Г. Гегель є прихильником ідеї сильної держави, яка здатна гідно захистити себе від будь-якого агресора.

Література

[1] Гегель Г.В.Ф. Основи філософії права або природне право і державознавство. Київ: Юніверс , 2000. 33 с.

[2] Гегель Г. В. Ф. Феноменологія духу. Київ: Основи, 2004. 54 с.

[3] Hegel G. W. F. Philosophy of Mind : A revised version of the Wallace and Miller translation / ed. by M. Inwood. Oxford : Oxford University Press, 2010. 322 p.

THE DIALECTICS OF WAR AND PEACE IN THE PHILOSOPHICAL SYSTEM OF GEORG HEGEL

Marushchak O.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Annotation. the Hegelian dialectical approach to the issues of war and peace has sparked intense debate and controversy for nearly two centuries. Consequently, this study examines the evolution of Hegel's understanding of the phenomena of war and peace, tracing it from his early writings to mature, classic philosophical works. It analyzes the Hegelian dialectic of war and peace within the context of his conception of the political and legal activities of sovereign states and the challenge of peaceful coexistence among nations.

Keywords: G. Hegel, war, perpetual peace, philosophy of right, morality.

УДК 378.4(477.73)(092)

ІСТОРІОГРАФІЯ ТА ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА З ДОСЛІДЖЕННЯ НАУКОВОЇ І ПЕДАГОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОФЕСОРА ПЕТРА ТРИГУБА В МИКОЛАЇВСЬКОМУ ПЕДАГОГІЧНОМУ ІНСТИТУТІ (1982–1997 РР.)

Федоренко М.О.,
кандидат історичних наук,
доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
m.o.fedorenko@gmail.com

Анотація. Розглянуто історіографію та джерела, з наукової і педагогічної діяльності Петра Микитовича Тригуба. Професора, доктора історичних наук, Миколаївського педагогічного інституту імені В. Г. Бєлінського, періоду 1982–1997 рр.

Ключові слова: Петро Микитович Тригуб, Миколаївський педагогічний інститут, історичний факультет, Українське краєзнавство.

Наукова новизна полягає в залученні, під час дослідження, широкого кола архівних документів, що зберігаються в Державному архіві Миколаївської області, та архіві Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Що дозволило суттєво доповнити попередні наукові розвідки життєвого шляху Петра Микитовича Тригуба та надати більш цілісну картину його внеску в розвиток української історичної науки.

Сучасна українська історична наука є результатом кропіткої праці багатьох поколінь українських істориків, які своїми дослідженнями збагачували її зміст, відкриваючи нові шляхи пізнання історії як українського народу окремо, так і усій людської цивілізації загалом. Перед української історичної наукою завжди стояло завдання збереження наукової спадщини видатних науковців, як в знак пошани їх наукового внеску, так і заради подальшого її розвитку. Досліджуючи творчий шлях вітчизняних істориків, становлення яких відбувалось у другій половині 20 століття, необхідно згадати у яких складних умовах формувалась їх наукова і громадянська позиція. Важке дитинство під час Другої світовій війни, нужденна хоч і щаслива студентська юність, пошук свого місця у самостійному буремному житті, випробування та перешкоди під час становлення непересічними особистостями. Аналізуючи процес формування їх як науковців, еволюцію поглядів на історичні події, необхідно враховувати той шалений тиск комуністичної ідеології, під яким вони находились починаючи з самого дитинства. Викладання історичних дисциплін, в університетах і педагогічних інститутах, скрізь призму марксистсько-ленінської ідеології та рішень партійних з'їздів та пленумів ЦК КПРС. Нав'язування штучних заідеологізованих тем дисертаційних і подальших наукових досліджень. Але незважаючи на цю зовнішню, нелюдську ломку світогляду, багатьом з них, завдяки власному розуму та нестандартному критичному мисленню, вдалося вийти з ідеологічного тупикового лабіринту і полишити по собі безцінну наукову спадщину для нащадків. Прикладом подібної долі є біографія видатного українського історика, краєзнавця, доктора історичних наук, професора Петра Микитовича Тригуба (27.06.1935 – 26.12.2016 рр.)

Основні публікації, що були присвячені наукової та педагогічної діяльності Петра Микитовича Тригуба, починають з'являтися на початку 21 століття. Це своєрідні перши спроби дослідження його життєвого шляху і головним чином вони були присвячені ювілейним датам. Авторами статей виступають дослідники, які безпосередньо знали Петра Микитовича, були його колегами по роботі, друзями, однодумцями. До вказаних публікацій відносяться статті С. Проня, Т. Пронь, Л. Вовчук та М. Михайлуци [1, с. 2; 2, с. 128-132; 3, с. 112–114; 4, с. 284–288]. Усі зазначені статі надають коротку біографію Петра Микитовича, головним чином спираючись на особисті та його власні спогади, якими він ділився з ними під час спілкування, а також мемуари професора. В статтях окреслені етапи життєвого шляху, відображена їх специфіка. Надана оцінка науковим досягненням, внеску в розвиток вітчизняного краєзнавства. Але слід зазначити , що дослідники не ставили перед собою мету комплексного дослідження біографії Петра Микитовича і майже не використовували архівні матеріали. Виключенням є лише вказані статті Л. Вовчук, яка скористалася матеріалами архіву Миколаївської обласної організації Національної спілки краєзнавців України (далі НСКУ) та родинним архівом Тригубів.

Достатньо коротку інформацію про біографію Петра Микитовича Тригуба містять у собі різні довідникові видання. До цієї групи публікацій відносяться матеріали що підготували дослідники Л. Шепель, Л. Вовчук, І. Павлік[5, с. 238–239; 6, с. 406–409; 7, с. 147]. Головним чином вони повідомляють про освіту, місця роботи та головні наукові праці Петра Микитовича. Найбільш докладна інформація міститься у дослідженні Л. Вовчук. Аналогічна за структурою і змістом біографічна довідка про професора,

яка міститься у навчальному посібнику «Миколаївці: визначні історики і краєзнавці Минулого», за авторством В. Шкварця [8, с. 4].

Найбільш цінними публікаціями, щодо біографії Петра Микитовича Тригуба, є його власні спогади, які було видано у двох варіантах під назвами, «Стежками власної долі» [9] що вийшли з друку у 2005 році та доповнений і перероблений варіант у вигляді монографії «На освітянській ниві» 2015 року [10]. Обидва мемуари повною мірою розкривають власний погляд автора на власне життя, від раннього дитинства до зрілого віку, зі всіма позитивними та негативними подіями. Спогади містять у собі безліч цікавих фактів, як про самого автора так і про багатьох відомих людей, з якими він спілкувався, підтримував дружні стосунки протягом життя. Широко представлені документи з родинного архіву. Можна певно стверджувати, що мемуари Петра Микитовича є важливішим інформаційним джерелом при вивченні історії його видатного життя.

Щодо безпосередньо архівних джерел, то необхідно визначити наступні. Особова справа Тригуба Петра Микитовича, яка з частиною архіву Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського, внаслідок злиття, зберігається у складі архіву Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова [11]. Справу розпочато 21 вересня 1982 року , останній документ датується 04 вересня 2000 року. У справі містяться документи, що безпосередньо пов'язані з роботою Петра Микитовича Тригуба в Миколаївському педагогічному інституті. Заяви на ім'я ректора, автобіографія, особистий листок по обліку кадрів, різні звіти з кафедральної та наукової роботи, копії дипломів та атестатів, списки наукових праць тощо. Крім Особової справи, великий пласт інформації міститься у справах архіву Миколаївського педагогічного інституту Ф. Р-993. Оп. 1-2, що зберігаються у Державному архіві Миколаївської області, за 1982–1998 рр. Зокрема були досліджені протоколи засідань Ради Миколаївського педагогічного інституту, плани роботи педінституту, звіти про науково-дослідну роботу педінституту, протоколи засідань Ради історичного факультету, протоколи засідань кафедри історії СРСР і УРСР, звіти з наукової роботи кафедр історичного факультету. Таким чином можна певно стверджувати, що джерельна база дослідження достатньо репрезентативна.

В цілому можна зазначити, що вивчення життєвого шляху і наукової спадщини Петра Микитовича Тригуба в цілому потребує подальшого дослідження з залученням архівних документів, що зберігаються в архівах України.

Література

[1] Пронь С. В., Пронь Т. М. Слово про вченого (до 75-річного ювілею професора Петра Микитовича Тригуба). *Рідне Прибужжя (Миколаїв).* 2010. 26 червня. С. 2.

[2] Вовчук Л. 30 років на краєзнавчої ниві Миколаївщини (нарис до біографії Петра Микитовича Тригуба). *Краєзнавство.* НСКУ; Ін-т історії НАНУ. 2011. № 3. С. 128-132.; Вовчук Л. А. До ювілею Петра Микитовича Тригуба. *Наукові праці: науково-методичний журнал.* Вип. 251. Т. 264. Історія. Миколаїв: Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 20215. С. 112-114.

[3] Михайлуца М. Петро Микитович Тригуб – краєзнавець з «Могилянки». *Краєзнавство.* НСКУ; Ін-т історії НАНУ. 2017. № 1-2. С. 284-288.

[4] Українські історики XX століття. *Бібліографічний довідник* / Інститут історії НАН України. Київ, 2006. Вип. 2, ч. 3. С. 238-239.

[5] Дослідники історії Південної України. *Бібліографічний довідник* / упоряд. Ігор Лиман. Київ, 2016. Т. 2. С. 406-409.

[6] Биографическая энциклопедия Николаевской области. 2014-2019 гг. Книга третья. Серия; Элита Николаевской области в 10-ти томах. Том 3 / за ред. С. М. Сухопарова. Николаев: Издательский дом «Слаж», 2020. С. 147.

[7] Шкварець В. П. Миколаївці: визначні історики і краєзнавці минулого. Навчальний посібник. Миколаїв: Видавництво МДГУ ім. Петра Могили, 2004. С. 4.

[8] Тригуб П.М. Стежками власної долі. Миколаїв: Видавництво МДГУ ім. Петра Могили, 2005, 13 с.

[9] Тригуб П. М. На освітянської ниві. Монографія. Харків: PromArt, 2015. 18 с.

[10] Архів Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Особова справа Тригуба Петра Микитовича. Без пагінації.

HISTORIOGRAPHY AND SOURCE BASE FOR THE STUDY OF THE SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL ACTIVITIES OF PHD PETRO TRYHUB AT THE MYKOLAIV PEDAGOGICAL UNIVERSITY DURING 1982–1977

Fedorenko M. O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The article examines the historiography and sources regarding scientific and pedagogical activities of Petro Mykytovych Tryhub – PHD of Historical Sciences at the V. H. Belinsky Mykolaiv Pedagogical University – during 1982–1997.

Keywords: Petro Mykytovych Tryhub, Mykolaiv Pedagogical University, Department of History, Ukrainian local history studies.

УДК 159.9

АКТУАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ПСИХОЛОГІВ В УМОВАХ ВІЙНИ

Чугуєва І.Є.,
кандидат психологічних наук, доцент кафедри психології
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
inna.chuhuieva@nuos.edu.ua

Анотація. За допомогою експертного аналізу визначено види психологічної діяльності, які є необхідними в умовах війни і виконуються в рамках роботи психологів в гуманітарних організаціях. В цей перелік входять наступні види психологічної діяльності: перша психологічна допомога, заходи з базової та фокусованої психосоціальної підтримки для різних категорій бенефіціарів, психоедукаційні сесії, психологічне консультування, психологічний тренінг, психологічний супровід лікування або реабілітації, кризові психологічні інтервенції, в тому числі дебрифінг, кризове консультування, дефьюзинг, групові психологічні сесі, в тому числі групи підтримки для різних проблемних категорій осіб, перенаправлення до спеціалістів більш високого рівня кваліфікації в разі необхідності. Відповідно до цих вимог професійна підготовка психологів в умовах війни повинна включати в себе розвиток певних видів професійних компетенцій.

Ключові слова: психолог в гуманітарних організаціях, професійна підготовка, вимоги професійної діяльності, психологічна допомога, психосоціальна підтримка.

В умовах війни психологи, які працюють в гуманітарних організаціях повинні уміти надавати психологічну допомогу різним категоріям: особам, які пережили травматичні події, наприклад особам, які перебували в окупації, які зазнали насильства і тортур, особам в кризі втрати (втрата близьких, втрата житла, втрата здоров'я, поранення), учасникам бойових дій, які зазнали бойового стресу та пережили гостру стресову реакцію, особам, які вимушено покинули своє місце проживання, родичам зниклих безвісти, родичам осіб, які знаходяться в полоні, особам, які розлучені з близькими і родичами.

Також на психологів в гуманітарних організаціях покладається зобов'язання підтримувати команди цих організацій, зокрема волонтерів, проводити сесії для формування навичок психологічної самодопомоги та протидії емоційного вигорання, інформаційні сесії з турботи про себе та турботи про команду.

Все це змушує сучасних українських психологів бути готовими до цих викликів, вміти надавати екстрену психологічну допомогу, застосовувати для цього дієвий інструментарій, працювати з різними категоріями бенефіціарів усіх вікових груп з урахуванням їх особливостей і специфіки реальної життєвої ситуації. Також викликом в психологічній роботі є те, що переважна більшість психологів навчалися в університетах орієнтуючись на практику мирного часу, аж ніяк не воєнного, тому й практична підготовка до професійної діяльності здійснювалася в контексті мирного часу та його задач. А сучасним практикуючим психологам сьогодні треба не тільки враховувати контекст воєнного часу, а й розуміти виклики наслідків війни та післявоєнного часу.

Проблематика сучасної практичної психології містить багато досліджень, які присвячені негативним наслідкам впливу потужних психотравматичних подій, таких як війна, причому не тільки у військовослужбовців, а й у цивільного населення (Н. А. Агаєв, О. М. Кокун, Н. С. Лозінська, І. О. Пішко [1], І. І. Приходько [2] та ін.). Серед ймовірних проблем, з яким стикаються психологи в роботі з негативними наслідками психотравматичного досвіду найчастіше вказують на такі: тривожні розлади, панічні розлади, депресії, порушення контролю, спалахи агресивності, зловживання психоактивними речовинами та інші форми залежності тощо (О. І. Романчук [3], N. Breslau, E. L. Peterson, R. C. Kessler, L. R. Schultz [4] та ін.).

Для того, щоб з'ясувати сучасні вимоги до практикуючого психолога, який виконує професійну діяльність в контексті війни було проведено експертний аналіз, який дозволив зібрати матеріали, які висвітлюють функціональні, структурні, змістовні, нормативні і психологічні аспекти професійної діяльності. Ці відомості розкривають загальну характеристику професійної діяльності і вимоги до практикуючих психологів у воєнний час.

В якості експертів були обрані фахівці напряму ПЗПСП (психічне здоров'я та психосоціальна підтримка) з провідних гуманітарних організацій, які здійснюють рятувальну, допомагаючу, гуманітарну, соціально спрямовану діяльність в Миколаївській області (є прифронтовою) під час війни: Миколаївська обласна організація Товариства Червоного Хреста України, «Янголи спасіння», «Посмішка», «10 квітня», "Save the children", "Handy Cup", «Карітас», «Де Поль», "DRC", «Молодь України» – всього 10 експертів.

В результаті проведеного експертного аналізу були зібрані експертно-аналітичні дані.

Для фахівців в галузі практичної психології в умовах війни експерти визначили головні види діяльності, які повинні уміти здійснювати психолог гуманітарних організаціях:

1. перша психологічна допомога (під час надзвичайних ситуацій, в складі мобільних бригад швидкого реагування);
2. проведення заходів з базової психосоціальної підтримки різним категоріям бенефіціарів (з елементами творчость, з елементами пізнавальної активності, з елементами фізичної активнсоті);
3. проведення фокусованої психосоціальної підтримки для різних категорій бенефіціарів (для внутрішньопереміщених осіб, для родичів військових, для осіб,що були в окупаці тощо);
4. проведення психоедукаційних сесій (з проблематики, яка зумовлена специфікою групи);
5. проведення інформаційних сесій (для різних категорій бенефіціарів за запитом групи);
6. індивідуальне психологічне консультування (різних катеорій клієнтів);
7. проведенн психологічних тренінгів (для волонтерів і співробітників гуманітарних організацій, а також для співробітників державних установ, що надають соціальні послуги населенню, медикам, освітянам тощо);
8. психологічний супровід осі, що знаходяться в складних життєвих обставинах внаслідок війни і потребують психологічної допомоги;
9. кризове консультування (індивідуальне);
10. дебрифінг (після кризової події проводиться для групи учасників події);
11. дефьюзинг (після кризової події з малими групами учасниів)
12. проведення групових психологічних сесій (для різних категорій населення з метою психопрофілактики);
13. проведення груп підтримки для різних проблемних категорій осіб (для учасників бойових дій, для родичів зниклих безвісти, для осіб з втратами, для родичів осіб, що перебувають в полоні, для сімей ввйськових і ветеранів);
14. перенаправлення до спеціалістів більш високого рівня кваліфікації в разі необхідності (для осіб, що потребують психотерапевтичної або психіатричної допомоги, в разі необхідності надання юридичної, правової допомоги, в разі виявлення випадків гендернозумовленого насильства, тортур, суїцидальнох поведінки, загрози життю, здоровью, честі ’ гідності бенефіціарів або інших осіб).

Весь цей перелік видів професійної діяльності психолога, який працює в сфері гуманітарної допомоги населенню в умовах війни має бути засвоєний майбутніми психологами в процесі їх професійної підготовки. Однак він є не вичерпаним, бо сьогодні також надзвичайно актуальною постає проблема психологічної реабілітації ветеранів і цивільних громадян, які пережили травматичні події пов’язані з війною. Ознайомлення з цими професійними задачами і підготовка до них, вивчення їх алгоритмів і певних психологічних технологій, прийомів, протоколів є головним предметом підготовки психологів під час війни.

Література

1. Кокун О. М., Агаєв Н. А., Пішко І. О., Лозінська Н. С., Остапчук В. В. Психологічна робота з військовослужбовцями – учасниками АТО на етапі відновлення: Методичний посібник. Київ, 2017. 28 с.
2. Приходько І. І. Система профілактики та контролю бойового стресу у військовослужбовців. *Вісник Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Психологія*. 2018. Вип. 1.
3. Романчук О. Психотравма та спричинені нею розлади: прояви, наслідки й сучасні підходи до терапії (матеріали семінару НейроNews). URL: https://i-cbt.org.ua/wp-content/uploads/2017/11/Romanchuk_PTSD.pdf
4. Breslau, N., Peterson, E. L., Kessler, R. C., Schultz, L. R. (1999). Short screening scale for DSM-IV posttraumatic stress disorder. *American Journal of Psychiatry*. 156 (6):908–911.

CURRENT REQUIREMENTS FOR THE PROFESSIONAL TRAINING OF PSYCHOLOGISTS IN WARTIME CONDITIONS

Chuhueva I.I.
National University of Shipbuilding after Admiral Makarov

Abstract. Expert analysis has identified the types of psychological activities that are essential in wartime and are carried out by psychologists working in humanitarian organizations. This list includes the following types of psychological activities: psychological first aid; basic and focused psychosocial support measures for various categories of beneficiaries; psychoeducational sessions; psychological counseling; psychological training; psychological support during treatment or rehabilitation; crisis psychological interventions (including debriefing, crisis counseling, and defusing); group psychological sessions (including support groups for individuals facing specific challenges); and referral to higher-level specialists when necessary. In accordance with these requirements, the professional training of psychologists in wartime conditions must include the development of specific professional competencies.

Keywords: psychologist in humanitarian organizations, professional training, professional practice requirements, psychological assistance, psychosocial support.

СЕКЦІЯ 10. ПРАВОВІ ІННОВАЦІЇ НА ЗАХИСТІ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

УДК 342.7:34(091)

ЕВОЛЮЦІЯ КОНСТИТУЦІЙНИХ ПРАВ І СВОБОД: ІСТОРИКО-ПРАВОВИЙ АСПЕКТ

Дубинський О.Ю.,
доктор юридичних наук, професор,
заслужений працівник освіти України
e-mail: dubinskiy_oleg@ukr.net
Бортник Н.П.,
доктор юридичних наук, професор,
e-mail: bnp1969n@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Досліджується еволюція конституційних прав і свобод, які є ключовими елементами правових систем держав. Визначено, що їхнє походження сягає давніх цивілізацій, проте найбільш значущі зміни відбулися у XX столітті, коли спостерігався активний розвиток цих прав. У сучасному контексті конституційні права і свободи зазнають постійних змін під впливом глобалізації, технологічного прогресу та соціальних трансформацій. Зокрема, нові виклики, такі як захист персональних даних, забезпечення свободи інформації в умовах цифровізації та права меншин, вимагають адаптації існуючих правових норм. Ці аспекти підкреслюють необхідність постійного оновлення та вдосконалення правових систем для адекватного реагування на сучасні виклики.

Ключові слова: конституційні права і свободи, гарантії захисту прав і свобод, права і свободи в цифрову епоху.

Конституційні права і свободи є фундаментальною складовою правової системи будь-якої держави. Вони виступають як гарантії захисту особи від неправомірного втручання держави та інших суб'єктів права у приватну сферу. Історія розвитку конституційних прав і свобод відображає еволюцію правових систем та суспільних відносин, і є важливим аспектом для розуміння сучасних правових інститутів.

Історія конституційних прав і свобод сягає своїм корінням у давні цивілізації. Вже у Стародавній Греції та Римі існували певні зачатки правового захисту особи, хоча вони були обмежені соціальними класами та не мали універсального характеру. Першими документами, які можна вважати прообразами сучасних конституцій, були Великі хартії вольностей (Magna Carta) 1215 року в Англії. Цей документ заклав основи принципу верховенства права та обмеження влади монарха [1, с. 220–224].

З початком Нового часу, в епоху Просвітництва, ідеї природних прав людини набули значного поширення. Філософи Джон Локк, Шарль Луї де Монтеск'є та Жан-Жак Руссо підкреслювали важливість індивідуальних свобод та необхідність їхньої охорони державою [2]. Ці ідеї знайшли своє відображення у конституційних актах XVIII століття, таких як Декларація незалежності США (1776) [3] та Декларація прав людини і громадянина Франції (1789), яку науковці справедливо називають предтечею правової і політичної культури сьогодення [4, с. 202-203].

Варто підкреслити, що XX століття стало етапом інтенсивного розвитку конституційних прав і свобод. Після Другої світової війни міжнародна спільнота усвідомила необхідність створення універсальних стандартів захисту прав людини. У 1948 році була прийнята Загальна декларація прав людини [5], яка стала основою для подальшого розвитку міжнародного права у цій сфері. Водночас, у другій половині XX століття багато держав прийняли нові конституції або внесли зміни до існуючих, щоб відобразити нові стандарти захисту прав людини. Зокрема, в Європі була створена Європейська конвенція з прав людини (1950) [6], яка стала важливим інструментом захисту прав людини на континенті.

У сучасному світі конституційні права і свободи постійно еволюціонують під впливом глобалізації, технологічного прогресу та змін у суспільстві. Новітні виклики, такі як захист персональних даних, свобода інформації в цифровому середовищі та права меншин, потребують адаптації правових систем. Водночас, зростає роль міжнародних організацій у забезпеченні дотримання конституційних прав і свобод. Організація Об'єднаних Націй, Європейський Союз та інші міжнародні інститути активно працюють над розробкою нових стандартів і механізмів захисту прав людини.

Отже, еволюція конституційних прав і свобод є складним і багатогранним процесом, що відображає розвиток суспільства та його цінностей. Від перших спроб обмеження влади монарха до сучасних міжнародних стандартів захисту прав людини, цей процес демонструє постійну боротьбу за свободу та гідність кожної особи. Сучасні виклики вимагають від нас не лише збереження досягнутих стандартів, але й активного пошуку нових рішень для забезпечення прав людини в умовах глобалізації та технологічного прогресу.

Література

[1] Паталаха І. О. Судові гарантії прав людини в конституційних актах Великобританії. *Науковий вісник Ужгородського Національного Університету. Серія ПРАВО.* 2024. Вип. 85: ч. 1. С. 220–224.

[2] Історія держави і права зарубіжних країн: хрестоматія-практикум: навч. посіб. / авт. кол.: І. А. Логвиненко, Ю. О. Загуменна, О. А. Гавриленко та ін.; за заг. ред. О. М. Бандурки; МВС України, Харків. Нац. ун-т внутр. справ. Харків: Майдан, 2023. 90 с.

[3] A Declaration by the Representatives of the United States in America, in General Congress assembled. URL: https://billofrightsinstitute.org/primary-sources/declaration-of-independence/?gad_source=1&gad_campaignid=24111086081&gbraid=0AAAAAC2Yh3VNQMnj5E83--9uFu2w85rcY&gclid=Cj0KCQjw4orUBhCjARIsAIbF3qw3C1de_YwdHCPSI4G-N2OQyGINj6fV1CggNiFi2htW7i1SlJI0_FIaArHAEALw_wcB

[4] Зінченко О. Декларація прав людини і громадянина 1789 р. – предтеча правової і політичної культури сьогодення. Вісник Національного університету «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого». Серія: Філософія, філософія права, політологія, соціологія. 2013. № 3. С. 202–203. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnyua_2013_3_33

[5] Загальна декларація прав людини. Прийнята і проголошена резолюцією 217 А (III) Генеральної Асамблеї ООН від 10 грудня 1948 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_015#Text

[6] Конвенція про захист прав людини і основоположних свобод (з протоколами) (Європейська конвенція з прав людини) від 04 листопада 1950 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_004#Text

THE EVOLUTION OF CONSTITUTIONAL RIGHTS AND FREEDOMS: HISTORICAL-LEGAL ASPECT

Dubinsky O.Yu., Bortnyk N.P.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The study examines the evolution of constitutional rights and freedoms, which constitute key elements of state legal systems. While their origins trace back to ancient civilizations, the most significant changes marked by active development occurred in the 20th century. In the contemporary context, constitutional rights and freedoms are undergoing constant change driven by globalization, technological progress, and social transformations. In particular, emerging challenges such as personal data protection, ensuring freedom of information amidst digitalization, and minority rights necessitate the adaptation of existing legal norms. These aspects underscore the need for the continuous updating and refinement of legal systems to effectively address modern challenges.

Keywords: constitutional rights and freedoms, guarantees for the protection of rights and freedoms, rights and freedoms in the digital age.

УДК 349.2

ПРОЄКТ ТРУДОВОГО КОДЕКСУ УКРАЇНИ: ПЕРСПЕКТИВИ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ РИНКУ ПРАЦІ

Дубова К.О.,
кандидат юридичних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
kateryna.dubova@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах висвітлено основні аспекти реформування трудового законодавства України в контексті інтеграції до європейського ринку праці та виконання вимог Переговорного розділу 19 «Соціальна політика та зайнятість». Проаналізовано основні новели проєкту Трудового кодексу України. Обґрунтовано, що ухвалення нового кодексу є вирішальним кроком для модернізації економіки та розбудови сучасного, соціально справедливого ринку праці європейського зразка.

Ключові слова: Трудовий кодекс України, адаптація до законодавства ЄС, трудовий договір, недискримінація, рівність прав.

Вступна частина. Розробка та підготовка до ухвалення нового Трудового кодексу України є одним із ключових інструментів інтеграції нашої держави в європейський ринок праці, що прямо відповідає цілям Переговорного розділу 19 «Соціальна політика та зайнятість» у межах вступу України до ЄС. У описі до Переговорного розділу 19 зазначається, що досвід ЄС у соціальній сфері включає мінімальні стандарти у сферах трудового права, рівності, охорони праці та боротьби з дискримінацією [1].

Мета роботи. Дослідити ключові напрями та новели реформування трудового законодавства України в контексті адаптації до права Європейського Союзу.

Основна частина. Дійсно, реформа трудового законодавства є нагальною необхідністю, оскільки спрямована на заміну застарілого радянського Кодексу законів про працю, що був прийнятий ще у 1971 році, та повноцінну адаптацію національного законодавства до законодавства Європейського Союзу.

На початку 2026 року заступниця Міністра економіки, довкілля та сільського господарства України Дарія Марчак у інтерв'ю «Інтерфакс», зазначала, що проєкт Трудового кодексу передбачає рівний захист трудових прав для всіх працівників, незалежно від громадянства, та повну відповідність нормам і директивам Європейського Союзу [2].

Ключовим напрямом реформи є нормативно-правова гармонізація, серед якої особливе місце посідають Директива (ЄС) 2019/1152 про прозорі та передбачувані умови праці в Європейському Союзі [3] та Директива 2003/88/ЄС щодо деяких аспектів організації робочого часу [4].

Частина 1 статті 46 проєкту Трудового кодексу України закріплює, що трудовий договір незалежно від його виду укладається у письмовій формі державною мовою у двох примірниках (по одному примірнику для кожної зі сторін), якщо інше не передбачено законом, а частина 3 цієї ж статті вказує, що трудовий договір, укладений в електронній формі із накладенням кваліфікованого електронного підпису або удосконаленого електронного підпису, що базується на кваліфікованому сертифікаті електронного підпису за допомогою технічних засобів електронних комунікацій вважається укладеним у письмовій формі [5].

Проєкт Трудового кодексу України закріплює 9 видів трудових договорів. Серед існуючих видів включені і нові види трудових договорів, зокрема, учнівський трудовий договір, трудовий договір про сезонну роботу та трудовий договір про тимчасову (агентську) роботу [5].

За проєктом Трудового кодексу України тривалість щорічної основної відпустки становитиме не менше як 28 днів за кожен відпрацьований робочий рік проти 24 днів на сьогодні [5].

Угода про нерозголошення – новела у майбутньому трудовому законодавстві України. Як зазначається у частині другій статті 51 проєкту Трудового кодексу України, якщо виконання трудових обов'язків працівника пов'язане з доступом до комерційної таємниці чи іншої захищеної законом інформації, до змісту трудового договору можуть включатися умови про нерозголошення такої інформації та/або укладатися відповідна угода (угода про нерозголошення) [5].

Окрему увагу в проєкті Трудового кодексу України приділено питанням рівності прав і системному захисту працівників. У проєкті закладено механізми недискримінації, запобігання та протидії мобінгу (цькуванню) й харасменту (домаганням) на робочому місці, що повністю відповідає вимогам Директиви (ЄС) 2023/970 про посилення застосування принципу рівної оплати за рівну працю або працю рівної цінності для чоловіків та жінок через прозорість оплати праці та механізми дотримання [6] та Директиви (ЄС) 2006/54/ЄС про реалізацію принципу рівних можливостей та рівного ставлення до чоловіків і жінок у питаннях зайнятості та професії [7].

Невід'ємним компонентом реформи є цифровізація кадрових процедур, яка передбачає перехід на електронний документообіг та скасування застарілих бюрократичних вимог для бізнесу [2]. Усі цифрові інструменти обліку праці узгоджуються з вимогами щодо захисту персональних даних та інтегруються з інформаційними системами Пенсійного фонду України та Державної служби України з питань праці [2]. Прийняття нового Трудового кодексу стане вирішальним кроком для закриття Переговорного розділу 19 [1], сприятиме модернізації економіки та закладе основу для побудови соціально справедливого ринку праці європейського зразка.

Висновки. Підсумовуючи, можна стверджувати, що запропонована реформа трудового законодавства базується на трьох основних засадах:

1. Гармонізація з нормами ЄС та гнучкість;
2. Захист прав та рівність;
3. Цифровізація.

Прийняття нового Трудового кодексу України є необхідним кроком для модернізації застарілого законодавства та ключовим елементом євроінтеграції у межах Переговорного розділу 19 «Соціальна політика та зайнятість». Кодекс не лише наблизить Україну до членства в ЄС, а й створить сучасний, прозорий та соціально-справедливий ринок праці, захищений від дискримінації та адаптований до викликів цифрової економіки.

Література

[1] Conditions for membership / Chapters of the acquis. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/enlargement-policy/conditions-membership/chapters-acquis_en

[2] Оновлений Трудовий кодекс – один із основних інструментів інтеграції України в європейський ринок праці. URL: https://me.gov.ua/News/Detail/76eda4da-3493-40bf-93cf-70c849c6eb95?lang=uk-UA&title=OnovleniiTrudoviiKodeksOdinIzOsnovnikhInstrumentivIntegratsiiUkrainiVvropeiskiiRinokPratsi&utm

[3] Directive (EU) 2019/1152 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on transparent and predictable working conditions in the European Union. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1152/oj/eng

[4] Directive 2003/88/EU of the European Parliament and of the Council of 4 November 2003 concerning certain aspects of the organisation of working time. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/88/oj/eng

[5] Проєкт Трудового кодексу України. URL: blob:https://itd.rada.gov.ua/79c00cb6-a7ba-4a64-a0da-0704a69c9213

[6] Directive (EU) 2023/970 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 to strengthen the application of the principle of equal pay for equal work or work of equal value between men and women through pay transparency and enforcement mechanisms. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/970/oj/eng

[7] Directive 2006/54/EU of the European Parliament and of the Council of 5 July 2006 on the implementation of the principle of equal opportunities and equal treatment of men and women in matters of employment and occupation. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32006L0054

DRAFT LABOR CODE OF UKRAINE: PROSPECTS OF EUROPEAN INTEGRATION AND MODERNIZATION OF THE LABOR MARKET

Dubova K.O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. These abstracts outline the key aspects of reforming Ukraine's labor legislation in the context of integration into the European labor market and compliance with the requirements of Negotiating Chapter 19, "Social Policy and Employment." The main novelties of the draft Labor Code of Ukraine are analyzed. It is argued that the adoption of the new code is a crucial step toward modernizing the economy and building a modern, socially just labor market aligned with European standards.

Keywords: Labor Code of Ukraine, adaptation to EU legislation, employment contract, non-discrimination, equality of rights.

УДК 342.93

ПРОБЛЕМНІ ИТАННЯ АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЬНО-НАГЛЯДОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ, ОРГАНІЗАЦІЇ ТРУДОВИХ ВІДНОСИН ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗЕМЕЛЬНОЇ РЕФОРМИ В УКРАЇНІ

Борко А.Л.,

доктор юридичних наук, професор,

професор кафедри права факультету міжнародних відносин та права

Хмельницького національного університету м. Хмельницький, Україна

anbork@ukr.net

Анотація. проблемні питання адміністративно-правового забезпечення та контрольно-наглядової діяльності, організації трудових відносин під час проведення земельної реформи в Україні сьогодні пов'язані з недосконалістю державного управління земельними відносинами та недостатньою швидкістю прийняття управлінських рішень у сфері організації трудових відносин. Підготовка кадрів, землевпорядної документації та недостатність нормативно-правового забезпечення, відсутність сталої судової практики, а особливо в умовах воєнного стану є проблемою. Необхідно терміново прийняти нові нормативно-правові акти з метою удосконалення адміністративно-правового забезпечення у сфері земельних відносин.

Ключові слова: умови правового режиму воєнного стану, земельна реформа, організація трудових відносин, захист прав працівників, охорона земель, контрольно – наглядова діяльність, зміни в законодавстві, державне управління, судова практика, рішення ВП ВС.

Тривалий час наша країна знаходиться у стані повномасштабної війни. Безумовно, це складний час і реалії, в яких опинилась країна, постійно вимагають прийняття швидко непростих рішень. Швидкість прийняття цих рішень іноді залежить від законодавчої гілки влади, іноді від Кабінету Міністрів України, іноді від особистих професійних якостей керівника. Щоб забезпечити функціонування держави в умовах воєнного стану, мінімізувати кризові явища в різних сферах суспільних відносин, було прийнято ряд законодавчих змін. Сфера земельних відносин не залишилась поза увагою. Так, 24.03.2022 р. прийнято Закон України № 2145-IX. Фактично, зазначеним законом встановлено альтернативну процедуру передачі в оренду земельних ділянок сільськогосподарського призначення в період воєнного стану. Згідно цього закону в договорі оренди не зазначається кадастровий номер земельної ділянки, а сама ділянка вважається сформованою лише на період дії договору оренди, після чого припиняє бути об'єктом цивільних прав. Право оренди за цим законом не підлягає державній реєстрації. Натомість державній реєстрації підлягає сам договір оренди, і така реєстрація здійснюється районною військовою адміністрацією. [1] Очевидно, що з початком повномасштабної війни кількість проблемних питань у сфері земельних відносин тільки збільшилась. Розглянемо ці проблеми в контексті адміністративно-правового забезпечення та контрольно-наглядової діяльності у сфері земельних відносин. Серед найгостріших проблем наразі залишаються: підготовка кваліфікованих кадрів, збереження потенціалу існуючих кадрів, недосконаліть державного управління земельними відносинами, у тому числі й стосовно контролю за раціональним використанням і охороною земель, недостатня розвиненість автоматизованої системи ведення Держкадастру, брак дієвого механізму економічного стимулювання використання й охорони земель [2].

Тривалий час очікує свого вирішення проблема встановлення меж державного втручання в регулювання відносин власності на землю, а також забезпечення використання земельних ділянок із дотриманням принципу законності як одного з найважливіших конституційних принципів. Головні проблеми у сфері контролю за раціональним використанням і охороною земель значною мірою зумовлені незавершеністю процесу інвентаризації і автоматизації ведення державного земельного кадастру, та недостатністю нормативно-правового забезпечення, майже повною відсутністю освітньої та просвітницької роботи на усіх рівнях, відсутність необхідної кількості підготовлених кадрів [3].

Істотним недоліком сучасного стану нормативно-правової бази є значне переважання норм, закріплених у підзаконних нормативно-правових актах тоді, як ефективне регулювання контрольно-наглядової діяльності у земельних відносинах, як і взагалі управління земельною сферою, можливе лише на підставі відповідних законодавчих актів, що мають містити в собі прозорі механізми реалізації повноважень відповідними органами влади ,не допускати дублювання функцій в питаннях здійснення контролю [4].

Крім того, аналіз особливостей правового регулювання трудових відносин у сфері застосування земельного законодавства України під час дії правового режиму воєнного стану необхідно здійснювати через призму зміни звичних механізмів укладення, зміни та припинення трудового договору, оскільки воєнний стан спричинив появу спеціальних правових новел, пов'язаних з організацією праці у сільськогосподарській сфері, необхідністю розширення повноважень роботодавця та зміною балансу між стабільністю трудового договору і потребою безперервного функціонування підприємств. Аналіз особливостей правового регулювання трудових відносин у сфері застосування земельного законодавства під час дії правового режиму воєнного стану охоплює не лише зміст законодавчих змін, а й їх вплив на фактичний обсяг трудових прав і гарантій працівника [5].

Таким чином, на сучасному етапі розвитку земельного законодавства передбачено адміністративну ,цивільну або кримінальну відповідальність за цілу низку порушень у сфері правового регулювання трудових відносин у сфері застосування земельного законодавства України [6] В цілому можна відзначити, що розвиток законодавства України в частині адміністративної відповідальності за порушення у сфері земельних відносин відбувається шляхом посилення відповідальності за окремі види порушень та розширення переліку видів адміністративних порушень, за які настає відповідальність [7]. При цьому необхідно взяти до уваги, що законом № 2145-IX від 24.03.2022 р. встановлена альтернативна процедура передачі в оренду земельних ділянок сільськогосподарського призначення в період дії воєнного стану.

Крім того, законом № 2247-IX від 12.05.2022 р. внесено зміни в ЗК України та збільшено перелік осіб, яким надається право на одержання в оренду без проведення земельних торгів земельної ділянки і це приводить до більшої кількості зловживань, потребує реакції держави на них [8].

Уже не перший рік триває активний період формування судової практики у сфері земельних відносин. Так, наприклад згідно постанови ВП ВС від 18 квітня 2023 р. у справі № 357/8277/19 ВП ВС уточнила попередній правовий висновок ВС України й зазначила, що договір є укладеним із моменту досягнення згоди щодо всіх його істотних умов, проте речове право оренди виникає після здійснення держреєстрації такого права. Ця постанова цікава та важлива ще тим, що в ній було надано тлумачення і порядок застосування ст.27 Закону України «Про оренду землі». Зокрема, орендареві забезпечується захист його права на орендовану земельну ділянку нарівні із захистом права власності на земельну ділянку [9].

Таким чином, наразі до ключових завдань із вдосконалення заходів щодо усунення порушень земельного законодавства, покращення організації трудових відносин в цій сфері в умовах воєнного стану, слід віднести посилення відповідальності за використання земельних ділянок без оформлення права власності або права користування за винятком випадків передбачених Законами України № № 2145-IX, 2247-IX та запровадження ефективних механізмів запобігання зловживанням під час приватизації земельних ділянок, укладення правочинів, організації трудових відносин у сільському господарстві, покращення захисту прав працівників у випадку призупинення дії трудового договору в умовах воєнного стану, що в сукупності з іншими заходами безумовно приведе до посилення контрольно-наглядової діяльності держави у сфері земельних відносин.

Література

[1] Закон України «Про внесення змін до законодавчих актів України щодо створення умов для забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану» від 24.03.2022 р. № 2145-IX. https://zakon.rada/gov.ua/. С. 1–4.

[2] Конституція України : від 28.06.1996 р., № 254к/96-ВР. *ВВР України*. 1996. № 30. 1, ст. 13–16, 41–42.

[3] Пахомов В.В. Монографія. Адміністративно-правове забезпечення діяльності у сфері земельних відносин. Суми / Сумський державний університет, 2016. 2. С. 545.

[4] Оверковська Т.К. Моніторинг земель України: правові аспекти / Т.К. Оверковська. *Юридичний вісник*. 2015. № 1 (15). 3, с. 125–129.

[5] Кравченко О.В. До питання особливостей організації трудових відносин в умовах воєнного стану. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право.* 2024. Т.2. № 84. С. 100–105.https://doi.org/10.24144/2307-3322/2024.84.2.12

[6] Пахомов В.В. Класифікація видів контрольно-наглядової діяльності у сфері земельних відносин / В.В. Пахомов. *Публічне право*. Київ, 2011. № 3. 4. С. 101–107.

[7] Земельний Кодекс України. *Верховна рада України.* Офіційний веб-портал. //https/ iportal.rada.gov.ua/ 5, ст. 153–158.

[8] Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо особливостей регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану» від 12.05.2022 р. № 2247-IX. https://zakon.rada/ gov.ua/ 1-3, p. 1, ст. 43.

[9] Національна Асоціація Адвокатів України. E-mail: info@unba.org.ua. Судова практика від 19.07.2023 року.

CHALLENGING ISSUES REGARDING ADMINISTRATIVE-LEGAL SUPPORT, CONTROL AND SUPERVISORY ACTIVITIES, AND THE ORGANIZATION OF LABOR RELATIONS DURING LAND REFORM IN UKRAINE

Andriy Leonidovych Borko

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

Abstract. the most acute problems of land reform are related to the imperfect state management of land relations. The problem is the preparation of land management documentation and insufficient regulatory and legal support. It is necessary to urgently adopt new normative legal acts in order to improve administrative and legal support and improve the control and supervisory function of the state in the field of land relations.

Keywords: martial law, evacuation land reform, land protection, control and supervision activities, organization of labor relations, state administration.

УДК 351.86:342.9:355.01(477)

ПРАВОВІ ІННОВАЦІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗМІЦНЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Година О.І.,
викладач кафедри суспільних наук
Херсонського навчально-наукового інституту
gai84349@gmail.com
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. Досліджено роль правових інновацій у зміцненні національної безпеки України в умовах воєнного стану. Визначено основні напрями трансформації правового регулювання у сфері захисту критичної інфраструктури, кібербезпеки, цифрових технологій та протидії сучасним гібридним загрозам. Обґрунтовано необхідність поєднання оперативності безпекових рішень із дотриманням принципів верховенства права та захисту прав людини. Визначено перспективи подальшої адаптації безпекового законодавства України до правових стандартів Європейського Союзу.

Ключові слова: правові інновації, національна безпека, воєнний стан, критична інфраструктура, кібербезпека, цифрові докази, правове регулювання.

Воєнні загрози характеризуються комплексністю та поєднують військові дії з кібератаками, інформаційним впливом, диверсіями, економічним тиском і цілеспрямованим руйнуванням критичної інфраструктури. За таких умов правова система повинна не лише реагувати на вже реалізовані загрози, а й створювати механізми їх попередження.

Правові інновації у сфері національної безпеки доцільно розглядати як запровадження нових норм, процедур, правових режимів та інструментів, спрямованих на оперативне реагування держави на принципово нові види загроз. Їх особливістю в умовах війни є необхідність поєднання швидкості прийняття рішень із забезпеченням законності та юридичної визначеності.

Базові засади функціонування сектору безпеки та оборони визначені Законом України «Про національну безпеку України» [1]. Водночас повномасштабна війна засвідчила необхідність подальшого розвитку спеціальних правових механізмів, орієнтованих на захист населення, територій, інформаційного простору та стратегічно важливих об’єктів.

Одним із пріоритетних напрямів є правовий захист критичної інфраструктури. Закон України «Про критичну інфраструктуру» сформував основи відповідної національної системи та визначив категорії об’єктів, повноваження суб’єктів і принципи їх захисту [2]. В умовах систематичних атак на енергетичні, транспортні, телекомунікаційні та інші об’єкти особливого значення набуває формування єдиних вимог до оцінювання ризиків, планів реагування і відновлення.

Другим напрямом є правове регулювання кібербезпеки. Цифровізація державного управління одночасно створює нові можливості та підвищує залежність від інформаційних систем. Кібератаки на державні реєстри, банки, енергетичні компанії та телекомунікаційну інфраструктуру здатні спричиняти наслідки, співставні з фізичним ураженням об’єктів. Тому законодавство має забезпечувати чіткий розподіл відповідальності між суб’єктами кібербезпеки, оперативний обмін інформацією та належний захист державних інформаційних ресурсів [3].

Новим викликом є використання штучного інтелекту, великих масивів даних та автоматизованих систем аналізу інформації у сфері безпеки. Такі технології можуть застосовуватися для прогнозування ризиків, виявлення аномальної активності та аналізу значних інформаційних потоків. Водночас їх використання потребує правового визначення меж автоматизованого прийняття рішень, відповідальності за помилки алгоритмів та гарантій захисту персональних даних.

Окремого значення набуває розвиток правового режиму цифрових доказів. Воєнні злочини дедалі частіше документуються за допомогою електронних повідомлень, фото- і відеоматеріалів, супутникових даних, цифрових платформ та відкритих джерел. Відповідно, необхідними є стандартизовані процедури отримання, зберігання, перевірки автентичності та використання цифрової інформації у кримінальному провадженні.

Правові інновації в умовах воєнного стану мають також забезпечувати баланс між інтересами національної безпеки та правами людини. Конституційна можливість тимчасового обмеження окремих прав не повинна перетворюватися на невизначене розширення повноважень державних органів. Безпекові заходи мають відповідати принципам законності, необхідності, пропорційності та підконтрольності.

Удосконалення системи правового забезпечення національної безпеки доцільно здійснювати за такими напрямами: розвиток ризик-орієнтованого правового регулювання; удосконалення захисту

критичної інфраструктури; формування сучасної нормативної бази використання штучного інтелекту у безпековій сфері; стандартизація процедур роботи з цифровими доказами; посилення міжвідомчого обміну безпековою інформацією; адаптація законодавства до стандартів ЄС і НАТО; забезпечення парламентського, судового та громадського контролю у сфері безпеки.

Отже, в умовах воєнного стану правові інновації стають не просто способом оновлення законодавства, а інструментом підвищення адаптивності всієї системи національної безпеки. Їх ефективність визначається здатністю держави оперативно формувати правові відповіді на нові загрози, не відступаючи при цьому від фундаментальних принципів верховенства права.

Подальша модернізація безпекового законодавства має ґрунтуватися на поєднанні технологічних можливостей, міжнародного досвіду, європейських правових стандартів та національних інтересів. Це створюватиме правову основу не лише для протидії поточним воєнним загрозам, а й для формування сучасної системи національної безпеки України у довгостроковій перспективі.

Література

[1]. Про національну безпеку України: Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text (дата звернення: 01.09.2026).

[2]. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text (дата звернення: 05.09.2026).

[3]. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України: Закон України від 05.10.2017 № 2163-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text (дата звернення: 02.09.2026).

[4]. Про правовий режим воєнного стану: Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text (дата звернення: 02.09.2026).

[5]. European Commission. *Ukraine – EU Enlargement Policy*. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/ukraine_en (дата звернення: 05.09.2026).

[6]. NATO Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence. *Ukraine*. URL: https://ccdcoe.org (дата звернення: 03.09.2026).

LEGAL INNOVATIONS AS A TOOL FOR STRENGTHENING UKRAINE'S NATIONAL SECURITY UNDER MARTIAL LAW

Godyna Oleksii

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The role of legal innovations in strengthening Ukraine's national security under martial law is examined. The main areas of transformation of legal regulation in the protection of critical infrastructure, cybersecurity, digital technologies and countering modern hybrid threats are identified. The need to combine the effectiveness of security decisions with the principles of the rule of law and human rights protection is substantiated. Prospects for further adaptation of Ukraine's security legislation to the legal standards of the European Union are outlined.

Keywords: legal innovations, national security, martial law, critical infrastructure, cybersecurity, digital evidence, legal regulation.

УДК 342.724

ЗАГАЛЬНІ ПРАВА І СВОБОДИ ЛЮДИНИ ТА ГРОМАДЯНИНА ЯК ОСНОВА ПРАВОВОГО СТАТУСУ НАЦІОНАЛЬНИХ МЕНШИН

Достдар Р.М.,
к. ю. н., доц., завідувачка кафедри Морського та господарського права,
dostdar.r@gmail.com,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
Козловський А.Р.,
студент магістратури Факультету морського права
andrijromanovih@gmail.com
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

Анотація. В тезах досліджено загальні права і свободи людини та громадянина як основу правового статусу національних меншин в Україні. Проаналізовано особисті, політичні, соціально-економічні, культурні, мовні та релігійні права, гарантовані Конституцією України та національним законодавством. Розкрито значення міжнародних стандартів у сфері захисту прав людини. Обґрунтовано, що система

загальних прав і свобод забезпечує рівність, недискримінацію та повагу до людської гідності представників національних меншин незалежно від їхнього етнічного походження.

Ключові слова: національні меншини, права людини, права і свободи, правовий статус, рівність, недискримінація, етнічна належність, міжнародні стандарти.

Вступна частина. Нині питання прав етнічних і релігійних меншин є актуальним для багатьох європейських держав, у яких через політичні, історичні обставини сформувався багатонаціональний склад населення. Не є винятком й Україна, на території якої проживають представники понад 130 національностей і народностей, питома вага яких серед усього населення становить 20 відсотків.

Права і свободи людини становлять фундамент конституційного ладу України, визначають зміст діяльності держави та її зобов'язання щодо забезпечення рівності всіх громадян незалежно від етнічного походження.

Метою дослідження є визначення загальних прав і свобод людини та громадянина як основи правового статусу національних меншин.

Основна частина. Права національних меншин є невід'ємною частиною загальної системи прав людини, і тому особи, які належать до національних меншин, користуються всіма правами і свободами української нації, але, згідно з Рамковою конвенцією про захист національних меншин, вони можуть мати деякі специфічні права, які відрізняються від прав більшості громадян держави [1, с. 23]. Зокрема, це права в тих сферах, де вони проявляють себе як особлива етнічна група, а саме збереження своєї національної належності, етнічної, культурної, мовної та релігійної самобутності. В свій час ці питання досліджували О. Зеленський, А.С. Ігнатова, Д.І. Карп, Ю. Кириченко, А. Мхітарян та інші вітчизняні науковці.

Україна, як демократична, правова та соціальна держава, згідно зі статтею 3 Конституції, визнає людину, її життя і здоров'я, честь і гідність, недоторканність та безпеку найвищою соціальною цінністю. Це означає, що права кожної особи, незалежно від раси, національності чи етнічної належності, мають бути забезпечені на рівних умовах, а будь-які прояви дискримінації є неприпустимими. Стаття 24 Конституції України прямо встановлює рівність громадян перед законом і забороняє будь-які привілеї чи обмеження за ознакою раси, кольору шкіри, етнічного або соціального походження, мови, релігії та інших характеристик. Таким чином, у правовій системі України закладено міцні гарантії загальних прав і свобод людини, що охоплюють політичні, соціальні, економічні, культурні та особисті права.

До базових особистих прав, гарантованих усім громадянам, незалежно від їх етнічного походження, належать право на життя (ст. 27 Конституції), право на повагу до гідності (ст. 28), право на свободу та особисту недоторканність (ст. 29), недоторканність житла (ст. 30) та таємниця листування (ст. 31). Ці права є універсальними та невід'ємними, вони захищають людину від свавільного втручання держави у приватну сферу та забезпечують базові умови для її фізичної та моральної недоторканності. Жодні обмеження цих прав не можуть ґрунтуватися на етнічних критеріях, адже Конституція встановлює принцип індивідуального підходу до кожної особи та забороняє колективну відповідальність.

Особливу роль у забезпеченні прав людей різного етнічного походження відіграє право на свободу світогляду і віросповідання (ст. 35 Конституції), яке включає можливість сповідувати будь-яку релігію або не сповідувати жодної, здійснювати релігійні обряди, створювати релігійні організації. Етнічні групи можуть мати свої традиційні релігії, і держава зобов'язана забезпечити їхнє вільне існування. При цьому забороняється будь-яке примушування до участі у релігійних обрядах або відмови від них. Цей принцип повністю відповідає статті 9 Європейської конвенції про захист прав людини і основоположних свобод (1950), яка є частиною національного законодавства України відповідно до статті 9 Конституції [2, с. 195].

Ключову роль у розвитку етнокультурних груп відіграє свобода вираження поглядів, гарантована статтею 34 Конституції України, що охоплює право збирати, зберігати та поширювати інформацію, зокрема рідною мовою. Додатковою гарантією є заборона обмеження доступу до інформації за етнічною чи національною ознакою, встановлена статтею 10 Закону України «Про інформацію».

Українське законодавство гарантує свободу об'єднань у політичні партії, громадські та культурні організації (ст. 36 Конституції), що дає представникам етнічних груп можливість захищати свої інтереси та розвивати мову і культуру. Політичні права, зокрема право брати участь в управлінні державними справами, обирати і бути обраним (ст. 38 Конституції), гарантуються всім громадянам незалежно від їхнього етнічного походження.

Як зазначає Д.І. Карп, соціально-економічні права становлять один із найбільш важливих блоків загальних прав людини, що гарантуються державою. Право на працю (ст. 43 Конституції) забезпечує можливість вільно обирати професію, отримувати рівну оплату за працю рівної цінності без дискримінації. Закон України «Про засади запобігання та протидії дискримінації в Україні» (2012) встановлює заборону будь-яких обмежень у сфері праці за етнічною ознакою. Так само гарантується право на соціальний захист (ст. 46), що включає пенсійне забезпечення, соціальні виплати, допомогу у разі безробіття, інвалідності чи

втрати годувальника. Усі ці гарантії є універсальними та рівними для громадян різних національностей [3, с. 172].

Право на охорону здоров'я (ст. 49 Конституції) та медичну допомогу також не допускає дискримінаційних критеріїв. Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» у статті 6 проголошує рівність громадян у доступі до медичних послуг. Це особливо важливо для представників етнічних груп, які можуть мати специфічні культурні або релігійні потреби, пов'язані з медичними традиціями.

Право на освіту (ст. 53 Конституції) гарантується всім громадянам, і держава зобов'язана забезпечувати доступність та безоплатність повної загальної середньої освіти. Закони «Про освіту» та «Про повну загальну середню освіту» містять положення щодо можливості вивчення мов національних меншин у школах, що сприяє підтриманню етнокультурної ідентичності. При цьому освіта має бути недискримінаційною, а освітні стандарти – однаковими для всіх [4, с. 47–52].

Не менш значущим є право на культурну діяльність (ст. 54 Конституції), яке включає свободу творчості, доступ до культурних цінностей, можливість збереження та розвитку традицій. Це право рівною мірою стосується представників усіх етнічних груп. Держава сприяє створенню культурних центрів, музеїв, виданню літератури мовами національних меншин, що закріплено в Законі «Про національні меншини (спільноти) України».

Україна дотримується міжнародних стандартів захисту прав людини та рівності без дискримінації за етнічною ознакою. Важливими гарантіями є Рамкова конвенція Ради Європи про захист національних меншин (1995) та Європейська хартія регіональних мов або мов меншин (1992), спрямовані на збереження мовного і культурного різноманіття.

Важливу роль у захисті прав людей різного етнічного походження відіграють національні інституції, такі як Уповноважений Верховної Ради України з прав людини, який здійснює контроль за дотриманням прав і свобод та розглядає скарги на дискримінацію.

Висновки. Отже, загальні права і свободи, гарантовані громадянам України незалежно від їхнього етнічного походження, утворюють цілісну систему правових норм, спрямованих на забезпечення рівності, недискримінації та поваги до людської гідності. Міжнародні стандарти прав людини, до яких приєдналася Україна, посилюють ці гарантії та зобов'язують державу створювати умови для всебічного розвитку особистості, незалежно від її етнічної належності.

Література

[1] Кириченко Ю., Зеленський О. Права національних меншин за конституціями України та європейських держав. *Науковий вісник Дніпровського державного університету внутрішніх справ*. 2024. № 3. С. 22–27.

[2] Мхітарян А. Правосуб'єктність національних меншин як суб'єктів конституційного права. *Підприємництво, господарство і право*. 2017. № 2. С. 194–197.

[3] Карп Д. І. Конституційно-правовий статус національних меншин у сучасній доктрині конституціоналізму: проблеми визначення та інтерпретації. *Соціальне право*. 2018. № 2. С. 170–174.

[4] Ігнатова А. С. Конституційно-правові аспекти мовної політики щодо національних меншин в Україні. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. Серія: Юридичні науки. 2024. № 8. С. 47–52.

THE UNIVERSAL RIGHTS AND FREEDOMS OF THE INDIVIDUAL AND THE CITIZEN AS THE FOUNDATION OF THE LEGAL STATUS OF NATIONAL MINORITIES

Dostdar R., Kozlovskyi A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS)

Abstract. This abstract examines the universal rights and freedoms of the individual and the citizen as the basis for the legal status of national minorities in Ukraine. It analyses the personal, political, socio-economic, cultural, linguistic and religious rights guaranteed by the Constitution of Ukraine and national legislation. The significance of international standards in the field of human rights protection is highlighted. It is argued that the system of universal rights and freedoms ensures equality, non-discrimination and respect for the human dignity of members of national minorities, regardless of their ethnic origin.

Keywords: national minorities, human rights, rights and freedoms, legal status, equality, non-discrimination, ethnicity, international standards.

УДК 342.7:341.23

МІЖНАРОДНО-ПРАВОВІ ТА НАЦІОНАЛЬНІ МЕХАНІЗМИ ЗАХИСТУ ПРАВ ЗАКОРДОННИХ УКРАЇНЦІВ

Достдар Р.М.,
к. ю. н., доц., завідувачка кафедри Морського та господарського права,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
dostdar.r@gmail.com,
Рог С.В.,
студент магістратури Факультету морського права
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ironhunter11@gmail.com

Анотація. В тезах досліджені міжнародно-правові та національні механізми захисту прав закордонних українців. Проаналізовані нормативно-правові, адміністративні та судові засоби захисту, а також роль Уповноваженого Верховної Ради України з прав людини у забезпеченні прав і свобод закордонних українців. Розкрито особливості міжнародно-правового захисту прав українців за кордоном з урахуванням юрисдикції держав проживання, міжнародних договорів та стандартів прав людини.

Ключові слова: закордонні українці, правовий статус, захист прав, міжнародно-правові механізми, національні механізми, адміністративне оскарження, судовий захист, права людини.

Вступна частина. Проблематика захисту прав закордонних українців займає особливе місце в системі дослідження їх правового статусу, оскільки саме наявність ефективних засобів захисту визначає практичну цінність нормативно закріплених прав.

Метою дослідження є визначення міжнародно-правових та національних механізмів захисту прав закордонних українців.

Основна частина. У науковій літературі зазначається, що правовий статус закордонного українця не може розглядатися виключно як сукупність прав, свобод та обов'язків. Його невід'ємною складовою є система юридичних гарантій, за допомогою яких забезпечується реалізація та відновлення порушених прав [1, с. 384]. Ю. М. Бисага, Д. М. Бєлов та К. О. Нечипорук, досліджуючи конституційно-правовий статус закордонних українців, поділяють гарантії їх прав на економічні, політичні, соціальні, ідеологічні та юридичні. При цьому юридичні гарантії автори умовно поділяють на нормативно-правові та організаційно-правові [1, с. 385–386]. Такий підхід має принципове значення для характеристики механізмів захисту, оскільки демонструє їх багаторівневу природу: захист прав не обмежується можливістю звернення до суду, а охоплює комплекс правових та інституційних засобів.

На нашу думку, це положення дає підстави розмежувати забезпечення та захист прав. Забезпечення передбачає створення державою нормативних, організаційних та процедурних умов для реалізації права, тоді як захист актуалізується у випадку його порушення, невизнання або створення перешкод у його здійсненні. Саме тому механізм захисту має розглядатися як функціональне продовження механізму правового забезпечення.

Важливим є те, що правовий статус закордонного українця відрізняється від статусу громадянина України. Як підкреслюють Ю. М. Бисага, Д. М. Бєлов та К. О. Нечипорук, подальший розвиток конституційно-правового статусу закордонних українців є перспективним напрямом правового регулювання, а позитивний зарубіжний досвід може бути використаний для вдосконалення українського законодавства [1, с. 385–386]. Отже, механізми захисту повинні враховувати особливу юридичну природу цього статусу.

Нормативною основою національного захисту є стаття 10 Закону України «Про закордонних українців». Її частина друга встановлює обов'язок органів державної влади, органів місцевого самоврядування та їх посадових осіб забезпечувати реалізацію прав закордонних українців під час їх перебування в Україні (ч. 2 ст. 10). Відповідно до частини третьої цієї статті рішення, дії чи бездіяльність відповідних суб'єктів щодо питань, пов'язаних із перебуванням закордонних українців в Україні, можуть бути оскаржені в суді (ч. 3 ст. 10).

Отже, законодавець прямо закріплює судовий механізм захисту прав закордонних українців. При цьому його значення не обмежується можливістю скасування незаконного рішення. Судовий контроль забезпечує перевірку законності діяльності суб'єктів публічної адміністрації та створює юридичну гарантію від свавільного втручання у права особи.

Дослідники адміністративно-правового статусу особи наголошують, що адміністративні процедури є одним із ключових засобів забезпечення взаємодії особи з державою. У цьому контексті праця

К. В. Степаненко є важливою для розуміння того, що реалізація прав закордонних українців залежить від належної діяльності суб'єктів публічної адміністрації [2, с. 75–79].

Застосування адміністративного оскарження має особливе значення саме для закордонних українців, оскільки дозволяє забезпечити додатковий рівень контролю за адміністративними рішеннями без необхідності негайного звернення до суду. Закон України «Про адміністративну процедуру» передбачає можливість адміністративного оскарження адміністративних актів особою, права або законні інтереси якої ним зачіпаються (ст. 78). У поєднанні зі спеціальними положеннями Закону України «Про закордонних українців» це створює дворівневу модель національного захисту: адміністративну та судову.

Окремий напрям національного захисту пов'язаний із діяльністю Уповноваженого Верховної Ради України з прав людини. Наукові дослідження сучасної системи захисту прав людини свідчать про важливість інституту парламентського контролю як додаткової гарантії у відносинах особи з державою. Застосування цього механізму щодо закордонних українців відповідає загальній конституційній природі інституту Уповноваженого та не залежить виключно від наявності спеціального статусу.

Міжнародний аспект захисту прав закордонних українців має іншу правову природу. Якщо в межах української юрисдикції держава може безпосередньо застосовувати власне законодавство, то за кордоном її діяльність обмежена принципами суверенітету та невтручання у внутрішні справи інших держав.

Саме тому міжнародно-правовий захист прав закордонних українців необхідно розглядати у двох взаємопов'язаних площинах: по-перше, як захист прав людини відповідно до міжнародних договорів; по-друге, як діяльність України щодо захисту прав українських громад у державах їх проживання.

К.О. Нечипорук, досліджуючи конституційно-правовий статус закордонних українців зазначає про необхідність адаптації державної політики до сучасних трансформацій українського закордонного середовища [3]. Такий підхід є важливим, оскільки захист прав закордонних українців фактично виходить за межі індивідуального правового спору та набуває значення складової державної політики щодо української діаспори.

Т. О. Гнатюк також звертає увагу на значення державної політики щодо закордонного українства та необхідність використання потенціалу української діаспори у взаємодії з державою [4, с. 36]. З правової точки зору це свідчить про необхідність поєднання індивідуальних і колективних аспектів правового забезпечення українців за кордоном.

При цьому закордонний українець як особа, що перебуває за межами України, може користуватися міжнародними механізмами захисту прав людини відповідно до юрисдикції держави проживання та умов відповідного міжнародного договору. Отже, міжнародно-правовий захист не залежить безпосередньо від наявності посвідчення закордонного українця, а ґрунтується передусім на універсальному принципі належності основних прав кожній людині.

Висновки. Таким чином, міжнародно-правовий і національний механізми захисту перебувають у тісному взаємозв'язку, однак не є тотожними. Національні механізми передбачають безпосереднє застосування українського законодавства та діяльність українських органів публічної влади. Міжнародні механізми ґрунтуються на міжнародних зобов'язаннях держав, міжнародних стандартах прав людини та відповідних процедурах міжнародного контролю.

Література

[1] Бисага Ю. М., Бєлов Д. М., Нечипорук К. О. Закордонні українці та біженці: співвідношення конституційно-правового статусу. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2023. № 2. С. 380–386.

[2] Степаненко К. В. Адміністративно-правовий статус закордонних українців. *Право і суспільство*. 2014. № 6-2. Ч. 1. С. 75–79.

[3] Нечипорук К. О. Закордонні українці та біженці: співвідношення конституційно-правового статусу. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2023. № 2. С. 380–386.

[4] Гнатюк Т. О. Політика України щодо закордонного українства: невикористаний потенціал для розвитку. *Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»]*. Серія: Політологія. 2014. Вип. 236 (Т. 248). С. 34–38.

THE INTERNATIONAL LEGAL AND NATIONAL MECHANISMS FOR THE PROTECTION OF THE RIGHTS OF FOREIGN-BASED UKRAINIANS

Dostdar R., Roh S.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS)

Abstract. This abstract examines the international legal and national mechanisms for the protection of the rights of foreign-based Ukrainians. It analyses regulatory, administrative and judicial remedies, as well as the role of the Ukrainian Parliament Commissioner for Human Rights in safeguarding the rights and freedoms of foreign-based Ukrainians. It examines the specific features of the protection of the rights of foreign-based Ukrainians under

international law, taking into account the jurisdiction of their countries of residence, international treaties and human rights standards.

Keywords: foreign-based Ukrainians, legal status, protection of rights, international legal mechanisms, national mechanisms, administrative appeals, judicial protection, human rights.

УДК 341.3

ПРОБЛЕМИ ПРИТЯГНЕННЯ ДО ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ПОРУШЕННЯ ПРАВИЛ ВЕДЕННЯ ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Достдар Р.М.,
к. ю. н., доц., завідувачка кафедри Морського та господарського права,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
dostdar.r@gmail.com,
Цимбалюк А.О.,
студентка магістратури Факультету морського права
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
nastya.hitmenwe@gmail.com

Анотація. В тезах досліджені сучасні проблеми притягнення до відповідальності за порушення правил ведення збройних конфліктів в умовах російської агресії проти України. Проаналізовано проблеми юридичної кваліфікації воєнних злочинів, доказування, встановлення відповідальних осіб, застосування командної відповідальності, притягнення до відповідальності осіб, які перебувають за кордоном, та міжнародного співробітництва. Обґрунтовано необхідність комплексного поєднання національних і міжнародних механізмів кримінального переслідування за умови дотримання процесуальних гарантій та забезпечення невідворотності відповідальності.

Ключові слова: правила ведення збройних конфліктів, воєнні злочини, кримінальна відповідальність, доказування, командна відповідальність, міжнародне співробітництво.

Вступна частина. Ефективність правил ведення збройних конфліктів визначається не лише встановленням міжнародно-правових заборон, а й можливістю забезпечити реальну відповідальність за їх порушення. Особливої актуальності ця проблема набуває для України в умовах триваючої російської агресії, коли органи правосуддя стикаються зі значною кількістю кримінальних проваджень щодо порушень правил ведення збройних конфліктів. Основними проблемами при цьому є юридична кваліфікація діянь, доказування, встановлення конкретних винних осіб, притягнення командирів та інших начальників, а також забезпечення міжнародного співробітництва.

Метою дослідження є визначення проблем притягнення до відповідальності за порушення правил ведення збройних конфліктів у сучасних умовах.

Основна частина. Основні проблеми з забезпечення юридичної визначеності воєнних злочинів досліджували в своїх працях такі вітчизняні вчені як Є. Бондаренко, А. Бориславська, К. Задоя, С. Кудінов, О. Марін, Р. Шехавцов та інші.

На нашу думку, проблема юридичної визначеності полягає не стільки у відсутності єдиного універсального поняття воєнного злочину, скільки у необхідності забезпечення узгодженості між міжнародними правилами та національними нормами кримінального права. Правозастосувач повинен мати можливість чітко встановити, яке правило ведення збройного конфлікту було порушено, у чому полягає протиправність конкретного діяння та які елементи складу кримінального правопорушення необхідно довести.

Не менш складною є проблема доказування. Особливості розслідування воєнних злочинів зумовлені тим, що значна частина правопорушень вчиняється на тимчасово окупованих територіях або в районах активних бойових дій. Через це слідчі та прокурори не завжди мають можливість безпосередньо оглянути місце події, отримати первинні документи або допитати всіх очевидців.

С. С. Кудінов та Р. М. Шехавцов зазначають, що розслідування воєнних злочинів характеризується значним обсягом інформації, масовістю кримінальних правопорушень, необхідністю взаємодії різних органів та використання міжнародного співробітництва [1, с. 328–329]. У таких умовах особливого значення набувають цифрові докази, фото- та відеоматеріали, супутникові знімки, інформація з відкритих джерел, електронні документи та результати експертиз.

Водночас використання цифрової інформації потребує належного встановлення її походження, автентичності та способу отримання. Тому ефективність розслідування залежить не лише від кількості зібраних матеріалів, а й від їх належного процесуального оформлення та можливості подальшого використання в суді.

Окрему проблему становить встановлення відповідальних осіб. У багатьох випадках безпосередній виконавець злочину може бути встановлений, однак значно складніше довести роль осіб, які віддавали накази, організовували злочинну діяльність або не вживали необхідних заходів для запобігання злочинам підлеглих.

У цьому контексті особливого значення набуває інститут командної відповідальності. А. Бориславська підкреслює, що його зміст не зводиться до автоматичної відповідальності командира за будь-які дії підлеглих. Необхідно встановити наявність відповідного контролю, обізнаність або можливість обізнаності про злочинну поведінку та невиконання передбачених міжнародним і національним правом обов'язків [2, с. 80].

О. Марін звертає увагу на складність імплементації командної відповідальності в українське кримінальне право та необхідність її розмежування з традиційними формами співучасті [3, с. 91]. К. П. Задоя також наголошує на необхідності визначення конкретних умов відповідальності військових командирів та інших начальників [4, с. 228].

Таким чином, сам факт перебування особи на командній посаді не може бути достатньою підставою для її кримінальної відповідальності. Необхідно довести наявність передбачених законом умов відповідальності, зокрема реального контролю над підлеглими та невиконання відповідного обов'язку щодо запобігання або припинення злочинів.

Ще однією проблемою є притягнення до відповідальності осіб, які перебувають за межами України. Значна кількість підозрюваних у вчиненні воєнних злочинів може перебувати на території російської федерації або інших держав. За таких обставин виникають об'єктивні перешкоди для їх затримання та передачі українським органам правосуддя.

Українське кримінальне процесуальне законодавство передбачає можливість спеціального досудового розслідування та спеціального судового провадження за відсутності обвинуваченого за встановлених законом умов. Водночас застосування таких процедур повинно поєднуватися із забезпеченням права на захист та інших гарантій справедливого судового розгляду. Отже, невідворотність відповідальності не повинна досягатися шляхом зниження процесуальних стандартів.

Важливим напрямом подолання зазначених проблем є міжнародне співробітництво. Є. Бондаренко наголошує на необхідності координації дій України з міжнародними інституціями у сфері документування та розслідування воєнних злочинів [5, с. 217]. Таке співробітництво охоплює обмін доказами, проведення процесуальних дій за кордоном, встановлення місцезнаходження підозрюваних та взаємодію з міжнародними кримінальними інституціями.

Важливе значення має також взаємодія України з Міжнародним кримінальним судом. Водночас діяльність МКС не повинна розглядатися як заміна національного правосуддя. Відповідно до принципу комплементарності саме національні органи мають першочергову відповідальність за розслідування та переслідування осіб, підозрюваних у вчиненні міжнародних злочинів. Міжнародні механізми покликані доповнювати національну систему у випадках, коли вона об'єктивно не може забезпечити належне кримінальне переслідування.

Окремим викликом залишається масштаб воєнних злочинів, який створює значне навантаження на органи досудового розслідування, прокуратуру, суди та експертні установи. У таких умовах необхідним є визначення пріоритетності проваджень з урахуванням тяжкості злочину, його масштабності, ролі підозрюваного та значення конкретної справи для встановлення системного характеру порушень.

Висновки. Отже, сучасна практика притягнення до відповідальності за порушення правил ведення збройних конфліктів характеризується комплексом взаємопов'язаних проблем: юридичною кваліфікацією, доказуванням, встановленням ролі командирів, притягненням осіб, які перебувають за кордоном, міжнародним співробітництвом та значним навантаженням на систему правосуддя.

На нашу думку, ефективність відповідальності має оцінюватися не лише кількістю відкритих кримінальних проваджень або обвинувальних вироків. Важливішими критеріями є якість доказування, правильність правової кваліфікації, встановлення всіх причетних осіб та дотримання процесуальних гарантій. Саме комплексне поєднання національних і міжнародних механізмів здатне забезпечити реальну невідворотність відповідальності за порушення правил ведення збройних конфліктів.

Література

[1] Кудінов С. С., Шехавцов Р. М. Особливості організації розслідування воєнних злочинів в Україні в умовах воєнного стану. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2025. Т. 4, № 91. С. 328–336.

[2] Бориславська А. Доктрина командної відповідальності за воєнні злочини у міжнародному праві та національній правовій системі. *Науковий вісник Ужгородського національного університету.* Серія: Право. 2025. Т. 4, № 90. С. 76–84.

[3] Марін О. Проблеми впровадження «командної» відповідальності у національне кримінальне право України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2025. Т. 4, № 90. С. 88–96.

[4] Задоя К. П. Особливості кримінальної відповідальності військових командирів, інших осіб, які фактично діють як військові командири, та інших начальників. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2025. Т. 3, № 89. С. 226–230.

[5] Бондаренко Є. Протидія воєнним злочинам в Україні: міжнародне реагування, відповідальність та шлях до репарацій за порушення, вчинені внаслідок російської агресії. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2024. Т. 4, № 85. С. 215–219.

THE PROBLEMS OF HOLDING PARTIES ACCOUNTABLE FOR VIOLATIONS OF THE RULES OF ARMED CONFLICT IN THE MODERN CONTEXT

Dostdar R., Tsymbaliuk A.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS)

Abstract. This abstract examines current issues relating to the prosecution of violations of the rules governing the conduct of armed conflicts in the context of Russia's aggression against Ukraine. It analyses issues relating to the legal classification of war crimes, the burden of proof, the identification of those responsible, the application of command responsibility, the prosecution of persons residing abroad, and international cooperation. It substantiates the need for a comprehensive combination of national and international mechanisms for criminal prosecution, provided that procedural safeguards are observed and the inevitability of accountability is ensured.

Keywords: rules governing the conduct of armed conflicts, war crimes, criminal liability, the burden of proof, chain of command liability, international cooperation.

УДК 341.3

ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ УЧАСНИКІВ ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТІВ

Достдар Р.М.,
к. ю. н., доц., завідувачка кафедри Морського та господарського права,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
dostdar.r@gmail.com,
Цимбалюк Р.О.,
студент магістратури Факультету морського права
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
kombat_001@ukr.net

Анотація. В тезах досліджені поняття та класифікація учасників збройних конфліктів крізь призму міжнародного гуманітарного права. Розкрито правовий статус комбатантів, цивільних осіб, військовополонених, недержавних збройних формувань, іноземних учасників конфлікту та найманців, а також значення принципу розрізнення для забезпечення їхнього захисту. Обгрунтовано необхідність визначення правового статусу конкретної особи з урахуванням фактичних обставин і характеру збройного конфлікту.

Ключові слова: збройний конфлікт, міжнародне гуманітарне право, учасники збройних конфліктів, комбатанти, цивільні особи, військовополонені, принцип розрізнення, правовий статус.

Вступна частина. Правове становище осіб, які перебувають у зоні збройного конфлікту або беруть у ньому участь, є одним із центральних питань міжнародного гуманітарного права. Саме через визначення статусу конкретної особи встановлюється обсяг її прав, обов'язків, гарантій захисту, а також правомірність застосування до неї сили. Відповідно, правильна класифікація учасників збройного конфлікту має не лише теоретичне, а й безпосереднє практичне значення.

Метою дослідження є визначення поняття та класифікації учасників збройних конфліктів.

Основна частина. Українські дослідники М. М. Гнатовський, Т. Р. Короткий, А. О. Кориневич, В. М. Лисик, О. Р. Поєдинок та Н. В. Хендель у колективному посібнику з міжнародного гуманітарного права розглядають питання статусу різних категорій осіб крізь призму основоположного принципу розрізнення, відповідно до якого сторони конфлікту повинні відрізняти цивільне населення від осіб, які беруть участь у бойових діях [1, с. 44–48]. Саме цей принцип забезпечує функціонування всієї системи міжнародно-правового захисту під час збройного конфлікту.

У найбільш загальному вигляді осіб, пов'язаних зі збройним конфліктом, можна поділити на декілька основних категорій: комбатанти – особи, які відповідно до міжнародного гуманітарного права мають право безпосередньо брати участь у бойових діях; некомбатанти, які входять до складу збройних сил, але виконують функції, не пов'язані безпосередньо з веденням бойових дій; цивільні особи; медичний та духовний персонал; поранені та хворі; військовополонені; особи, які супроводжують збройні сили; члени недержавних організованих збройних формувань; добровольці та іноземні учасники конфлікту; найманці, правовий статус яких має особливе регулювання.

Важливо наголосити, що наведена класифікація не є абсолютно однорідною. Окремі категорії характеризують функціональну роль особи, інші – її правовий статус, а треті – характер її зв'язку зі стороною конфлікту.

Наприклад, поняття «військовополонений» характеризує не стільки первинну роль особи у конфлікті, скільки її правове становище після потрапляння під владу противника. Комбатант, який законно бере участь у міжнародному збройному конфлікті, у разі захоплення противником може набути статусу військово-
полоненого. Таким чином, одна й та сама особа на різних етапах конфлікту може характеризуватися різними юридичними категоріями.

Центральне місце серед осіб, які безпосередньо беруть участь у міжнародному збройному конфлікті, посідають комбатанти. Правовий статус цієї категорії сформувався у результаті тривалого розвитку міжнародного гуманітарного права. За загальним правилом комбатанти мають право брати безпосередню участь у бойових діях. Водночас на них поширюються правила міжнародного гуманітарного права щодо способів і засобів ведення війни.

А. Саєнко зазначає, що ключовими ознаками комбатанта є участь у бойових діях у межах збройного конфлікту, належність до відповідних організованих сил та підпорядкування правилам ведення війни [2, с. 206].

Протилежною за своїм правовим призначенням категорією є цивільні особи. За загальним правилом цивільною є будь-яка особа, яка не належить до категорій осіб, визначених міжнародним гуманітарним правом як комбатанти.

Цивільне населення користується загальним захистом від небезпек, що виникають у зв'язку з воєнними операціями. При цьому принцип розрізнення має не лише заборонний, а й позитивний характер: сторони конфлікту повинні організовувати свої воєнні операції таким чином, щоб максимально зменшувати ризик заподіяння шкоди цивільним особам [3, с.73].

Особливе місце в системі міжнародно-правового захисту займають поранені та хворі, а також військовополонені. Поранені та хворі незалежно від того, до якої сторони вони належать, повинні користуватися повагою та захистом. Їм має бути забезпечене гуманне поводження та необхідна медична допомога. Щодо військовополонених, основним міжнародно-правовим актом є Женевська конвенція про поводження з військовополоненими 1949 р. Вона встановлює комплекс гарантій, спрямованих на забезпечення гуманного поводження з особами, які опинилися під владою противника.

Актуальність цієї проблематики для України підтверджується значною кількістю сучасних українських досліджень, наприклад: О. М. Боднарук та М. Г. Тома [4, с. 476], І. Жаровська та Я. Шевчук [5, с. 20–27].

Особливе місце займають недержавні збройні формування. Їх правовий статус залежить передусім від характеру конфлікту. У міжнародному збройному конфлікті участь організованих збройних груп може бути пов'язана з інтернаціоналізацією конфлікту або фактичним контролем однієї держави над відповідним формуванням. У неміжнародному збройному конфлікті організовані збройні групи можуть бути стороною конфлікту за умови достатнього рівня організації та інтенсивності збройного протистояння.

Отже, сам факт існування збройної групи ще не означає автоматичного визнання її стороною збройного конфлікту. Для цього необхідно встановити сукупність юридично значущих критеріїв.

Особливості сучасних конфліктів зумовили поширення практики участі іноземних громадян у бойових діях. Сам факт іноземного громадянства не визначає правового статусу особи. Іноземний громадянин може бути військовослужбовцем збройних сил держави, добровольцем, членом організованого збройного формування або цивільною особою. Тому його статус визначається фактичними обставинами та відповідними нормами міжнародного гуманітарного права.

Висновки. Проведене дослідження дозволило встановити, що міжнародне гуманітарне право передбачає диференційований правовий статус різних категорій осіб, які перебувають у зоні збройного конфлікту. Основоположним є розмежування комбатантів і цивільних осіб, оскільки саме воно забезпечує реалізацію принципу розрізнення та визначає можливість безпосередньої участі особи у воєнних діях. Водночас правовий статус конкретної особи повинен визначатися на підставі її фактичного становища та відповідних норм міжнародного гуманітарного права, а не лише формальної назви чи належності до певної організації.

Література

[1] Міжнародне гуманітарне право та захист прав людини. *Національна академія внутрішніх справ*: веб-сайт. 2023. URL: https://arm.naiau.kiev.ua/books/mg/lectures/lecture_7.html

[2] Саєнко А. Поняття та статус комбатанта за міжнародним правом. Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди. «Право». 2024. № 39. С. 205–212.

[3] Скорик В. В. Захист цивільного населення у збройних конфліктах за міжнародним правом. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2025. № 92. С. 72–77.

[4] Боднарук О. М., Тома М. Г. Правовий статус військовополонених: національний та міжнародно-правовий аспект. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2026. № 1. С. 476–480.

[5] Жаровська І., Шевчук Я. Правове регулювання статусу військовополонених відповідно до норм міжнародного гуманітарного права: історична та сучасна ретроспектива. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Юридичні науки. 2023. Т. 10. № 4 (40). С. 20–27.

THE CONCEPT AND CLASSIFICATION OF PARTIES TO ARMED CONFLICTS

Dostdar R., Tsymbaliuk R.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS)

Abstract. The abstract attempts to explore the concepts and classification of participants in armed conflicts through the prism of international humanitarian law. It explores the legal status of combatants, civilians, prisoners of war, non-state armed groups, foreign participants in the conflict and mercenaries, as well as the significance of the principle of distinction in ensuring their protection. The necessity of determining the legal status of a specific individual, taking into account the factual circumstances and the nature of the armed conflict, is substantiated.

Keywords: armed conflict, international humanitarian law, participants in armed conflicts, combatants, civilians, prisoners of war, the principle of distinction, legal status.

УДК 341.4

ПОНЯТТЯ ТА ЮРИДИЧНА ПРИРОДА МІЖНАРОДНОГО ЗЛОЧИНУ

Козирєва І.О.,
завідувачка навчальним кабінетом кафедри Морського та господарського права,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
irina4691830@gmail.com,
Куделя І.О.,
студент магістратури Факультету морського права
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
izopkydel@gmail.com

Анотація. В тезах досліджено поняття та юридичну природу міжнародного злочину як базової категорії міжнародного кримінального права. Проаналізовано основні наукові підходи до визначення міжнародного злочину, його відмежування від злочинів міжнародного характеру та міжнародно-протиправних діянь держав, а також розкрито особливості індивідуальної кримінальної відповідальності фізичних осіб.

Ключові слова: міжнародний злочин, міжнародне кримінальне право, юридична природа, міжнародна кримінальна відповідальність, фізична особа, злочин міжнародного характеру, Римський статут.

Вступна частина. Необхідність розмежування поняття міжнародного злочину з іншими категоріями протиправних діянь у міжнародному праві обумовлена насамперед особливим характером правових наслідків його вчинення. Міжнародне кримінальне право спрямоване саме на забезпечення індивідуальної відповідальності фізичних осіб за найбільш тяжкі посягання на міжнародний правопорядок.

Метою дослідження є визначення поняття та юридичної природи міжнародного злочину.

Основна частина. Поняття міжнародного злочину належить до базових категорій міжнародного кримінального права, оскільки саме через його зміст визначаються межі кримінально-правової заборони, характер діянь, що становлять особливу небезпеку для міжнародного співтовариства, а також підстави притягнення фізичних осіб до міжнародної кримінальної відповідальності. Водночас у доктрині міжнародного права тривалий час відсутнє універсальне визначення цієї категорії, що зумовлює існування різних наукових підходів до встановлення її сутнісних ознак. На цю обставину звертає увагу

О. В. Стоярський, який досліджує доктринальні підходи до визначення міжнародних злочинів та зазначає складність вироблення єдиної дефініції відповідного поняття [1, с. 17–22].

Українська доктрина міжнародного права звертає увагу і на необхідність розмежування понять «міжнародний злочин» та «злочин міжнародного характеру». О. М. Архипов спеціально досліджував співвідношення цих категорій, що свідчить про їхню нетотожність у системі міжнародно-правових понять [2, с. 110]. У першому випадку йдеться про діяння, які посягають на фундаментальні цінності міжнародного співтовариства та породжують міжнародну кримінальну відповідальність індивіда, тоді як злочини міжнародного характеру, як правило, мають транскордонний характер і потребують міжнародного співробітництва держав у їх запобіганні та переслідуванні.

Важливим етапом становлення сучасного розуміння міжнародного злочину стало формування принципу індивідуальної кримінальної відповідальності за порушення норм міжнародного права. Український дослідник В. А. Гринчак, аналізуючи правову природу міжнародних злочинів, акцентує увагу саме на механізмі відповідальності фізичної особи за порушення норм міжнародного права [3, с. 17–22].

Відповідно, юридична природа міжнародного злочину має особливий характер, оскільки в ньому поєднуються міжнародно-правова заборона відповідного діяння та кримінально-правовий механізм індивідуальної відповідальності. Така конструкція відрізняє міжнародні злочини від класичних міжнародно-протиправних діянь держав.

Українська дослідниця Т. С. Садова, порівнюючи положення Римського статуту та Кримінального кодексу України, виходить із закріпленого у статті 5 Статуту переліку чотирьох категорій злочинів [4, с. 83–85].

Водночас стаття 5 Римського статуту не містить загальної дефініції міжнародного злочину. Її призначення полягає у визначенні предметних меж юрисдикції Міжнародного кримінального суду. Тому перелік, закріплений у цій нормі, доцільно розглядати як нормативно визначене коло злочинів, що належать до юрисдикції Суду, а не як завершене теоретичне визначення поняття міжнародного злочину.

Суттєвою характеристикою міжнародного злочину є його підвищена небезпечність для міжнародного співтовариства. У преамбулі Римського статуту підкреслюється, що найбільш тяжкі злочини, які викликають занепокоєння всього міжнародного співтовариства, не повинні залишатися безкарними. Отже, міжнародна спільнота визнає певні діяння такими, що за своїм характером та масштабом виходять за межі звичайної кримінальної протиправності та потребують застосування спеціальних механізмів міжнародної кримінальної юстиції.

Однак критерій особливої тяжкості не є єдиною ознакою міжнародного злочину. Його необхідно розглядати у взаємозв’язку з іншими характеристиками: характером об’єкта посягання, міжнародно-правовою забороною, наявністю визначених юридичних елементів злочину та можливістю встановлення індивідуальної кримінальної відповідальності. Саме комплекс цих ознак дає змогу відмежувати міжнародний злочин від інших видів протиправної поведінки.

На необхідність комплексного підходу до характеристики міжнародних злочинів звертає увагу А. О. Драгоненко. Досліджуючи воєнні злочини як один із видів міжнародних злочинів, авторка виділяє підвищений ступінь їх суспільної небезпечності, спрямованість проти інтересів, що охороняються міжнародним правом, а також криміналізацію і караність відповідно до норм міжнародного права [5, с. 155].

Водночас наведені характеристики воєнних злочинів дозволяють виявити й загальні риси міжнародного злочину. Насамперед це стосується його спрямованості проти особливо значущих для міжнародного співтовариства прав та інтересів. Відмінність окремих категорій міжнародних злочинів полягає передусім у специфіці безпосереднього об’єкта, об’єктивних і суб’єктивних елементів, а також у додаткових умовах кримінальної відповідальності.

Загальна характеристика міжнародного злочину повинна враховувати також його суб’єктну природу. На відміну від міжнародно-правової відповідальності держав, міжнародна кримінальна відповідальність реалізується щодо фізичних осіб. Стаття 25 Римського статуту прямо встановлює індивідуальну кримінальну відповідальність особи за злочини, що підпадають під юрисдикцію Суду [6].

Для України ця проблема набуває особливого значення після ратифікації Римського статуту Законом України від 21 серпня 2024 року № 3909-IX. У зв’язку з цим питання узгодження національного кримінального законодавства з міжнародними стандартами відповідальності за міжнародні злочини набуло не лише теоретичного, а й безпосереднього практичного значення.

Висновки. Таким чином, міжнародний злочин доцільно визначати як передбачене міжнародним кримінальним правом особливо тяжке протиправне діяння фізичної особи, яке посягає на фундаментальні цінності та інтереси міжнародного співтовариства, характеризується визначеними міжнародним правом об’єктивними і суб’єктивними елементами та тягне індивідуальну кримінальну відповідальність за наявності встановлених юридичних підстав.

Література

[1] Стоярський О. В. Окремі доктринальні підходи щодо дефініції міжнародних злочинів у міжнародному кримінальному праві. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. Серія: Юриспруденція. 2014. № 10-2. Т. 2. С. 17–22.

[2] Архипов О. М. Співвідношення понять міжнародний злочин та злочин міжнародного характеру. *Правова держава*. 2002. № 4. С. 110–114.

[3] Гринчак В. Правова природа міжнародних злочинів. *Вісник Львівського університету*. Серія міжнародні відносини. 2015. Вип. 37. Ч. 2. С. 17–22.

[4] Садова Т. С. Міжнародні злочини у Римському статуті та Кримінальному кодексі України: порівняльно-правовий аспект. Матеріали 73-ї звітної наукової конференції професорсько-викладацького складу і наукових працівників економіко-правового факультету ОНУ ім. І. І. Мечникова. Одеса, 2018. С. 83–85.

[5] Киричко В.М. Імплементація положень Римського статуту міжнародного кримінального суду до Кримінального кодексу України: результати і перспективи. *Вісник асоціації кримінального права України*. 2024. № 22. Том 2. С. 1–52.

[6] Драгоненко А. О. Поняття та ознаки воєнних злочинів у міжнародному кримінальному праві. *Наукові записки*. Серія: Право. 2022. Вип. 12. С. 151–157.

THE CONCEPT AND LEGAL NATURE OF AN INTERNATIONAL CRIME

Kozyreva I., Kudelia I.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS)

Abstract. This article examines the concept and legal nature of an international crime as a fundamental category of international criminal law. It analyses the main academic approaches to defining an international crime and distinguishing it from crimes of an international character and internationally wrongful acts committed by states, and also explores the specific features of the individual criminal liability of natural persons.

Keywords: international crime, international criminal law, legal nature, international criminal liability, natural person, crime of an international nature, Rome Statute.

УДК 341.4

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ НОРМ МІЖНАРОДНОГО КРИМІНАЛЬНОГО ПРАВА У НАЦІОНАЛЬНЕ ЗАКОНОДАВСТВО

Козирєва І.О.,
завідувачка навчальним кабінетом кафедри Морського та господарського права,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
irina4691830@gmail.com,
Назаренко А.В.,
студентка магістратури Факультету морського права
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
anndubovaya17@gmail.com

Анотація. В тезах досліджене питання імплементації норм міжнародного кримінального права у національне законодавство України. Проаналізовані нормативні, інституційні та процесуальні аспекти імплементації Римського статуту Міжнародного кримінального суду, а також проблеми узгодження національного кримінального законодавства з міжнародними стандартами.

Ключові слова: міжнародне кримінальне право, імплементація, Римський статут, Міжнародний кримінальний суд, національне законодавство, кримінальна відповідальність, міжнародні злочини.

Вступна частина. Актуальне для України питання імплементації норм міжнародного кримінального права тривалий час залишалося предметом дискусій. Україна підписала Римський статут 20 січня 2000 р., однак його ратифікація відбулася лише у 2024 р. Важливим етапом на шляху до ратифікації стало визнання Україною юрисдикції МКС на підставі заяв, зроблених відповідно до ст. 12 (3) Римського статуту. У 2014 р. Україна визнала юрисдикцію Суду щодо злочинів, вчинених під час подій на Майдані, а у 2015 р. – щодо злочинів проти людяності та воєнних злочинів, вчинених на території України. Ці кроки створили передумови для подальшого інституційного приєднання України до системи МКС.

Метою дослідження є питання імплементації норм міжнародного кримінального права у національне законодавство.

Основна частина. У науковій літературі (Н. В. Камінська, В. М. Киричко, С. Ю. Присяжнюк, Є. В. Щербань та інші) імплементація норм Римського статуту розглядається як комплексна організаційно-правова діяльність держави, спрямована на створення внутрішніх правових та інституційних умов для здійснення юрисдикції щодо осіб, відповідальних за найбільш тяжкі міжнародні злочини. С. Ю. Присяжнюк підкреслює, що така діяльність включає не лише формальне внесення змін до національного законодавства, а й створення правових механізмів, необхідних для реалізації юрисдикції Міжнародного кримінального суду та взаємодії з ним [1, с. 443–447]. Отже, імплементацію доцільно розглядати як багатокомпонентний процес, що охоплює нормативний, інституційний і процесуальний аспекти.

Однією з основних проблем імплементації є визначення її оптимальної форми. Досвід європейських держав демонструє декілька основних моделей: прийняття спеціального нормативного акта щодо реалізації Римського статуту; внесення змін до конституції та чинного кримінального законодавства; а також поєднання змін до кримінального і кримінального процесуального законодавства із прийняттям спеціального законодавства про співробітництво з МКС [1, с. 443–447]. Вибір конкретної моделі залежить від особливостей національної правової системи, конституційних положень та характеру міжнародно-правових зобов'язань держави.

Є. В. Щербань та Н. В. Камінська обґрунтовували доцільність комплексного підходу до імплементації Римського статуту в Україні, який передбачає внесення відповідних змін до Кримінального кодексу України, Кримінального процесуального кодексу України та кримінально-виконавчого законодавства, а також врегулювання питань співробітництва з МКС [2, с.140]. Науковці виходили з того, що сама ратифікація міжнародного договору не забезпечує автоматичної реалізації всіх його положень у внутрішній правовій системі. Необхідним є створення узгодженого механізму, який дозволяє національним органам безпосередньо застосовувати відповідні правові приписи.

Важливим етапом став Закон України «Про внесення змін до Кримінального та Кримінального процесуального кодексів України у зв'язку з ратифікацією Римського статуту Міжнародного кримінального суду та поправок до нього» від 9 жовтня 2024 р. № 4012-IX. Цим Законом до національного кримінального законодавства були внесені зміни, спрямовані на узгодження його положень із Римським статутом та забезпечення можливості переслідування за найбільш тяжкі міжнародні злочини.

В. М. Киричко зазначає, що метою такого законодавчого оновлення стало, зокрема, забезпечення кримінально-правового переслідування за геноцид, злочин агресії, воєнні злочини та злочини проти людяності [3, с. 2–4].

Особливе значення має те, що імплементаційні зміни стосуються не лише Особливої частини Кримінального кодексу України. Вони охоплюють також питання дії кримінального закону в просторі, підстав кримінальної відповідальності та відповідальності командирів і начальників. Зокрема, було розширено положення ст. 8 КК України щодо притягнення до відповідальності іноземців та осіб без громадянства за окремі міжнародні злочини, вчинені за межами України. В. М. Киричко пов'язує це з формуванням особливого механізму кримінальної юрисдикції України щодо міжнародних злочинів [3, с. 4–8].

Водночас проведений науковцем аналіз свідчить, що імплементація норм Римського статуту не може оцінюватися лише за фактом внесення відповідних законодавчих змін. Важливим критерієм є змістовна відповідність національних норм міжнародним стандартам та їх системна узгодженість із кримінальним законодавством України. В. М. Киричко виявляє низку проблем, зокрема щодо імплементації положень ст. 28 Римського статуту про відповідальність командирів та інших начальників, положень щодо воєнних злочинів, а також відповідності норм про геноцид і злочини проти людяності положенням статей 6 і 7 Римського статуту [3, с. 1–4].

Це дає підстави розмежувати формальну та змістовну імплементацію. Формальна імплементація передбачає нормативне закріплення міжнародно-правових положень у національному законодавстві. Натомість змістовна імплементація вимагає забезпечення відповідності національних норм міжнародним стандартам, їх внутрішньої узгодженості та можливості ефективного практичного застосування. Саме другий аспект має особливе значення для міжнародного кримінального права, оскільки невідповідність визначення міжнародного злочину чи умов кримінальної відповідальності може перешкоджати належному переслідуванню винних осіб.

Проблема імплементації особливо чітко проявляється у співвідношенні юрисдикції МКС і національної юрисдикції. Римський статут ґрунтується на принципі комплементарності, відповідно до якого національні органи мають первинну роль у розслідуванні та переслідуванні міжнародних злочинів, а МКС втручається лише за наявності визначених Статутом підстав. Тому ефективна імплементація повинна забезпечувати спроможність держави самостійно здійснювати кримінальне провадження щодо міжнародних злочинів.

Важливим є також досвід інших європейських держав. Дослідження С.Ю. Присяжнюк показує, що держави використовують різні моделі адаптації національного законодавства до положень Римського статуту. В одних випадках міжнародні норми безпосередньо впливають на застосування національного права, в інших – приймаються спеціальні законодавчі акти або вносяться системні зміни до кримінального законодавства [1, с. 443–447]. Для України цей досвід має не стільки значення готової моделі для запозичення, скільки значення порівняльного орієнтира під час подальшого вдосконалення національного законодавства.

Висновки. Отже, можемо зазначити, що імплементація норм міжнародного кримінального права є динамічним процесом. Її завершення не може пов'язуватися виключно з моментом ратифікації міжнародного договору або прийняттям одного імплементаційного закону. Необхідними є постійний моніторинг відповідності національного законодавства міжнародним стандартам, аналіз судової практики, удосконалення процесуальних механізмів та забезпечення належної взаємодії національних органів із міжнародними кримінальними установами.

Література

[1] Присяжнюк С. Ю. Імплементація положень Римського статуту Міжнародного Кримінального Суду в національне законодавство європейських держав. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2023. № 2. С.443–447.

[2] Щербань Є. В., Камінська Н. В. Деякі питання імплементації Римського статуту про Міжнародний кримінальний суд. *Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ*. 2020. № 2 (115). С. 138–143.

[3] Киричко В. М. Імплементація положень Римського статуту Міжнародного кримінального суду до Кримінального кодексу України: результати і перспективи. *Вісник Асоціації кримінального права України*. 2024. № 2 (22). С. 1–52.

THE INCORPORATION OF INTERNATIONAL CRIMINAL LAW PROVISIONS INTO NATIONAL LEGISLATION

Kozyreva I., Nazarenko A.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS)

Abstract. This abstract examines the issues surrounding the implementation of international criminal law provisions into Ukrainian national legislation. It analyses the legislative, institutional and procedural aspects of the implementation of the Rome Statute of the International Criminal Court, as well as the challenges involved in harmonising national criminal legislation with international standards.

Keywords: international criminal law, implementation, the Rome Statute, the International Criminal Court, national legislation, criminal liability, international crimes.

УДК 347.23:340.137(477)

РИЗИКИ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНІ НЕДОЛІКИ ІНСТИТУТУ ПОСІДАННЯ У ПРОЄКТІ ЦИВІЛЬНОГО КОДЕКСУ УКРАЇНИ

Ломакіна О.А.,
кандидат юридичних наук, доцент,
доцент кафедри адміністративного та конституційного права
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
lomakina1616@gmail.com

Анотація. Висвітлено критичний аналіз засад запровадження інституту посідання у Проєкті нового Цивільного кодексу України (законопроєкт № 15150). Доведено, що спроба механічного запозичення пандектної моделі фактичного володіння створює системні загрози для права власності, ускладнює судовий захист законних володільців та створює підґрунтя для зловживань і недобросовісного захоплення майна.

Ключові слова: посідання, проєкт Цивільного кодексу України, посесорний захист, право власності, рейдерство, презумпція добросовісності, юридична невизначеність.

Рекодифікація цивільного законодавства декларується як засіб гармонізації приватного права України із правом Європейського Союзу. Проте пропоноване включення до Книги 3 Проєкту Цивільного

кодексу України (законопроєкт № 15150) окремого інституту посідання (ст. 568) викликає суттєві застереження [1; 3]. Доктринальна ідея розмежування «фактичного стану» та «суб'єктивного права», успішна в стабільних правопорядках (наприклад, у Німеччині), у сучасних українських реаліях створює високі правові ризики для законних власників.

Згідно зі ст. 568 Проєкту ЦК, посідання виникає як факт фізичного панування над річчю, незалежно від наявності правової підстави (титулу) [1]. Найбільш небезпечною новелою *є презумпція правомірності посідання* (ст. 570 Проєкту ЦК), відповідно до якої будь-який фактичний утримувач майна вважається законним володільцем, доки протилежне не доведено в суді [1; 4].

Наслідки цієї презумпції для правової системи:

- **Перекладення тягаря доказування на власника:** Замість того щоб особа, яка захопила майно, доводила підстави свого перебування в ньому, законний власник змушений проходити тривалі судові процедури для спростування презумпції [2, с. 210].
- **Легалізація фактичного контролю:** У ситуаціях рейдерського захоплення нерухомості або незаконного утримання майна особа, яка фізично заблокувала доступ, отримує процесуальну перевагу над титульним власником [3; 4].

Проєкт ЦК запроваджує суворе розмежування між посесорним (фактичним) та петиторним (титульним) захистом. Під час розгляду посесорного позову суд досліджує лише факт посідання та факт його порушення, повністю ігноруючи наявність у відповідача права власності [1; 2, с. 215].

Головними ризиками посесорного захисту є:

1. Заборона оперативної самодопомоги власника: Якщо власник виявить своє вкрадене чи самовільно зайняте майно та поверне його без судового рішення, недобросовісний посідач має право через посесорний позов повернути це майно собі назад через суд [1; 3].
2. Процесуальні зловживання: Запровадження двох паралельних видів позовів (посесорного та петиторного) призведе до штучного затягування спорів, подвоєння судового навантаження та ухвалення суперечливих судових рішень [4].

Інститут посідання в західноєвропейських правопорядках спирається на високий рівень правової культури, функціонування абсолютних публічних реєстрів та оперативність судової системи.

В умовах України запровадження цього інституту містить додаткові ризики:

- Неузгодженість із системою державних реєстрів: За наявності Державного реєстру речових прав на нерухоме майно надання самостійного захисту «фактичному володільцю» руйнує принцип публічної вірогідності реєстру [2, с. 220; 3].
- Сприяння схемам за набувальною давністю: Спрощений захист фактичного посідання в поєднанні з недобросовісними судовими рішеннями створює схеми для відчуження державного та комунального майна [4].

Таким чином, можна дійти до висновків:

1. Запровадження інституту посідання в редакції Проєкту Цивільного кодексу України є передчасним та доктринально помилковим кроком. Замість захисту цивільного обороту цей інститут створює дисбаланс між фактичним порушником та законним власником, обмежує права останнього на оперативний захист і породжує високі ризики рейдерства. Юридична спільнота наголошує, що доки держава не створить гарантованого безкоштовного механізму захисту права власності через правоохоронні орган, ухвалення подібних норм є передчасним і небезпечним для суспільства.
2. Для українського цивільного права оптимальним залишається збереження класичного підходу, де володіння розглядається виключно як складова частина суб'єктивного речового права.

Література

[1] Проєкт Цивільного кодексу України (законопроєкт № 15150). Книга 3 «Речове право». *Офіційний вебпортал Верховної Ради України*. URL: https://itd.rada.gov.ua (дата звернення: 06.09.2026).

[2] Харитонов Є. О., Харитонова О. І. Проблеми рекодифікації цивільного законодавства України: монографія. Одеса: Фенікс, 2023. 34 с.

[3] «Посідання» замість володіння: новий ЦК може змінити підхід до контролю над майном. *Судово-юридична газета*. 2026. URL: https://sud.ua/uk/news/ukraine/361533-posedanie-vmesto-vladeniya-novyy-gk-mozhet-izmenit-podkhod-k-kontrolyu-nad-imuschestvom.

[4] Посідання у Цивільному кодексі: ризики для власників та перспективи для обороту. *The Page*. 2026. URL: https://thepage.ua/ua/news/posidannya-u-civilnomu-kodeksi-riziki-dlya-vlasnikiv.

RISKS AND CONCEPTUAL FLAWS OF THE INSTITUTION OF POSSESSION IN THE DRAFT CIVIL CODE OF UKRAINE

Lomakina O.A.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper provides a critical analysis of the framework for introducing the institution of possession in the Draft of the new Civil Code of Ukraine (Draft Bill No. 15150). It is demonstrated that the attempt to mechanically adopt the Pandectist model of de facto possession poses systemic threats to property rights, complicates judicial protection for lawful possessors, and creates a breeding ground for abuse and bad-faith asset grabbing.

Keywords: possession, Draft Civil Code of Ukraine, possessory protection, property rights, corporate raiding (asset grabbing), presumption of good faith, legal uncertainty.

УДК 351.712.2:343.352(477)

АНТИКОРУПЦІЙНІ ІНСТРУМЕНТИ В ОБОРОННИХ ЗАКУПІВЛЯХ: ДІЮЧІ МОДЕЛІ ТА НАПРЯМИ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ

Ломжець Ю.В.,
кандидат політичних наук, доцент кафедри морського та господарського права,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ylomzhets@gmail.com

Обґрунтовано значення антикорупційних інструментів в оборонних закупівлях як питання національної безпеки, а не лише бюджетної дисципліни, оскільки корупція в цій сфері безпосередньо впливає на своєчасність і якість забезпечення військ. Описано вже впроваджені в Україні моделі, зокрема законодавче і стратегічне регулювання, інституційну модель централізованого замовника з внутрішньою системою комплаєнсу, цифрові рішення у закупівлях і зовнішню рамку вимог НАТО, ОЕСР та міжнародних стандартів комплаєнсу, а також слабкі місця чинного підзаконного регулювання, через які ключовим завданням стає змістовне, а не формальне функціонування наявних інструментів.

Ключові слова: оборонні закупівлі, корупційні ризики, доброчесність, комплаєнс, антикорупційна програма, національна безпека.

Оборонні закупівлі належать до сфер із найвищим рівнем корупційної вразливості, що зумовлено поєднанням значних обсягів фінансування, обмеженого доступу до інформації через вимоги захисту державної таємниці та безпеки постачань, потреби ухвалювати рішення у стислі строки, вузького кола постачальників на окремих товарних ринках і технічної складності предмета закупівлі, які разом створюють середовище, де контроль об’єктивно ускладнений, а простір для дискреції залишається широким. В умовах воєнного стану ці чинники набувають додаткової гостроти, оскільки більшість процедур здійснюється як закриті закупівлі, а строки, у які має бути забезпечена потреба військ, не завжди дозволяють провести повноцінну конкурентну процедуру.

Принципове значення має те, що корупція в оборонних закупівлях не зводиться до втрати бюджетних коштів. Політика НАТО з розбудови доброчесності, ухвалена на Варшавському саміті 2016 року, прямо розглядає корупцію як безпековий виклик, що підриває обороноздатність держави і довіру до її інституцій [6]. Для України цей підхід має ще й практичний вимір, оскільки значна частина оборонних потреб покривається за рахунок міжнародної підтримки, а спроможність продемонструвати партнерам працюючі механізми прозорості й підзвітності стала однією з умов доступу до фінансових інструментів і до ланцюгів постачання оборонної промисловості країн Альянсу.

Мета дослідження полягає в тому, щоб систематизувати антикорупційні інструменти, які фактично застосовуються у сфері оборонних закупівель України, описати вже впроваджені моделі та визначити ті слабкі місця чинного регулювання, що знижують їх дієвість.

Нормативна та стратегічна рамка є першим рівнем системи. Базовим галузевим актом залишається Закон України «Про оборонні закупівлі» [1], який діє у поєднанні із загальними вимогами Закону України «Про запобігання корупції» [2]. Стратегічний вимір визначено Законом України про засади державної антикорупційної політики на 2021–2025 роки, у якому оборона віднесена до пріоритетних сфер ризику [3], та Державною антикорупційною програмою, що переклала стратегічні цілі у конкретні заходи з визначенням головних виконавців і співвиконавців [4]. Окремим документом, який задає напрям реформи, є Стратегічний огляд оборонних закупівель Україна–НАТО, схвалений Радою Україна–НАТО 4 липня

2024 року, що містить рекомендації високого рівня щодо взаємосумісності з системами Альянсу, вдосконалення процедур укладення контрактів, довгострокового планування та цивільного демократичного контролю [5].

Інституційна модель ґрунтується на відокремленні функції замовника від міністерства та її передачі спеціалізованим агенціям, які з початку 2026 року об'єднано в єдину структуру. Всередині цієї моделі сформовано набір елементів, що відповідають логіці корпоративного врядування, а саме наглядову раду за участю незалежних членів, комплекс політик внутрішнього контролю, управління ризиками та врегулювання конфлікту інтересів, положення про внутрішній аудит, кодекс професійної етики і ділової поведінки та антикорупційну програму. Систему комплаєнсу побудовано на підходах COSO ERM та ISO 31000:2018 із практичною реалізацією моделі трьох ліній захисту, у якій підрозділи, відповідальні за реалізацію закупівельних програм, здійснюють безпосереднє управління ризиками, підрозділ комплаєнсу забезпечує методологічну підтримку й моніторинг, а стратегічний нагляд належить керівникові та наглядовій раді. Проходження аудиту відповідності системи управління протидії хабарництву стандарту ISO 37001:2025 [8] є показовим, оскільки означає перехід від декларування антикорупційних намірів до зовнішньо верифікованої системи.

Третій рівень становлять цифрові та процедурні інструменти, які зменшують дискрецію через саму архітектуру процесу. До них належать реєстр верифікованих постачальників, за яким рішення про допуск або обґрунтовану відмову ухвалюється за наперед визначеною процедурою, а також цифровий маркетплейс озброєння DOT-Chain Defence, що працює за принципом самостійного вибору підрозділом необхідних зразків із подальшим забезпеченням з боку держави. Запущений у 2025 році як пілот, він був масштабований на понад сто бригад і інтегрований із Brave1 Market та системою бойових балів, що дозволяє простежити шлях від потреби підрозділу до контракту й постачання [9; 10]. Антикорупційний ефект полягає не в цифровізації як такій, а в тому, що вона робить рішення відстежуваними і скорочує кількість етапів, на яких предмет закупівлі визначається без участі кінцевого споживача.

Четвертий рівень утворює зовнішня рамка вимог, яка досягає українських учасників ринку переважно не безпосередньо, а через договірні механізми. Рекомендація ОЕСР щодо публічних закупівель закріплює дванадцять принципів, серед яких доброчесність, прозорість, електронні закупівлі, управління ризиками та підзвітність [7]. Стандарти ISO 37001:2025 та ISO 37301 дедалі частіше згадуються у кваліфікаційних умовах тендерів і кодексах постачальників як очікувані. Екстериторіальне антикорупційне право, насамперед Закон Великої Британії про хабарництво 2010 року з корпоративним складом невжиття належних процедур, а також акти про належну обачність у ланцюгах постачання каскадують вимоги вниз по ланцюгу, унаслідок чого навіть невелике українське підприємство, яке не підпадає під жоден поріг застосування, отримує від замовника запитальник самооцінки, вимогу приєднатися до кодексу постачальника та згоду на аудит. Практичний наслідок для промисловості полягає в тому, що набір очікуваних базових політик у різних юрисдикціях залишається практично однаковим і зводиться до кодексу етики, антикорупційної програми, політики врегулювання конфлікту інтересів, регламенту подарунків і спонсорства та закупівельної політики.

Водночас аналіз чинних підзаконних актів показує кілька повторюваних дефектів, які знижують дієвість описаних механізмів. Першим є системне накопичення оціночних понять без визначених критеріїв застосування, що переносить фактичне правотворення на рівень розсуду виконавця. Другим є встановлення строків погодження, нереалістичних щодо обсягу документів, які підлягають перевірці, унаслідок чого погодження юридично відбувається, але змістовно не здатне виявити дефекти проєкту договору. Третім є поєднання рідкої періодичності засідань колегіальних органів із механізмами мовчазної згоди, за якого рішення фактично ухвалюється без обговорення.

Таким чином, система антикорупційних інструментів у сфері оборонних закупівель України сформована на всіх чотирьох рівнях, від законодавчого й стратегічного до інституційного, цифрового та зовнішнього, і за своїм змістом відповідає підходам, які застосовуються в державах Альянсу. Основний зміст реформи полягає в переході від переважно каральної логіки до превентивної та системної, у якій доброчесність забезпечується архітектурою процесу, а не лише виявленням уже вчинених порушень. Цифрові рішення дають відстежуваність рішень і скорочують дискрецію, проте вони не замінюють інституційних гарантій незалежності наглядових і контрольних органів. Ключовим завданням на сучасному етапі є не ухвалення нових актів, а якість підзаконного регулювання та реальне, а не формальне функціонування вже запроваджених механізмів, оскільки саме на рівні процедурних деталей закладається більшість корупційних ризиків.

Література

[1] Про оборонні закупівлі : Закон України від 17.07.2020 № 808-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-20

[2] Про запобігання корупції : Закон України від 14.10.2014 № 1700-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1700-18

[3] Про засади державної антикорупційної політики на 2021–2025 роки : Закон України від 20.06.2022 № 2322-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2322-20

[4] Про затвердження Державної антикорупційної програми на 2023–2025 роки : постанова Кабінету Міністрів України від 04.03.2023 № 220. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/220-2023-п

[5] Стратегічний огляд оборонних закупівель Україна–НАТО. Рада Україна–НАТО, 2024. URL: https://www.army-pro.com/wp-content/uploads/2024/10/strategichnyj-oglyad-oboronnyh-zakupivel-ukrayina-nato.pdf

[6] NATO Building Integrity Policy. Warsaw Summit, 2016. URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_135626.htm

[7] OECD Recommendation of the Council on Public Procurement. Paris : OECD, 2015. URL: https://legalinstruments.oecd.org/public/doc/131/131.en.pdf

[8] ISO 37001:2025. Anti-bribery management systems. Requirements with guidance for use. Geneva : ISO, 2025. URL: https://www.iso.org/standard/37001

[9] НАЗК, АОЗ і ДОТ презентували прогрес впровадження механізмів прозорості, доброчесності та підзвітності в оборонних закупівлях. НАЗК, 2025. URL: https://nazk.gov.ua/uk/novyny/nazk-aoz-i-dot-prezentuvaly-progres-vprovadzhennya-mehanizmiv-prozorosti-dobrochesnosti-ta-pidzvitnosti-v-oboronnyh-zakupivlyah/

[10] Міноборони масштабує маркетплейс DOT-Chain Defence. Кабінет Міністрів України, 2025. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/minoborony-masshtabuie-marketpleis-dot-chain-defence-u-zhovtni-dostup-otrymaiut-130-bryhad

ANTI-CORRUPTION INSTRUMENTS IN DEFENCE PROCUREMENT: EXISTING MODELS AND DIRECTIONS FOR THEIR IMPROVEMENT

Lomzhets Yuliia
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The importance of anti-corruption instruments in defence procurement is substantiated as a matter of national security rather than of budgetary discipline alone, since corruption in this field directly affects the timeliness and quality of supply to the armed forces. The models already implemented in Ukraine are described, including such aspects as: legislative and strategic regulation, the institutional model of a centralised contracting authority with an internal compliance system, digital procurement solutions, and the external framework of NATO, OECD and international compliance standards, together with the weaknesses of the current secondary regulation that make substantive rather than formal functioning of the existing instruments the key task.

Keywords: defence procurement, corruption risks, integrity, compliance, anti-corruption programme, national security.

УДК 656.61

КОРДОН ЯК ФАКТОР РОЗВИТКУ МОРСЬКОЇ НФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Філіппських М.О.,
старший викладач кафедри морського та господарського права
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
mariia.filippskykh@nuos.edu.ua

Анотація. У статті досліджено вплив державного кордону на розвиток морської інфраструктури України в умовах глобалізації, європейської інтеграції та воєнних викликів. Проаналізовано роль морських кордонів у формуванні транспортно-логістичних мереж, розвитку портового господарства, забезпеченні міжнародної торгівлі та національної безпеки. Визначено основні тенденції розвитку морської інфраструктури України в контексті трансформації геополітичного середовища та функціонування морських транспортних коридорів.

Ключові слова: державний кордон, морська інфраструктура, морські порти, транспортні коридори, морська логістика, економічна безпека, Україна.

Вступ. Розвиток морської інфраструктури є одним із ключових чинників забезпечення економічного зростання держави, інтеграції у світову транспортну систему та реалізації експортного потенціалу. Для України, яка має вихід до Чорного моря та значний транзитний потенціал, державний кордон виступає не

лише лінією територіального розмежування, але й важливим фактором просторового, економічного та інфраструктурного розвитку. Особливого значення проблема набула після початку повномасштабної агресії Російської Федерації, що суттєво вплинула на функціонування морських портів та міжнародних транспортних маршрутів. Морські порти залишаються важливими елементами транспортної системи держави та міжнародних транспортних коридорів, від ефективності яких залежить конкурентоспроможність національної економіки.

Кордон як економічний чинник розвитку морської інфраструктури

Державний кордон виконує важливу економічну функцію, забезпечуючи інтеграцію національної економіки у міжнародні торговельні та транспортні мережі. Морські кордони України створюють передумови для розвитку портової інфраструктури, логістичних центрів, транспортних вузлів та індустріальних зон у прибережних регіонах.

Морські порти забезпечують значну частину зовнішньоторговельних операцій держави та виступають ключовими елементами транспортної системи. Розташування України на перетині міжнародних транспортних маршрутів сприяє формуванню транзитного потенціалу та розвитку мультимодальних перевезень.

Водночас прикордонне положення морських регіонів стимулює залучення інвестицій у розвиток портових потужностей, модернізацію причалів, поглиблення акваторій та цифровізацію логістичних процесів. Сучасні тенденції розвитку портової галузі пов’язані з упровадженням цифрових технологій, автоматизацією управління та інтеграцією в глобальні ланцюги постачання.

Геополітичне значення морського кордону

Морський кордон України має важливе геополітичне значення, оскільки визначає можливості держави щодо використання морських ресурсів, забезпечення свободи судноплавства та участі у міжнародних транспортних мережах. Контроль над морськими комунікаціями безпосередньо впливає на економічну безпеку країни та її позиції у світовій торгівлі.

Після 2022 року морська інфраструктура України зазнала значних втрат унаслідок воєнних дій. Пошкодження портових об’єктів, обмеження судноплавства та ризики для міжнародних перевезень суттєво вплинули на функціонування галузі. Незважаючи на це, українські порти продовжують забезпечувати експортні операції та демонструють високий рівень адаптивності до нових умов. За офіційними даними, морські порти України у 2025 році виконали понад 95 % планових показників вантажообігу, що свідчить про стійкість сектору навіть в умовах постійних загроз.

Кордон як фактор безпеки та модернізації

Однією з важливих функцій державного кордону є забезпечення національної безпеки. У морській сфері це передбачає розвиток систем навігаційного забезпечення, моніторингу судноплавства, захисту критичної інфраструктури та контролю за морськими комунікаціями.

Сучасні виклики стимулюють модернізацію морської інфраструктури України. Пріоритетними напрямами є розвиток альтернативних логістичних маршрутів, створення нових транспортних хабів, розширення міжнародного співробітництва та інтеграція до транспортної мережі Європейського Союзу. Значна увага приділяється реалізації програм відновлення та розвитку морських портів, внутрішніх водних шляхів і флоту.

Перспективи розвитку морської інфраструктури в прикордонному просторі

Подальший розвиток морської інфраструктури України значною мірою залежатиме від ефективності використання прикордонного положення держави. Основними перспективними напрямами є:

- модернізація портових комплексів та транспортних вузлів;
- розвиток мультимодальних транспортних коридорів;
- інтеграція до транс’європейської транспортної мережі;
- цифровізація логістичних процесів;
- залучення міжнародних інвестицій;
- підвищення рівня безпеки мореплавства;
- розвиток державно-приватного партнерства у портовій галузі.

Світовий досвід демонструє, що порти виступають центральними вузлами глобальних транспортних мереж і забезпечують інтеграцію національних економік у міжнародну систему торгівлі. Близько 80 % світової торгівлі за обсягами здійснюється морським транспортом, що підтверджує стратегічну роль морської інфраструктури у сучасній економіці.

Висновки. Державний кордон є одним із визначальних факторів розвитку морської інфраструктури України. Його вплив проявляється через формування міжнародних транспортних коридорів, розвиток портового господарства, забезпечення зовнішньоекономічної діяльності та зміцнення національної безпеки. У сучасних умовах особливого значення набувають питання модернізації морської інфраструктури, диверсифікації логістичних маршрутів та інтеграції України до європейського транспортного простору. Ефективне використання потенціалу морського кордону сприятиме підвищенню

конкурентоспроможності економіки, зміцненню транзитного потенціалу держави та забезпеченню її сталого розвитку.

Література

[1] Шемякін О.М. Міжнародне приватне морське право – Одеса: ЛАТСТАР, 2000. – 27 с.

[2] Корнійко Я., Валявська Н., Ушацький Р. Перспективи розвитку та аналіз сучасного стану портової галузі України. Економіка та суспільство- Одеса: 2025.

[3] Тенденції розвитку морської транспортної інфраструктури України. НУОМА, 2024.

[4] Конвенції про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден у морі 1972 року (МППЗС-72). URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_137

[5] Конвенція Організації Об'єднаних Націй по морському праву 1982 року. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_057

[6] Конвенция об ограничении ответственности по морским требованиям 1976г. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_257

[7] Протокол 1996 года об изменении Конвенции об ограничении ответственности по морским требованиям 1976 года. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_002

THE BORDER AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S MARITIME INFRASTRUCTURE

Maria Filippskikh

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

Abstract. The article examines the impact of the state border on the development of Ukraine's maritime infrastructure amidst globalization, European integration, and wartime challenges. The role of maritime borders in shaping transport and logistics networks, developing port infrastructure, and ensuring international trade and national security is analyzed. Key trends in the development of Ukraine's maritime infrastructure are identified within the context of the changing geopolitical environment and the operation of maritime transport corridors.

Keywords: state border, maritime infrastructure, seaports, transport corridors, maritime logistics, economic security, Ukraine.

УДК 342.9:343.35

ОСОБЛИВОСТІ АДМІНІСТРАТИВНО ПРАВОВИХ МЕХАНІЗМІВ ЗАПОБІГАННЯ ТА ПРОТИДІЇ КОРУПЦІЇ

Бутенко В.О.,

студент другого року навчання другого (магістерського) рівня освіти, факультету Морського права, Національний університет кораблебудування імені Макарова, місто Миколаїв, Україна

buttttt@ukr.net

Анотація. Проведений аналіз адміністративно-правових засобів запобігання та протидії корупції в Україні які розглядаються як особлива юридична конструкція з характерними рисами адміністративного законодавства. Важливим елементом в цьому процесі є інтеграція міжнародних стандартів: Конвенція ООН проти корупції [11], рекомендації Групи держав проти корупції GRECO [4], директиви ЄС [5], які після ратифікації стають частиною національного законодавства (ст. 9 Конституції). Особливу увагу приділено превентивним заходам – обов'язковому декларуванню доходів і майна, врегулюванню конфлікту інтересів, дисциплінарним процедурам та адміністративній відповідальності за порушення встановлених правил. Зроблено висновок, що багаторівнева нормативна база та інтеграція міжнародних стандартів забезпечують ефективність правового регулювання у сфері протидії корупції.

Ключові слова: адміністративно-правовий механізм, запобігання та протидія, адміністративне законодавство, превентивні заходи, національна безпека, антикорупційна політика, нормативно-правові приписи.

Вступ. Корупція в Україні має системний характер і становить одну з найбільших загроз для державної безпеки та суспільної стабільності. Як зазначає Ю. Левченко, «корупція не обмежується окремими правопорушеннями, а пронизує ключові сфери суспільного життя, підриваючи засади верховенства права та довіру громадян до влади. Її руйнівний вплив проявляється у деформації національної економіки, створенні нерівних умов для доброчесних і корумпованих підприємців, зниженні

конкурентоспроможності на внутрішньому та зовнішньому ринках, а також у формуванні негативного іміджу держави на міжнародній арені. Корупція поглиблює соціальну нерівність, спричиняє зубожіння населення та детермінує зростання злочинності. Саме тому протидія цьому явищу є одним із першочергових завдань державної політики та ключовим напрямом діяльності органів влади» [10, с. 1].

Мета – окреслити особливості адміністративно-правових механізмів запобігання та протидії корупції, а також проаналізувати їх нормативні основи, інституційні структури та специфічні риси. Особлива увага приділяється визначенню факторів, що забезпечують превентивний характер та ефективність національної антикорупційної політики України.

Виклад основного матеріалу. Важливою рисою адміністративно-правових механізмів є їхня превентивна спрямованість: вони зорієнтовані не лише на притягнення до відповідальності, а й на недопущення корупційних практик шляхом фінансового контролю, обов'язкового декларування доходів, врегулювання конфлікту інтересів, запровадження етичних кодексів та реалізації антикорупційних програм.

Їхня легітимність та зміст мають конституційне підґрунтя, адже саме Конституція України [1] закріплює принципи верховенства права, рівності громадян і обов'язку органів влади діяти виключно на основі закону (ст. 19, ст. 68). На цій основі формуються спеціальні закони, зокрема Закон «Про запобігання корупції»[2], положення Кодексу України про адміністративні правопорушення[3], а також підзаконні акти й міжнародні стандарти (Конвенція ООН проти корупції [11], GRECO [4], директиви ЄС [5]). Це забезпечує інтеграцію адміністративно-правових механізмів у загальну систему правового регулювання.

Як слушно зазначає І.О. Омельченко, «адміністративно-правовий механізм у сфері запобігання та протидії корупції має складну юридичну конструкцію, яка досить схожа на механізм правового регулювання в цілому, який, у свою чергу, охоплює всі суспільні відносини в державі, що врегульовані за допомогою права» [7, с. 274].

Як зазначають Ю. П. Битяк, І. М. Балакарєва, М. І. Бєлікова, що, «метод адміністративного права базується на відносинах субординації між учасниками суспільних відносин, а це є ознакою так званого імперативного методу регулювання (або методу владних приписів)» [8, с. 10].

У цьому контексті Закон України «Про запобігання корупції»[9] визначає базові поняття, принципи та обов'язки суб'єктів, а також встановлює систему фінансового контролю, декларування доходів і запобігання конфлікту інтересів. Це створює правове поле, у межах якого здійснюється регулювання та забезпечується правова визначеність у сфері протидії корупції.

Як підкреслює Д.С. Тихонова, «саме превентивність є ключовим елементом у забезпеченні національної безпеки та довіри громадян до влади. Вона наголошує, що переосмислення карального підходу на користь превентивно-корекційного, відповідає сучасним стандартам належного урядування. Отже, адміністративно-правові механізми у сфері протидії корупції слід розглядати як інструмент не лише відповідальності, а й стратегічної превенції, що забезпечує стійкість державного апарату в умовах внутрішніх і зовнішніх викликів» [1 с. 171].

Ще однією рисою є міжнародна інтеграція. Вчений-юрист О.Б. Васильєв наголошує, що «ключовим аспектом імплементації міжнародних антикорупційних норм виступає розвиток міжнародного співробітництва. Україна активно взаємодіє з міжнародними організаціями у сфері протидії корупції, зокрема з Групою держав проти корупції (GRECO)[4], Організацією економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР)[12] та Європейським Союзом[13]. Імплементація міжнародних стандартів – таких як Конвенція ООН проти корупції, рекомендації GRECO[4] та директиви ЄС[5] – у національне законодавство є необхідною умовою ефективності антикорупційної системи України» [11, с. 185].

Висновки. Встановлено, що адміністративно-правові механізми запобігання та протидії корупції в Україні функціонують як комплекс правових норм, закріплених в законах та підзаконних актах та які забезпечують превентивність і відкритість державного управління. Також, що поєднання превентивних заходів та міжнародної співпраці створює реальні передумови для підвищення довіри громадян до влади та зміцнення державності.

Література

[1] Конституція України: Закон від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text

[2] Про запобігання корупції: Закон України від 14 жовтня 2014 р. № 1700-VII. Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1700-18

[3] Кодекс України про адміністративні правопорушення : Закон України від 07.12.1984 № 8073-X Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/8073-10

[4] GRECO (Group of States against Corruption): офіційний сайт Ради Європи. URL: https://www.coe.int/en/web/greco

[5] EUR-Lex: офіційний портал Європейського Союзу з доступу до законодавства ЄС. URL: https://eur-lex.europa.eu/homepage.html

[6] Омельченко І.О., Яра О.С. Адміністративно-правовий механізм запобігання та протидії корупції на публічній службі. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2024. № 7. С. 274–276. URL: https://lsej.org.ua/7_2024/68.pdf

[7] Адміністративне право : навч. посіб. для здобувачів вищ. освіти. За заг. редакцією професорів В.М. Гаращука та Р.В. Шаповала. Харків: Право, 2023. 25 с. URL: https://library.nlu.edu.ua/images/files/np_AP-2023.pdf

[8] Тихонова О. Адміністративно-правовий механізм запобігання корупції на державній службі. *Право і суспільство*. 2026. № 3. С. 170–176. URL: https://www.pravoisuspilstvo.org.ua/archive/2026/3_2026/25.pdf

[9] Васильєв О.Б. Імплементація антикорупційних норм міжнародного права в українське законодавство в умовах трансформації суспільства. *Юридичний науковий електронний журнал.* 2025. № 1. С. 181–189. URL: https://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/28072/3/Vasyliev.pdf

[10] Левченко Ю. О. Системність як ідентифікаційна ознака корупції / Ю. О. Левченко // Національна академія внутрішніх справ. Електронний архів НАВС. URL: https://elar.navs.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b1132081-8e35-4d0b-8ddf-9274dceedb2e/content (дата звернення: 17.09.2026).

[11] Конвенція Організації Об'єднаних Націй проти корупції : міжнародний документ від 31 жовт. 2003 р. № 995_c16 // Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_c16

[12] Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). Офіційний сайт. URL: https://www.oecd.org/

[13] Європейський Союз. Офіційний вебсайт. URL: https://european-union.europa.eu/index_en

SPECIFIC FEATURES OF ADMINISTRATIVE-LEGAL MECHANISMS FOR THE PREVENTION AND COUNTERACTION OF CORRUPTION.

Butenko Vladyslav Oleksandrovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An analysis was conducted of the administrative and legal mechanisms for preventing and combating corruption in Ukraine as a legal construct with specific features of administrative legislation. An important element in this process is the integration of international standards, that is, the UN Convention against Corruption, the recommendations of the Group of States against Corruption (GRECO), and EU directives, which, after ratification, become part of national legislation (Article 9 of the Constitution).

Keywords: administrative-legal mechanism, prevention and counteraction, administrative legislation, preventive measures, national security, anti-corruption policy, regulatory legal provisions.

УДК 34:004.8:629.5

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СУДНОБУДУВАННІ: ПРАВОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ

Дмитрук І.М.,
кандидат юридичних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
iryna.dmytruk@nuos.edu.ua

Анотація. Визначено правові аспекти використання ШІ в сфері суднобудування. Окреслено проблемні питання, які потребують нормативного врегулювання. Проаналізовано правові ризики, які можуть виникати при використанні ШІ в сфері суднобудування.

Ключові слова: суднобудування, нормативне регулювання, ШІ, господарсько-правові санкції, господарсько-правові відносини.

Вступна частина. ШІ стрімко увірвався у всі сфери суспільного життя, не оминаючи галузь суднобудування. Питання щодо його використання в будь-якій галузі не є суто проблемою національного законодавства. Воно пронизує всі країни світу. Саме тому актуальності набуває законодавче врегулювання правових відносин між суб'єктами при використанні ШІ на міжнародному рівні. Даючи поштовх цифровізації та заміні людської праці на нові інформаційні технології, робототехніку, вказаний новий вид правовідносин встановлює проблеми та ризики в сфері суднобудування щодо застосування юридичної

відповідальності, договірні відносини з використанням ШІ, моделювання та конструювання деталей для суден з дотриманням права авторства, захист конфіденційної інформації та інші.

Мета – дослідити нормативно-правове регулювання використання ШІ у сфері суднобудування.

Виклад матеріалу. Суднобудування традиційно вважалось однією із стратегічних сфер діяльності України. Проте під час дії воєнного стану суднобудування відходить на другий план. Це не означає, що галузь не розвивається. Наразі використання сучасних технологій, серед яких і застосування ШІ, є дуже розповсюджено. Ші активно використовується у проєктуванні суден, оптимізації конструкції, проведення автоматизованого контролю якості, роботизації виробництва, аналізу великих об'ємів технічних даних, а також при автономному або напівавтономному управлінні суднами. У перспективі, не можливо буде уявити сферу суднобудування без використання робототехніки, сучасних інновацій та ШІ.

Сьогодні глобальна модель розвитку є результатом симбіозу трьох факторів: людей з їх знаннями і вміннями, інформації та новітніх технологій. Рівень інформатизації населення та суб'єктів господарювання є ключовим фактором, який впливає на розвиток інформаційного суспільства [1].

Правове регулювання використання ШІ перебуває на стадії активної розробки, оскільки існує проєкт закону України, який врегульовуватиме всі спірні питання правового характеру з приводу використання ШІ. Проте, поряд з тим, існує Концепція розвитку ШІ в Україні [2] В цьому документі визначено, що використання технологій штучного інтелекту сприятиме зменшенню обсягу витрат, підвищенню ефективності виробництва, якості товарів і послуг. Зростання обсягів даних, розроблення нових типів сенсорів та здешевлення обчислювальних потужностей сприятиме створенню умов для подальшого розвитку технологій штучного інтелекту. Тобто, в цілому, держава не проти використовувати ШІ, але для цього потрібні чіткі правила. Якщо окреслити саме господарсько-правову проблематику, то вона, перш за все, може стосуватися юридичної відповідальності. Наприклад, підприємство використовувало ШІ для проєктування елемента судна. Але там виявилась помилка. В даному випадку виникає проблема розподілу юридичної відповідальності між учасниками цих правовідносин. Адже не зрозуміло, хто саме понесе відповідальність: чи підприємство, чи розробник ШІ, який використовували як інструмент, чи, можливо, постачальник програмного забезпечення. Ті ж самі питання правового значення піднімаються при визначення авторства на елемент судна, якщо було використано ШІ.

Для вирішення таких важливих проблем потрібно впровадити на національному рівні закон, який би відповідав положенням Регламенту ЄС про використання штучного інтелекту, що вступив в дію 1 серпня 2024 року. На основі цього кожне суднобудівне підприємство зможе розробити свої політики коректного використання ШІ. Тобто вбачається найефективнішим способом вирішення проблемних питань використання ШІ в суднобудівній галузі – це локальне врегулювання. Проте без загальних положень, встановлених законом, це важко впровадити.

Література

[1] Гаман Г.В. Процес роботизації та застосування ШІ в сфері будівництва. *Економіка та суспільство.* Випуск № 76. 2025.

[2] Розпорядження КМУ від 2 грудня 2020 р. № 1556-р «Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні» URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SHIPBUILDING: LEGAL ASPECTS OF ITS USE

Dmytruk I.M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The legal aspects of using AI in the shipbuilding industry are defined. Problematic issues requiring regulatory resolution are outlined. Legal risks that may arise from the use of AI in shipbuilding are analyzed.

Keywords: shipbuilding, regulatory framework, AI, economic-legal sanctions, economic-legal relations.

УДК 342.9:355.1

АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОГО ОБОВ'ЯЗКУ В УКРАЇНІ

Концовенко Д.Д.,
студент другого року навчання другого (магістерського) рівня освіти, факультету Морського права
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
sqezechannel@gmail.com

Анотація. У роботі розглядаються основні особливості адміністративно-правового регулювання реалізації військового обов'язку в Україні. Основну увагу приділено військовому обліку, мобілізаційним процедурам та діяльності органів публічної влади у цій сфері. Проаналізовано проблемні питання, які виникають під час практичної реалізації законодавчих положень в умовах воєнного стану. Запропоновано окремі напрями вдосконалення адміністративно-правового регулювання з урахуванням необхідності забезпечення прав громадян.

Ключові слова: військовий обов'язок, адміністративно-правове регулювання, військовий облік, військова служба, мобілізація, воєнний стан, права громадян.

Військовий обов'язок є одним із важливих елементів забезпечення обороноздатності України. В умовах воєнного стану його практичне значення значно зросло, оскільки держава повинна забезпечувати належну організацію військового обліку, комплектування Збройних Сил України та інших військових формувань, а також проведення мобілізаційних заходів. Водночас виконання військового обов'язку безпосередньо пов'язане з реалізацією прав та обов'язків громадян, тому відповідні процедури повинні мати чітке правове регулювання.

Правовою основою військового обов'язку є Конституція України. Стаття 65 Основного Закону встановлює, що захист Вітчизни, незалежності та територіальної цілісності України є обов'язком громадян України. Порядок виконання цього обов'язку визначається законом [1].

Основним спеціальним нормативно-правовим актом у цій сфері є Закон України «Про військовий обов'язок і військову службу». Він визначає зміст військового обов'язку, порядок його виконання, а також загальні засади проходження громадянами військової служби [2]. При цьому військовий обов'язок не обмежується безпосереднім проходженням військової служби. Він включає цілу систему заходів, починаючи з військового обліку та підготовки громадян до служби і закінчуючи виконанням обов'язків під час перебування у запасі.

Порядок організації та ведення військового обліку визначений постановою Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2022 року № 1487 [3]. Цим нормативним актом встановлено правила ведення військового обліку різними органами державної влади, органами місцевого самоврядування, територіальними центрами комплектування та соціальної підтримки, підприємствами, установами, організаціями та закладами освіти.

З адміністративно-правової точки зору важливим є те, що у процесі військового обліку одночасно беруть участь значна кількість суб'єктів. Кожен із них має визначені законодавством повноваження та обов'язки. Тому ефективність всієї системи залежить не тільки від змісту окремих нормативних актів, а й від того, наскільки узгоджено ці суб'єкти взаємодіють між собою.

Окреме місце у реалізації військового обов'язку займають мобілізаційні заходи. Їх правове регулювання здійснюється, зокрема, на підставі Закону України «Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію» [4]. Саме в цій сфері найбільш помітним є поєднання публічного інтересу держави у забезпеченні оборони та необхідності дотримання прав громадян.

Окремої уваги потребує питання дотримання прав громадян під час здійснення заходів, пов'язаних із мобілізацією. У суспільстві значного поширення набув термін «бусифікація», яким зазвичай описують випадки примусового доставлення чоловіків до територіальних центрів комплектування та соціальної підтримки. Водночас для юридичного аналізу більш коректно говорити про перевірку військово-облікових документів, адміністративне затримання та доставлення особи у випадках і порядку, передбачених законодавством.

Проблема полягає не в самому факті проведення мобілізаційних заходів, оскільки їх правова основа встановлена законом, а в можливому перевищенні наданих повноважень під час їх практичної реалізації. Якщо особу фактично позбавляють можливості вільно залишити місце перебування, застосовують до неї фізичний вплив або доставляють до відповідного органу без належної правової підстави, такі дії потребують окремої правової оцінки.

Не менш важливим є питання документування таких процедур. Фіксація факту перевірки документів, підстав доставлення, часу фактичного обмеження свободи та дій посадових осіб могла б зменшити кількість спірних ситуацій і водночас захистити як громадян, так і самих представників державних органів від необґрунтованих звинувачень.

У цьому контексті доцільним видається запровадження єдиного зрозумілого адміністративного алгоритму: встановлення особи та перевірка військово-облікових документів – визначення конкретної правової підстави для подальших дій – документування відповідного рішення – роз'яснення особі її прав та можливості оскарження. Такий підхід дозволив би поєднати інтереси держави щодо забезпечення мобілізаційних заходів із необхідністю дотримання принципу законності.

Окремим напрямом удосконалення може стати посилення контролю за діяльністю посадових осіб, які безпосередньо здійснюють мобілізаційні заходи. У разі встановлення порушень має наставати передбачена законом відповідальність, незалежно від того, чи були такі дії спрямовані на ухилення від виконання військового обов'язку, чи мали іншу мету.

Ще одним важливим напрямом є подальша цифровізація військового обліку. Використання електронних інформаційних систем може спростити взаємодію громадян із державними органами та зменшити кількість зайвих адміністративних процедур. Разом із тим цифровізація повинна супроводжуватися належним захистом персональних даних та можливістю виправлення помилкової інформації.

Отже, реалізація військового обов'язку в Україні є складним процесом, який включає військовий облік, підготовку громадян до військової служби, її проходження, перебування у запасі та виконання мобілізаційних обов'язків. Для належного функціонування цієї системи недостатньо лише встановити відповідні обов'язки громадян. Необхідно також забезпечити зрозумілий порядок їх реалізації та чітко визначити повноваження органів публічної влади.

Перспективними напрямами вдосконалення адміністративно-правового регулювання є подальше впорядкування нормативної бази, цифровізація військового обліку, покращення інформаційної взаємодії між відповідними державними органами та підвищення доступності інформації про права й обов'язки громадян. При цьому всі адміністративні процедури у сфері військового обов'язку мають здійснюватися на основі законності та з дотриманням передбачених законодавством гарантій захисту прав людини.

Література

[1] Конституція України: Закон від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text

[2] Про військовий обов'язок і військову службу : Закон України від 25.03.1992 № 2232-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2232-12#Text

[3] Про затвердження Порядку організації та ведення військового обліку призовників, військовозобов'язаних та резервістів : постанова Кабінету Міністрів України від 30.12.2022 № 1487. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1487-2022-%D0%BF#Text

[4] Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію : Закон України від 21.10.1993 № 3543-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3543-12#Text

[5] Питання проведення призову громадян на військову службу під час мобілізації, на особливий період : постанова Кабінету Міністрів України від 16.05.2024 № 560. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/560-2024-%D0%BF#Text

ADMINISTRATIVE-LEGAL REGULATION OF THE FULFILLMENT OF MILITARY DUTY IN UKRAINE

Kontsovenko Daniil Dmytrovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines the key features of the administrative-legal regulation of the fulfillment of military duty in Ukraine. Particular attention is paid to military registration, mobilization procedures, and the activities of public authorities in this sphere. The study analyzes issues arising during the practical implementation of legislative provisions under martial law conditions. Specific avenues for improving administrative-legal regulation are proposed, taking into account the need to safeguard citizens' rights.

Keywords: military duty, administrative-legal regulation, military registration, military service, mobilization, martial law, citizens' rights.

СЕКЦІЯ 11. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОЗВИТОК МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

УДК 005:8.627.215

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ІНФРАСТРУКТУРИ РІЧКОВИХ ПОРТІВ

Подаєнко М.Ю.,
асистент Навчально-наукового центру морської інфраструктури
podaenkomarina@gmail.com
Харитонов М.Ю.,
завідувач лабораторією кафедри кондиціювання і рефрижерації
kvadrospectr@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуті основні тренди розвитку річкових портів. Перспективним напрямком слід вважати процеси цифровізації діяльності річкових портів. Запропоновано основні показники щодо визначення готовності річкових портів до цифровізації.

Ключові слова: річковий порт, цифровізація, інфраструктура, моделі цифровізації, показники

Вступна частина. У відповідності до [1] «об'єкти інфраструктури внутрішнього водного транспорту, призначені для надання послуг річковим портом (терміналом)».

У сфері внутрішнього водного транспорту згідно до цього Закону державне регулювання здійснюється з метою реалізації єдиної державної економічної, інвестиційної, науково-технічної та соціальної політики.

Також, «з метою приведення законодавства України з питань забезпечення безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах у відповідність до вимог європейських норм та стандартів, що стосується утворення та функціонування річкових інформаційних служб, надання гармонізованих *інформаційних послуг* на внутрішніх водних шляхах» , затверджено «Положення про річкову інформаційну службу, що додається[2].

Як доводять виконані дослідження [3,4] сучасні тенденції розвитку річкових портів та внутрішнього водного транспорту потребують формування технологічної платформи для цифровізації (ТП) процесів експлуатації річкових портів України, що являє собою актуальне науково-прикладне завдання.

Одним з елементів формування ТП слід вважати визначення ступеню готовності адміністрацій портів до їх цифровізації.

Метою роботи є розробка складових визначення ступеню готовності портів до їх цифровізації.

Основна частина. Виконані дослідження довели,що на теперішній час відсутні публікації щодо складових визначення ступеню готовності адміністрацій портів до їх цифровізації.

Наводяться результати аналізу відомих методик для визначення ступеню готовності до цифровізації: модель компанії Deloitte, моделі DTI, DBA, моделі компаній IMO, CASCO, модель ГІСП та інших.

Розглянуті моделі оперують наступними показниками: Strategy & Governance, Products & Services, Customer Management, Operations & Supply Chain, Corporate Services & Control, Information Technology, Workplace & Culture,

При більш детальному аналізі слід відзначити, що існуючи моделі не забезпечують відкритість процедур оцінювання, базуються на фрагментарних методологіях, містять високий рівень суб'єктивності та таке інше.

Аналіз та синтез існуючих показників цифрової зрілості дозволив визначити для річкових портів основні складові визначення ступеню готовності портів до їх цифровізації:

– наявність стратегії розвитку;
– наявність стабільного вантажообігу зараз та на перспективу;
– ресурсне забезпечення розробки та впровадження процесів цифрової трансформації(кадрове, організаційне, технологічне, фінансове);
– уявлення цінності впровадження системи цифрової трансформації для підприємства та його співробітників;
– уявлення ризиків та системи їх компенсування.

Література

[1] Закон України «Про внутрішній водний транспорт» – 1054-IX, Редакція від 28.08.2025

[2] Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України 30.05.2023, № 462 « Про затвердження Положення про річкову інформаційну службу»

[3] Транспортна стратегія 2030. Яким бачать розвиток портової галузі. URL: https://cfts.org.ua/articles/transportna_strategiya_2030_yakim_bachat_rozvitok_portovo_galuzi_2089

[4] Управління морським та внутрішнім водним транспортом у 2025 році: ключові результати та плани на 2026 рік. URL: https://mininfra.gov.ua/news/upravlinnia-morskym-ta-vnutrishnim-vodnym-transportom-u-2025-rotsi-kliuchovi-rezultaty-ta-plany-na-2026-rik

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL PLATFORM FOR THE DIGITALIZATION OF OPERATIONAL PROCESSES OF RIVER PORT INFRASTRUCTURE

Podaienko Marina, Kharytonov Mikhaylo

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines the main trends in the development of river ports. The digitization of river port operations should be considered a promising area of development.

Keywords: river port, digitalization, infrastructure, digitalization models, indicators.

УДК 378.147:629.5:658.26

АНАЛІЗ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СИСТЕМОТЕХНІКИ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В НУК З ПЕРСПЕКТИВАМИ НА МАЙБУТНЄ

Чумакова В.В.,
провідний фахівець
viktoriia.chumakova@nuos.edu.ua
Шевцов А.П.,
доктор технічних наук, професор
anatoliy.shevtsov@nuos.edu.ua
Навчально-науковий центр Морської інфраструктури,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Метою роботи є обґрунтування напрямку підвищення рівня підготовки фахівців фахівців системотехніки морської інфраструктури та енергетичного менеджменту в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова. Методи дослідження базуються на статистичному аналізі результатів навчання, випуску та працевлаштування. Результати дослідження показали, що підготовка фахівців рівнів бакалавр та магістр відповідає стандартам Міністерства освіти і науки України та запитам підприємств за працевлаштуванням. Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні раціональних методів отримання професійних навичок при виробничих практиках, науковому стажування та їх впровадженні при підготовці і захисті кваліфікаційних робіт. Практичне значення полягає у визначенні індивідуальних напрямків підготовки щодо професійного розвитку фахівців.

Ключові слова: бакалавр, магістр, навчання, кваліфікаційна робота, працевлаштування.

Вступ. В 2017 році згідно наказів Міністерства освіти і науки (МОН) України в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) акредитовано підготовку фахівців магістрів за двома освітньо-професійними програмами (ОПП) Системотехніка об’єктів морської інфраструктури та Енергетичний менеджмент. Відповідальною за випуск магістрів за спеціальностями, що акредитувалися, була кафедра Системотехніки морської інфраструктури і енергетичного менеджменту (СМІіЕМ), яка входила до факультету морської інфраструктури. В 2021 році кафедра СМІіЕМ реорганізована в навчально-науковий центр Морська інфраструктура (ННЦМІ). Кафедра розробила навчальний план, мала відповідні кадри для забезпечення якісної підготовки фахівців. Прийом на програму магістра за спеціальностями становив 25 осіб денної форми навчання.

Мета роботи – обґрунтування напрямку підвищення рівня підготовки фахівців фахівців системотехніки морської інфраструктури та енергетичного менеджменту в НУК.

Завдання дослідження – результати десятирічної підготовки фахівців системотехніки морської інфраструктури та енергетичного менеджменту.

Метод дослідження – статистичний аналіз результатів навчання, випуску та працевлаштування.

Об'єктом дослідження є процеси підготовки бакалаврів та магістрів системотехніки морської інфраструктури та енергетичного менеджменту

Предметом дослідження є показники та характеристики ефективності навчальних процесів фахової підготовки.

Результати дослідження. З лютого 2017 року по грудень 2025 року кафедра СМІ і ЕМ та ННЦМІ випустили магістрів з системотехніки об'єктів морської інфраструктури сімдесят три та енергетичного менеджменту – вісімдесят вісім, бакалаврів з системотехніки об'єктів морської інфраструктури чотирнадцять та енергетичного менеджменту – дев'ять.

Навчальний процес студентів здійснюється згідно стандартів вищої освіти відповідно до напряму підготовки. Зміст підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр визначається освітньо-кваліфікаційною характеристикою (ОКХ) та освітньо-професійною програмою (ОПП). Типові задачі діяльності та вміння щодо їх вирішення відповідають вимогам з боку держави та конкретних споживачів випускників університету – підприємств та установ різних напрямів діяльності та форм власності. Підготовка фахівців здійснюється за кредитно-модульною системою організації навчального процесу де нормативним документом є навчальний план, який розроблено та передбачає підготовку магістрів денної форми із терміном навчання 1,5 роки. Розроблено власні робочі програми з усіх дисциплін, що викладаються відповідно до навчального плану де наведено форми і методи контролю знань та критерії оцінок. В програмах відокремлені учбові елементи та модулі рівнів засвоєння, у відповідності з якими розроблені комплексні контрольні роботи (ККР), а також критерії оцінки, що дозволяє об'єктивно та адекватно відображати рівень засвоєння програми дисципліни студентами. Робочі програми оновлюються і коригуються у відповідності з директивними документами МОН, наказами та розпорядженнями ректору університету.

Показники конкурсу на спеціальності є стабільно високими, що підтверджує попит на спеціалістів цього профілю в регіоні. Під час навчання контингент студентів зменшився. Основною причиною відрахування є невиконання навчального плану, як наслідок неспроможності деяких студентів до самоорганізації та достатньо високий рівень вимог до підготовки студентів зі спеціальностей. Базою для формування контингенту магістрів є випускники бакалаврату. Навчальний план підготовки фахівців забезпечує 8–12 осіб, що працюють у НУК на постійній основі та за сумісництвом, в тому числі: докторів наук, професорів – 2–4 особи; кандидатів наук, професорів – 1–3 особи; кандидатів наук, доцентів – 3–4 особи, асистентів – 1–2 особи. Штат випускової кафедри СМІ і ЕМ складав за особами: доктори наук та професори – 2; кандидати наук та доценти – 2; асистент – 1, провідні фахівці – 3. Очолював кафедру Шевцов Анатолій Павлович, доктор технічних наук, професор. Професорсько-викладацький штат ННЦМІ складав за особами: доктори наук та професори – 2; асистент – 1, провідний фахівець – 1, завідувач лабораторії – 1. Керівник центру Харитонов Юрій Миколайович, доктор технічних наук, професор.

На кафедрі визначені наступні основні напрямки наукових досліджень: термогазодинамічне вдосконалення і екологічна безпека енергетичних установок об'єктів морської інфраструктури; підвищення технічного рівня енергетичних установок об'єктів морської інфраструктури на основі енергоефективного і енергозберігаючого обладнання та технологій; розвитку енергетичних об'єктів морської інфраструктури, формування програм та проєктів розвитку морських та річкових портів. Обсяг наукових досліджень та отримані результати дають підставу стверджувати, що в НУК створена наукова школа з цього напрямку.

Результатами наукових досліджень в галузі енергетичного менеджменту є: 2 підручник, 4 навчальних посібника, понад 114 статей та виступів на міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Зростає зацікавленість студентів та молодих співробітників науковими дослідженнями на кафедрі. З 2016 року магістрантами кафедри в співавторстві з науковими керівниками робіт надруковано 48 тез доповідей на галузевих республіканських та міжнародних науково-технічних конференціях.

Висновки

1. Підготовка магістрів та бакалаврів за спеціальностями системотехніки морської інфраструктури та енергетичного менеджменту забезпечена освітньо-кваліфікаційними характеристиками, освітньо-професійними програмами, навчальними планами та робочими програмами дисциплін зміст яких відповідає державним вимогам, потребам ринку праці та особистості.
2. Чисельність та якісний склад науково-педагогічних та педагогічних працівників забезпечує підготовку фахівців, а підвищення їх кваліфікації за термінами та формами, підготовка науково-педагогічних кадрів через аспірантуру та докторантуру забезпечують потреби на перспективу і вирішує проблему омолодження викладацького складу.
3. Матеріально-технічна база Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова та навчально-наукового центру Морської інфраструктури цілком відповідає «Ліцензійним

умовам надання освітніх послуг у сфері вищої освіти» та дозволяє забезпечити підготовку магістрів і бакалаврів за спеціальностями протягом всього терміну навчання.

4. Організаційне та навчально-методичне забезпечення навчально-виховного процесу підготовки студентів за спеціальностями відповідає акредитаційним умовам надання освітніх послуг у сфері вищої освіти.

ANALYSIS OF THE TRAINING OF SPECIALISTS IN MARINE INFRASTRUCTURE SYSTEMS ENGINEERING AND ENERGY MANAGEMENT AT NUK, WITH FUTURE PROSPECTS

V. Chumakova, A. Shevtsov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The aim of this study is to substantiate approaches to enhancing the training of specialists in marine infrastructure systems engineering and energy management at the Admiral Makarov National University of Shipbuilding. The research methods are based on a statistical analysis of learning outcomes, graduation data, and employment statistics. The results indicate that the training of Bachelor and Master level specialists meets the standards of the Ministry of Education and Science of Ukraine as well as the employment requirements of enterprises. The scientific novelty of the study lies in substantiating rational methods for acquiring professional skills during industrial internships and research placements, and integrating these skills into the preparation and defense of qualification theses. The practical significance lies in identifying individualized training pathways for the professional development of specialists.

Keywords: bachelor, master, training, qualification thesis, employment.

UDC 643/645; 654.1; 626; 629.02; 629.5

“SMART CITY” INFRASTRUCTURE OF WATER ENVIRONMENT

Tomashuk A.,
Post graduate, engineer-researcher
Kyiv, Ukraine
tomashuk.alexander@gmail.com

Abstract. This paper is part of the “Smart City Technologies” series. Currently, the development of new territories and the expansion of human activity into these spaces–both on Earth and on other celestial bodies–is a pressing issue. The paper proposes an infrastructure model for an underwater city; it briefly examines the key infrastructure challenges involved and presents unique solutions to address them.

Keywords: underwater city, infrastructure, smart city, radio communication, transport.

Introduction. Improving the infrastructure of human settlements to enhance the quality of life is a current priority. This primarily involves meeting requirements regarding environmental conditions, energy efficiency, energy generation and storage (including through alternative energy sources), activity monitoring, and public safety. Systems in which individual functional components operate in an integrated manner are generally classified as “Smart Cities”. Numerous studies describe unique methods and tools, improvements to existing ones, or comprehensive models (systems) comprising multiple interdependent components working in concert (e.g., [1–3]).

The author develops two “Smart City” models incorporating a range of unique tools and systems designed to improve the quality of life; each model describes an advanced “world” representing the next level of technological development [4–6].

Given recent advances in establishing and developing habitats in near-Earth environments–such as “underwater hotels” located near landmasses–as well as the ambition and planning to create habitats on other planets and moons, it is reasonable to assume that environments like bodies of water (e.g., oceans and seas) could well be suitable for habitation [7, 8].

Thus, the “Smart City” concept could be applied here to achieve the same objective.

One attractive scenario involves a portion of the population periodically residing within aquatic or aerial environments (for instance, at an altitude of 1–2 km above the Earth’s surface), while the adjacent land area is utilized for agriculture. Overall, this approach could offer an excellent future solution for populating and deploying technology across a much larger share of Earth’s space–extending beyond the surface to include the realms both above and below it.

Defining a problem. In general, the problem lies in the absence of conditions necessary to sustain human life within an aquatic environment. Such an environment is unsafe and difficult to manage without the implementation of specialized tools and methods.

Beyond the obvious requirement for oxygen, key challenges include the inability to transmit information using traditional methods–since the refractive index of water at radio frequencies exceeds the threshold allowing for rectilinear propagation–and the unstable, uncontrollable behavior of vehicles (whether stationary or in motion) as they interact with the surrounding water and air.

Creating the conditions for an underwater city necessitates specialized means to regulate vehicle movement according to specific operational rules. Furthermore, implementing a "Smart City" system–a highly relevant concept in this context–requires advanced infrastructure, specifically vehicle designs capable of both surface and underwater operation. These challenges highlight the current lack of technological maturity regarding the development of aquatic infrastructure.

Energy efficiency is another critical issue. If power plants are designed and operated similarly to their land-based counterparts, significant challenges arise regarding their placement and the transmission of energy within the aquatic environment.

There are also other issues that require resolution.

Problem elimination. Developing an underwater city infrastructure is a complex task, not least because there are no existing models to describe it. Therefore, this paper proposes such a model, outlines the infrastructure based on it, and describes methods for resolving key challenges.

City Structure. Like any surface settlement, this location must provide the essentials for living and daily activity. Key elements include residential structures and spaces for movement–specifically for vehicles, droids, and the aquatic environment's inhabitants.

Managing movement within these spaces involves the control and monitoring of objects; this is integral not only to the settlement itself but also to any routes connecting it to other similar locations (including those on land or in the air). Consequently, traffic lights and other navigation aids may be utilized in the underwater environment, though their practical implementation might differ from conventional methods.

Existing underwater structures are currently built using interconnected modular blocks. These blocks are constructed from acrylic panels and a steel framework.

Air, essential for human physiology, can be generated directly from the surrounding environment. A dual-method system is used to achieve the required oxygen levels within the facility. Oxygen accumulates through two simultaneous processes: the conversion of carbon dioxide by plants, and the interaction between lighting sources and the external environment (water and phytoplankton) within the integrated system (oxygen can be pumped or otherwise transferred into the living space).

Energy. The variety of energy sources that can be converted into electricity is far more limited in an aquatic environment than on land. The primary power-generating systems here would likely include hydroelectric plants and systems that harness vibrations or acoustic noise. Placing solar panels in this setting could actually exacerbate the situation, as solar radiation is essential for the body of water's inhabitants, for any humans present within it, and for specific systems that oxygenate the water through various reactions. Disrupting the natural impact of solar radiation on living organisms can have adverse health effects–such as depression or psychological disorders; therefore, lighting systems designed to illuminate both interior spaces and the surrounding environment are also necessary in aquatic settings.

Waste. In this model, there are two environments where waste may be located: the aquatic environment and the environment inhabited by humans (human-made structures). Naturally, waste disposal is a more complex process when carried out in an aquatic environment.

One applicable method involves utilizing a specific property of graphene: the filtration of atoms and molecules based on physical size. Atoms and molecules larger than water molecules (such as those found in oil) are trapped within a filter formed by at least two parallel graphene sheets. During operation, these sheets move toward each other to capture only the waste within the device's working space. Subsequently, the waste collected by such a drone can be transferred to a central waste container or undergo preliminary processing–for example, thermal treatment (though the type of waste matters, as gases released during this process could cause secondary pollution).

The central waste container(s) can hold waste from various sources, including both the aquatic environment and human-inhabited areas. In such systems, the waste may undergo multiple processing stages before being transferred out of the system to a safe disposal site.

Communication. This is a highly relevant issue regarding aquatic environments, drawing the attention of many researchers (e.g., [9, 10]).

There are two main categories of information transmission methods: methods requiring physical contact between the receiver and the radiation, and non-contact methods–specifically, information replication without establishing a link via radiation or physical contact (a phenomenon akin to telepathy) [11]. Transmitting

information by establishing a distinct communication “channel” is one method of creating a link within an aquatic environment; this allows for signal transmission and reception through the release of compressed air into the water. Information is transmitted via radio frequencies within the “channel” formed by the rising air. A drawback of this method is radio wave diffraction, which limits signal quality.

Optical communication is one of the traditional methods used in aquatic environments [10]. One information transmission approach involves a compensation effect, where wavelengths in one spectral region are balanced by conditions and wavelengths in another region characterized by lower values within the overall spectrum. For instance, a radio-generated signal can be replicated by producing signals at the same emission frequency but using different wavelengths (such as those in the visible or infrared ranges). Furthermore, this method can enhance the quality and security of information transmission by employing multiple (or a multitude of) radiation sources, including those that emit at different wavelengths.

Information transmission via objects existing in a state of mutual dependence (entanglement). According to this theory (or hypothesis), at least two objects can generate the same information under unique conditions without relying on radiation-based interaction to exchange information between them. This area requires further research.

Transport. There are numerous challenges associated with the movement of vehicles across the surface of a body of water, most of which stem from adverse weather conditions. Consequently, one way to avoid accidents and catastrophes–while also supporting the proposed model for underwater vehicle movement–is to utilize a vehicle capable of moving freely both on the water’s surface and submerged within it; this requires equipping the vehicle with an additional engine (similar to the requirement for multi-level levitating vehicles operating above the Earth’s surface, though this specific mechanism is not described here).

Another feature that could be added to the vessel is a system for monitoring and controlling the temperature of the surrounding water. This would serve to prevent the generation of underwater waves caused by density differences between two adjacent water layers; additionally, the vehicle could be equipped with a system to raise the temperature of the surrounding water, thereby enabling higher travel speeds.

Conclusions. Establishing and maintaining urban infrastructure within an aquatic environment is a complex undertaking that requires resolving a multitude of challenges. Some of these challenges–which affect all key infrastructure sectors–have been outlined here.

Refining the infrastructure model and the technical systems that support human life in this type of environment will yield better results when formulating plans for human exploration and habitation on other celestial bodies.

References

[1] UN. Economic and Social Council. Smart Cities and Infrastructure. Report of the Secretary-General [Electronic resource]. – 2016. – URL: htpps://unctad.org/system/files/official-document/ecn162016d2_en.pdf (last access date: 13.09.26)

[2] Yang R. Smart City Development Models: A Cross-Cultural Regional Analysis from Theory to Practice / R. Yang and F. Zhen // Research in Globalization. – 2024. – Vol. 8. – 100221.

[3] Democratizing Traffic Control in Smart Cities / M. Korecki, D. Dailisan, J. Yang and D. Helbing // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2024. – Vol. 160. – 104511.

[4] Tomashuk A. Advantages of Implementing Smart City Projects / A. Tomashuk // XX International Conference “Strategy of Quality in Industry and Education”. – 2026. – 473-480 pp.

[5] Tomashuk A. Tornado Energy Conversion System / A. Tomashuk // 19th International Scientific and Practical Conference “Integrated Intelligent Robotic Systems”. – 2026. – 271-273 pp.

[6] Tomashuk A. Smart City Entertainment (excerpt) [Electronic resource]. – 2026. – URL: https://www.researchgate.net/publication/405301316_Smart_CityEntertainment_excerpt (last date access: 13.09.26)

[7] Amir S. Manufacturing Space: Hypergrowth and the Underwater City in Singapore / S. Amir // Cities. – 2015. – Vol. 49. – 98-105 pp.

[8] Dine With JP. 8 Luxury Underwater Hotels You Can Actually Book in 2026 [Electronic resource]. – 2026. – URL: https://dinewithjp.com/8-luxury-underwater-hotels/ (last access date: 13.09.26)

[9] Superlensing Enables Radio Communication and Imaging Underwater / I.I. Smolyaninov, Q. Balzano, M. Barry and D. Young // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – 18333. DOI: 10.1038/s41598-023-45663-6

[10] Recent Progress in and Perspectives of Underwater Wireless Optical Communication / S. Zhu, X. Chen, X. Liu, G. Zhang and P. Tian // Progress in Quantum Electronics. – 2020. – Vol. 73. – 100274.

[11] Tomashuk A. Un Metodo Poco Studiato per Copiare le Informazioni / A. Tomashuk. – USA : Success Publication Sar, 2026. – 5 p.

УДК 621.396.7

ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ КООРДИНАТ AIS ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МОРСЬКИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Іхсанов Ш.М.,
кандидат технічних наук, доцент
ihsanov.shamil@gmail.com
Дьяконов О.С.,
кандидат технічних наук, доцент
alex.s.dyakonov@gmail.com
Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі досліджено аномалії координат автоматичної ідентифікаційної системи (AIS), виявлені під час аналізу повідомлень, отриманих береговими приймальними станціями в акваторії Чорного моря. Запропоновано алгоритм автоматичного виявлення різких змін координат суден на основі аналізу послідовних AIS-повідомлень. Аналіз даних, отриманих протягом 20 діб літа 2022 року, дозволив виявити 69 випадків аномального зміщення координат, у тому числі повторювані аномалії для окремих суден. Показано, що значна кількість аномалій була просторово зосереджена в одному районі, що потребує додаткового аналізу причин їх виникнення. Отримані результати можуть бути використані для контролю цілісності AIS-даних у берегових інформаційних системах та службах управління рухом суден. Запропонований підхід сприяє підвищенню надійності та кіберстійкості морських кіберфізичних систем.

Ключові слова. Automatic Identification System (AIS), морські кіберфізичні системи; аномалії координат, цілісність даних, безпека судноплавства.

Вступна частина. Автоматична ідентифікаційна система (AIS) є одним із ключових джерел інформації для сучасних морських кіберфізичних систем, забезпечуючи автоматичний обмін навігаційними даними між суднами та береговою інфраструктурою. Дані AIS широко використовуються в системах управління рухом суден, моніторингу морської обстановки, автономної навігації та підтримки прийняття рішень, тому їх достовірність безпосередньо впливає на безпеку судноплавства. Зростання кількості повідомлень із аномальними або недостовірними координатами створює додаткові ризики для функціонування морських інформаційних систем, особливо в умовах воєнного часу. Останніми роками значна увага приділяється розробленню методів виявлення аномалій AIS із використанням статистичних методів, машинного навчання та штучного інтелекту [1–6]. Водночас більшість відомих досліджень орієнтована на аналіз траєкторій суден або класифікацію окремих типів аномалій, тоді як питання забезпечення цілісності AIS-даних на рівні первинних повідомлень залишаються недостатньо дослідженими [7–9].

Особливий інтерес становить аналіз AIS-повідомлень, отриманих у районах активних бойових дій, де ризик виникнення навігаційних аномалій суттєво зростає. У цій роботі досліджено AIS-повідомлення, отримані береговими приймальними станціями MarineTraffic у північно-західній частині Чорного моря протягом двадцяти діб літа 2022 року.

Метою дослідження є автоматичне виявлення випадків різкої зміни координат суден, аналіз їх просторово-часових закономірностей та оцінка можливостей використання отриманих результатів для підвищення надійності морських кіберфізичних систем. Запропонований підхід може бути використаний як додатковий механізм контролю цілісності AIS-даних у берегових інформаційних системах та службах управління рухом суден.

Матеріали та методика дослідження. Для дослідження використано AIS-повідомлення, отримані з берегових приймальних станцій мережі MarineTraffic № 4757 (м. Миколаїв) та № 5064 (м. Очаків). Аналіз виконано для двадцяти окремих діб літнього періоду 2022 року, що дозволило охопити значний обсяг навігаційних повідомлень у північно-західній частині Чорного моря. Обробка даних здійснювалася спеціально розробленою програмою, яка автоматично супроводжувала всі судна за їх ідентифікаторами MMSI та аналізувала послідовність отриманих AIS-повідомлень. Основною ознакою аномалії вважалася різка зміна географічних координат, що призводила до миттєвої швидкості, несумісної з фізично можливим рухом судна. Миттєва швидкість обчислювалася за двома послідовними AIS-повідомленнями одного судна. Якщо інтервал між сусідніми повідомленнями був меншим за 20 с, додатково перевірялася умова зміни координат не менше ніж на 25 м, що дозволяло виключити спрацьовування алгоритму через випадкові флуктуації координат за дуже малих часових інтервалів. Граничне значення допустимої

швидкості було встановлено на рівні 50 км/год, що забезпечувало високу чутливість алгоритму до потенційно аномальних повідомлень і мінімізувало ризик пропуску підозрілих випадків.

Для кожного виявленого випадку додатково аналізувалися часові характеристики повідомлень, навігаційний статус судна, курс руху, а також просторовий розподіл аномалій. Такий комплексний підхід дозволив не лише автоматично виявляти аномальні координатні повідомлення, а й оцінювати їх повторюваність, просторову локалізацію та потенційний вплив на достовірність навігаційної інформації в морських кіберфізичних системах.

Результати дослідження. У результаті аналізу AIS-повідомлень, отриманих протягом двадцяти діб спостережень, було виявлено 69 випадків різкої зміни координат суден, несумісної з фізично можливим характером їх руху. Більшість аномалій мали поодинокий характер і могли бути пов’язані з похибками визначення координат або короткочасними збоями суднового навігаційного обладнання. Водночас для п’яти суден зафіксовано повторювані аномалії, що спостерігалися протягом двох і більше діб. Особливу увагу привертає судно з MMSI 314460000, для якого різкі зміни координат були виявлені в чотирьох незалежних сеансах спостережень поблизу м. Миколаєва. Повторюваність подібних аномалій свідчить про доцільність автоматичного контролю цілісності AIS-повідомлень уже на етапі їх приймання береговими станціями.

Найбільш незвичайні результати отримано для 31 липня 2022 року, коли ознаки аномальної зміни координат були виявлені одночасно у 38 суден. Майже всі вони перебували в обмеженому районі поблизу румунських портів Суліна та Констанца (рис. 1). Із 287 суден, що знаходилися в зазначеній акваторії, 36 були класифіковані як такі, що мають ознаки різкої зміни координат, що становить близько 12,5 % від загальної кількості суден у цьому районі. Така просторова концентрація аномалій істотно відрізняється від результатів, отриманих для інших діб спостережень, і свідчить про наявність спільного чинника, що вплинув на достовірність навігаційних даних.

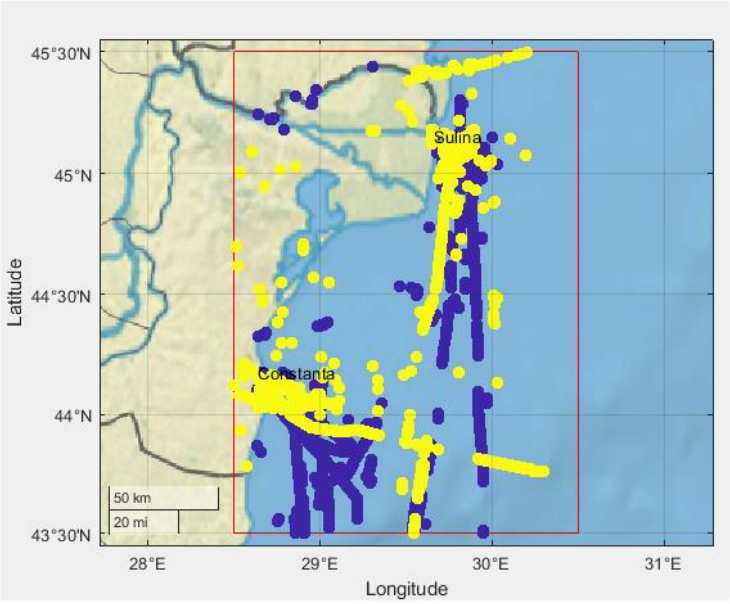


Рисунок 1 – Просторовий розподіл суден із виявленими аномаліями координат 31 липня 2022 року в північно-західній частині Чорного моря. Жовтим кольором позначені судна з ознаками аномальної зміни координат

Детальний аналіз AIS-повідомлень окремих суден показав, що в ряді випадків аномальні координати супроводжувалися узгодженими змінами інших навігаційних параметрів, зокрема курсу руху та навігаційного статусу. Для окремих MMSI було встановлено появу координат, які відповідали районам, віддаленим на тисячі кілометрів від фактичної акваторії плавання, після чого судна знову «поверталися» до свого реального маршруту. Характер таких змін не узгоджується зі звичайними похибками визначення координат або випадковими збоями приймального обладнання.

Отримані результати свідчать, що запропонований алгоритм дозволяє ефективно виявляти як локальні, так і масштабні аномалії AIS-даних у режимі автоматичної обробки. Це створює передумови для впровадження додаткового рівня контролю цілісності навігаційної інформації в берегових інформаційних системах і службах управління рухом суден, що є важливою складовою забезпечення надійності морських кіберфізичних систем.

Вплив на надійність морських кіберфізичних систем та висновки. Отримані результати підтверджують, що аномалії координат AIS можуть суттєво впливати на достовірність навігаційної інформації, яка використовується морськими кіберфізичними системами. Використання неперевірених AIS-повідомлень у системах управління рухом суден, ситуаційної обізнаності та автономної навігації потенційно може призвести до формування помилкової моделі навігаційної обстановки та прийняття некоректних рішень. Запропонований алгоритм автоматичного виявлення різких змін координат може бути використаний як перший рівень контролю цілісності AIS-даних на берегових приймальних станціях і в центрах управління рухом суден. Додатковий аналіз часової послідовності повідомлень, навігаційного статусу та узгодженості кінематичних параметрів дозволяє підвищити достовірність виявлення аномалій і зменшити кількість хибних спрацьовувань.

Результати дослідження показали, що запропонований підхід дає змогу ефективно виявляти як поодинокі, так і групові координатні аномалії в потоках AIS-повідомлень у режимі реального часу. Особливий інтерес становлять випадки просторової концентрації аномалій, які можуть свідчити про вплив спільних зовнішніх чинників на достовірність навігаційної інформації та потребують подальшого дослідження.

Отримані результати можуть бути використані під час розроблення інтелектуальних систем контролю цілісності AIS-даних, навчання моделей машинного навчання для автоматичного виявлення аномалій та вдосконалення алгоритмів підтримки прийняття рішень у морській галузі.

Таким чином, запропонований підхід сприяє підвищенню надійності, відмовостійкості та кіберстійкості морських кіберфізичних систем, що функціонують в умовах підвищеного ризику виникнення аномальних або потенційно маніпульованих навігаційних даних.

Література

[1] Ikhsanov S., Diakonov O., Khudov H. Investigation of Failures in the Operation of AIS Technology // 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Lviv, Ukraine, 2022. P. 515–518. DOI: 10.1109/CSIT56902.2022.10000488.

[2] Ribeiro C. V., Paes A., de Oliveira D. AIS-based maritime anomaly traffic detection: A review // Expert Systems with Applications. 2023. Vol. 231. Article 120561. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120561.

[3] Karimi E., Smith J., Billard R. et al. AI-based adaptive instructional systems for maritime safety training: A systematic literature review // Discover Artificial Intelligence. 2024. Vol. 4. Article 51. DOI: 10.1007/s44163-024-00153-0.

[4] Liang M., Weng L., Gao R. Unsupervised maritime anomaly detection for intelligent situational awareness using AIS data // Knowledge-Based Systems. 2024. Vol. 284. Article 111313. DOI: 10.1016/j.knosys.2023.111313.

[5] Liu J., Li J., Liu C. AIS-based kinematic anomaly classification for maritime surveillance // Ocean Engineering. 2024. Vol. 305. Article 118026. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2024.118026.

[6] Gao Z., Zhang X., Xu Y. Graph neural networks enabled accident causation prediction for maritime vessel traffic // Reliability Engineering & System Safety. 2025. Vol. 257. Article 110804. DOI: 10.1016/j.ress.2025.110804.

[7] Androjna A., Perkovic M. GNSS vulnerabilities vs cyber challenges in maritime navigation // Conference of Chiefs of European Navies (CHENS 2024). 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.26042.40648.

[8] Minßen F.-M., Klemm J. Predicting vessel tracks in waterways for maritime anomaly detection // Transactions on Maritime Science. 2024. Vol. 13, No. 1. P. 15–28. DOI: 10.7225/toms.v13.n01.002.

[9] Xie Z., Bai X., Xu X., Xiao Y. An anomaly detection method based on ship behavior trajectory // Ocean Engineering. 2024. Vol. 293. Article 116640. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.116640.

AIS POSITION ANOMALY DETECTION FOR DEPENDABLE MARITIME CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Shamil Ikhsanov, Oleksii Diakonov,

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper investigates anomalies in Automatic Identification System (AIS) position reports identified from shore-based observations in the Black Sea. An algorithm for automatic detection of abrupt coordinate changes was developed using consecutive AIS messages. Analysis of data collected during twenty observation days in the summer of 2022 revealed 69 anomalous position reports, including repeated events associated with several vessels. A considerable number of anomalies were concentrated within a limited geographical area, indicating the need for further investigation of their origin. The proposed method can be applied to AIS data integrity monitoring in shore-based maritime information systems and vessel traffic services. The obtained results contribute to improving the dependability and cyber resilience of maritime cyber-physical systems.

Keywords: Automatic Identification System (AIS), maritime cyber-physical systems, position anomalies, data integrity, maritime safety.

УДК 005:378:004

РОЗВИТОК МЕХАНІЗМІВ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З МЕНЕДЖМЕНТУ У СФЕРІ ЦИФРОВИХ УПРАВЛІНСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Трушлякова А.Б.,
кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту
antrush62@gmail.com
Ганчо О.В.,
провідний фахівець навчально-наукової лабораторії системного аналізу транспортних процесів і логістики кафедри менеджменту
ipdo@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У тезисах викладено концептуальні підходи до всебічної модернізації освітніх програм вищої школи для управлінських спеціальностей на основі наскрізного впровадження розгалужених корпоративних інформаційних комплексів. У процесі наукового аналізу враховано провідні практики міжнародних бізнес-шкіл, базові орієнтири концепції «Індустрія 4.0», а також поточні реалії та виклики цифрової трансформації суб'єктів господарювання в Україні. Обґрунтовано доцільність відмови від ізольованого вивчення окремих програмних продуктів на користь формування цілісного, інтегрованого цифрового навчального середовища.

Ключові слова: управління, освітня траєкторія, інформаційні технології, ERP-платформи, бізнес-аналітика, цифрові навички, дуальна модель навчання.

Вступна частина. Динамічний розвиток глобального економічного простору, посилення конкуренції та масштабний перехід бізнес-процесів у віртуальне середовище висувають принципово нові вимоги до кваліфікаційного рівня сучасних керівників. Традиційні підходи до адміністрування, що базувалися переважно на інтуїтивних методах та лінійному управлінні людськими ресурсами, втрачають свою ефективність у високотехнологічних реаліях. Сьогодні ринкова стійкість, адаптивність та стратегічний успіх будь-якої комерційної чи державної структури безпосередньо залежать від спроможності її топ-менеджменту оперувати масивами великих даних (Big Data), впроваджувати інтегровані інформаційні рішення та трансформувати операційну діяльність на засадах цифровізації.

Якість та своєчасність управлінських рішень у сучасному мінливому бізнес-середовищі визначаються насамперед швидкістю акумулювання інформаційних потоків, глибиною їх первинної обробки та аналітичною точністю наступного моделювання сценаріїв розвитку. Сучасний топ-менеджер перестає виконувати виключно функції контролера чи координатора кадрового потенціалу. Він трансформується у провідного користувача та безпосереднього архітектора цифрового ландшафту підприємства. З огляду на це, заклади вищої освіти постають перед серйозним викликом: виникає гостра потреба у докорінному перегляді існуючих механізмів підготовки фахівців управлінської ланки та їх адаптації до міжнародних стандартів цифрової економіки.

Попри очевидну актуальність зазначених тенденцій, детальний аналіз вітчизняної освітньої практики у сфері підготовки менеджерів виявляє суттєвий системний розрив. Фундаментальний теоретичний базис класичних управлінських теорем часто залишається відірваним від практичного інструментарію, який реально використовується у сучасному цифровому бізнесі. Досить часто освоєння інформаційних технологій студентами обмежується рамками загальних дисциплін з інформатики або поверхневим вивченням стандартних офісних пакетів (текстових та табличних редакторів). Такий підхід повністю суперечить реальним очікуванням та запитам сучасних роботодавців, які потребують фахівців з компетенціями у сфері автоматизації бізнесу.

Згідно з рекомендаціями ЮНКТАД та провідних міжнародних асоціацій бізнес-освіти, стратегія формування цифрових компетенцій майбутніх керівників має базуватися на трьох ключових критеріях. По-перше, це випереджаючий розвиток освітніх програм, що передбачає інтеграцію технологій, які лише починають масово впроваджуватися на ринку. По-друге, це постійна еволюція та ускладнення практичної діяльності студентів протягом усього періоду навчання. По-третє, це високий рівень інтеграції університетських структур із реальним сектором економіки для синхронізації теоретичних знань із практичними потребами ринку [4].

Мета роботи полягає в обґрунтуванні стратегічних векторів та розробці прикладних механізмів впровадження цифрових технологій у систему підготовки сучасних менеджерів, визначенні їх ролі у формуванні цифрових, управлінських та професійних компетентностей майбутніх фахівців, а також розроблення практичних рекомендацій щодо інтеграції цифрових інструментів, платформ і технологій в

освітній процес закладів вищої освіти з урахуванням сучасних вимог цифрової трансформації бізнесу та суспільства.

Основна частина. Глибока реконфігурація змісту навчальних планів має здійснюватися поетапно, забезпечуючи послідовне та логічне нарощування складності матеріалу, що вивчається студентами на спеціальності менеджмент [1].

1. Фундаментально-технологічний етап. На початковій стадії головна увага приділяється опануванню загальної архітектури та внутрішньої логіки функціонування масштабних корпоративних платформ. Центральне місце тут посідає наскрізне використання ERP-систем (Enterprise Resource Planning) та інструментів CRM (Customer Relationship Management). Завдяки роботі у таких комплексах майбутні менеджери отримують системне, цілісне розуміння архітектури компанії. Вони починають усвідомлювати, як саме логістичні ланцюги, фінансові потоки, виробничі потужності та маркетингові комунікації інтегруються і взаємодіють у межах єдиного корпоративного інформаційного простору. Це дозволяє уникнути фрагментарного сприйняття окремих підрозділів підприємства.

2. Аналітично-прогностичний етап. Другий рівень трансформації орієнтований на впровадження спеціалізованих модулів бізнес-аналітики (Business Intelligence, BI) та сучасних комп'ютеризованих систем підтримки прийняття рішень (DSS). У сучасних умовах ефективний керівник повинен володіти навичками побудови інтерактивних аналітичних панелей, візуалізації динаміки ключових показників ефективності (KPI) та прогнозування ринкових трендів на основі математичного моделювання та алгоритмів штучного інтелекту. Освітній процес має включати розгалужені лабораторні практикуми. Під час їх виконання студенти на основі розгалужених симуляційних баз даних самостійно локалізують «вузькі місця» у фінансовій чи виробничій діяльності підприємств та розробляють науково обґрунтовані управлінські рішення.

3. Проєктно-інноваційний етап. Третій етап спрямований на розвиток здатності майбутніх лідерів управляти нестандартними та високотехнологічними проєктами в умовах невизначеності. Для цього до навчальних планів доцільно інтегрувати вивчення передових інструментів управління проєктами (Project Management tools) та інноваційних платформ категорій Low-code та No-code. Застосування зазначених систем дозволяє здобувачам вищої освіти без наявності глибоких знань у сфері класичного програмування створювати діючі прототипи автоматизації внутрішнього контролю, моделювати унікальні операційні процеси, а також оптимізувати корпоративний документообіг. Такий підхід стимулює розвиток алгоритмічного та системного мислення, що є критично важливою вимогою для сучасного топ-менеджменту [3].

Невід'ємним фактором успішного впровадження та довгострокової життєздатності модернізованої освітньої моделі виступає створення стійких тристоронніх регіональних науково-виробничих кластерів. Такі структури мають консолідувати зусилля закладів вищої освіти, провідних представників IT-індустрії (розробників та інтеграторів програмного забезпечення) та діючих підприємств реального сектору економіки. У межах таких кластерних об'єднань студенти отримують легальний та повноцінний доступ до сучасних хмарних лабораторій (SaaS) та офіційних сертифікаційних програм від провідних світових вендорів софту. Це забезпечує ефективну реалізацію елементів дуальної освіти, коли глибокий теоретичний фундамент синхронізується з виконанням реальних виробничих завдань безпосередньо на робочому місці [5].

Важливим чинником успіху є також кардинальна трансформація ролі викладача у навчальному процесі. В умовах тотальної цифровізації викладач перестає бути виключно транслятором застиглих теоретичних догм та парадигм. Він перетворюється на ментора, коуча чи фасилітатора, який допомагає студенту орієнтуватися у колосальних інформаційних потоках, правильно формулювати запити та коректно інтерпретувати аналітичні звіти, генеровані штучним інтелектом та ERP-системами. Спільні прикладні дослідження, що проводяться викладачами, студентами та практиками бізнесу в університетських лабораторіях, дозволяють створювати інноваційні логістичні, фінансові та управлінські моделі з високою часткою доданої вартості, що має вирішальне значення для відновлення та якісної модернізації економіки України.

Висновки: Як успішний практичний приклад реалізації запропонованої стратегії можна навести комплексні програми реструктуризації освітнього процесу, які наразі активно впроваджуються в окремих вітчизняних ЗВО. Проміжні результати наскрізної інтеграції інформаційних систем демонструють відчутне підвищення якості та наукової цінності кваліфікаційних робіт студентів. Дипломні роботи тепер базуються не на абстрактних або застарілих розрахунках, а на живому імітаційному моделюванні бізнес-процесів у реальному часі за допомогою спеціалізованого софту. Такий підхід суттєво підвищує затребуваність випускників на ринку праці та забезпечує високий відсоток їхнього працевлаштування за фахом одразу після завершення навчання в університеті [2].

Література

[1] Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII (зі змінами та доповненнями).

[2] Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки (Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 23 лютого 2022 р. № 286-р).

[3] Гриценко В. П. Цифрова трансформація вищої освіти: виклики та можливості для управлінських спеціальностей. Вісник університету. 2023. № 4. С. 45–52.

[4] Armstrong M., Taylor S. Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice. Kogan Page, 2020. 848 p.

[5] Information Resources Management Association. Research Anthology on Vocational Education and Technology Integration. IGI Global, 2021. 1650 p.

STRATEGIC DIRECTIONS AND PRACTICAL MECHANISMS FOR INTEGRATING DIGITAL ECOSYSTEMS INTO THE TRAINING SYSTEM FOR MODERN MANAGERS

Antonina Trushlyakova, Oksana Hancho

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

These abstracts set out conceptual approaches to the comprehensive modernisation of higher education programmes for management specialisms, based on the cross-cutting implementation of extensive corporate information systems. The scientific analysis takes into account best practices from international business schools, the core principles of the 'Industry 4.0' concept, as well as the current realities and challenges of the digital transformation of business entities in Ukraine. The paper justifies the need to move away from the isolated study of individual software products in favour of creating a holistic, integrated digital learning environment.

Keywords: management, educational pathway, information technology, ERP platforms, business analytics, digital skills, dual learning model.

УДК 37.07:005.94

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ МЕНЕДЖЕРІВ З ЛОГІСТИКИ В НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Фатєєв М.В.,
кандидат технічних наук, професор,
ipdo@nuos.edu.ua
Сіренко І.В.,
кандидат економічних наук, доцент,
igor.sirenko@nuos.edu.ua
Запорожець І.М.,
кандидат технічних наук, доцент,
iryna.zaporozhets@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова., м. Миколаїв, Україна

Анотація. В роботі надана характеристика пропонованої моделі наскрізної підготовки менеджерів з логістики в НУК. В основі моделі – поєднання загальноекономічної, загальноуправлінської, предметної, цифрової та наукової підготовки, яке передбачає зміну не тільки назв дисциплін, а складності їхнього наповнення для підготовки здобувачів до вирішення управлінських задач в умовах невизначеності глобальних і локальних ланцюгів постачання. Пропонована модель поєднує усі рівні вищої освіти від молодшого бакалавра до доктора філософії.

Ключові слова: вища освіта, логістичний менеджмент, ланцюги постачання, невизначеність, комплексність.

Вступ. Підготовка менеджерів з логістики набуває дедалі більшої важливості перш за все через зрушення у сприйнятті логістичної діяльності, яка перестала бути «забезпечувальною функцією» бізнесу, а стає «опорним каркасом» економічної стійкості та національної безпеки. У мирний час логістичний менеджер – це архітектор локальних і глобальних ланцюгів постачання, який гармонізує та оптимізує логістичні потоки, значним чином впливаючи на конкурентоспроможність бізнесу. У нових реаліях можна стверджувати, що стабільні та налагоджені ланцюги постачання визначають не тільки економічну вигоду, а й питання виживання. Воєнний час збільшив значення логістики критично й експоненційно. Вона перетворилася на стратегічний фактор обороноздатності та життєдіяльності людини, бізнесу, громади й

усієї держави. Тому сучасний менеджер з логістики – це стратегічний і кризовий менеджер, який розпізнає прояви глобальних тенденцій – цифровізацію, штучний інтелект, гнучкість та стійкість, екологічність – та володіє відповідними цифровими інструментами управління, розуміє вплив глобальної геополітики на ланцюги постачання усіх масштабів та здатен приймати оптимальні рішення в умовах повної невизначеності.

Метою дослідження є побудова каркасу системи підготовки висококваліфікованих менеджерів з логістики у НУК, готових проактивно діяти для вирішення надскладних логістичних задач. Ця система має поєднувати фундаментальну теоретичну базу із загальної теорії управління, аналітичну і практичну підготовку, розуміння міжнародного права та володіння сучасним цифровим інструментарієм.

Основна частина. На нашу думку, для досягнення такої мети придатна лише наскрізна система підготовки менеджера-логіста, в якій на кожному наступному рівні вищої освіти змінюється не лише склад дисциплін, а й рівень складності управлінських та дослідницьких завдань, до вирішення яких готується здобувач. Ядром такої моделі можуть стати п’ять наскрізних освітніх траєкторій, які поступово поглиблюють компетенції здобувача у фаховій сфері (табл. 1). При цьому варто відмітити, що логістична підготовка починається не на 3–4 курсі, а вводиться раніше як підхід до розуміння економічних процесів, а потім переходить до професійного управління логістичними системами та наукового узагальнення і дослідження тенденцій в логістичному менеджменті і логістичній практиці.

Таблиця 1 – Наскрізна логістична підготовка фахівців з логістики в НУК

Рівень освіти, курс	Загальноекономічна підготовка	Підготовка з менеджменту	Логістична підготовка	Цифрова освіта	Наукова підготовка
Бакалавр, 1–2 курс	●●●●	●●●	●●	●●	●
Бакалавр, 3–4 курс	●	●●●●	●●●●	●●●	●
Магістр, 5–6 курс	–	●●●	●●●●●	●●●●	●●
PhD	–	●●	●●●●	●●●	●●●●●

Джерело: розробка авторів

Логіка наскрізного розвитку менеджера з логістики, яка спирається також на вимоги державних стандартів вищої освіти зі спеціальності 073 «Менеджмент» [1–3] та потенційні напрямки їхнього удосконалення [4–6], може бути наступною.

На рівні молодшого бакалавра та на першому-другому курсах бакалаврату освітні компоненти покликані надати майбутньому менеджерові розуміння економічного середовища та базових знань з менеджменту, сформувати базове уявлення про об’єкти логістичного управління: підприємство, ресурси, потоки. На цьому рівні домінує загальноекономічна та загальноуправлінська підготовка. На третьому-четвертому курсах бакалаврату та під час виробничої практики і практики з фаху відбувається формування менеджера з логістики як професіонала, який володіє специфікою управління закупівлями, запасами, транспортом, складами, розподілом, ланцюгами постачання, логістичною інфраструктурою, інформаційними системами тощо. Після набуття базових знань і навичок використання цифрових інформаційних технологій наголос на цьому рівні має робитися на використанні спеціалізованого програмного забезпечення. В результаті випускник бакалаврату має чітке уявлення про функціонування підприємства та логістичного ланцюга і сформовані базові навички з управління його логістичними потоками та ланцюгами постачання. На бакалаврському рівні здобувачі набувають базову наукову підготовку, вітається участь у наукових студентських заходах.

Магістр з менеджменту має набути знання і навички з управління складними логістичними системами та глобальними ланцюгами постачання. Освітній акцент зміщується із загальноуправлінського на стратегічне управління потоками ресурсів в умовах невизначеності і ризиків у міжнародних ланцюгах постачання. Окремо здобувач набуває компетенцій у створенні та оптимізації складних логістичних систем із активним використанням цифрових інформаційних технологій. На магістерському рівні участь у наукових студентських заходах стає обов’язковою, а у навчальному процесі вводиться базова науково-дослідницька підготовка.

Освітньо-наукова програма (ОНП) підготовки PhD за спеціальністю «Менеджмент» в НУК наразі не передбачає обов’язкових компонент (ОК). Розвитком цієї ОНП може бути як введення таких ОК та формування провідними професорами і доцентами НУК пулу вибіркових курсів, які будуть спрямовані на формування дослідника, що вивчає функціонування логістики як концепції управління. Дисертаційна тематика може охоплювати організаційно-економічний механізм управління ланцюгами постачання,

формування та оптимізацію логістичних систем, цифровізацію та стійкість логістичної інфраструктури тощо.

Висновки. В НУК кафедрою менеджменту сформовані основи системної та комплексної підготовки фахівців з управління логістикою. Вдосконалення цієї системи може методично ґрунтуватися на такій еволюції фахівця: набуття економічної грамотності → формування загальних компетентностей менеджера → формування спеціальних компетентностей менеджера-логіста → формування стратегічного менеджера логістичних систем → виплекання дослідника логістичної концепції управління потоковими процесами.

Література

[1] Стандарт першого рівня вищої освіти у галузь знань 07 Управління і адміністрування спеціальність 073 Менеджмент. Затверджений Наказом МОНУ від 29.10.2018 р. № 1165 зі змінами та доповненнями. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/073-Menedzhment.bakal.06.04.22.pdf

[2] Стандарт другого рівня вищої освіти у галузь знань 07 Управління і адміністрування спеціальність 073 Менеджмент. Затверджений Наказом МОНУ від 10.07.2019 р. № 959. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/07/12/073-menedzhment-magistr.pdf

[3] Стандарт вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня у галузь знань 07 Управління і адміністрування спеціальність 073 Менеджмент. Затверджений Наказом МОНУ від 24.12.2021 р. № 1436. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2021/12/24/073-Menedzhment.Dok.filos.02.06.2022.pdf

[4] Проєкт стандарту першого рівня вищої освіти зі спеціальності D3 Менеджмент галузі знань D Бізнес, адміністрування та право. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/gromadske-obgovorennya/2026/06/25/d3-bakalavr.docx

[5] Проєкт стандарту другого рівня вищої освіти зі спеціальності D3 Менеджмент галузі знань D Бізнес, адміністрування та право. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/gromadske-obgovorennya/2026/06/25/d3-magistr.docx

[6] Проєкт стандарту третього рівня вищої освіти зі спеціальності D3 Менеджмент галузі знань D Бізнес, адміністрування та право. URL: https://mon.gov.ua/ static-objects/mon/sites/1/gromadske-obgovorennya/2026/07/21/d3-phd.docx

ESTABLISHING A LOGISTICS MANAGER TRAINING SYSTEM AT THE ADMIRAL MAKAROV NATIONAL UNIVERSITY OF SHIPBUILDING

Fatieiev Mykola Volodymyrovych, Sirenko Ihor Viktorovych, Zaporozhets Iryna Mykhailivna
Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. The paper characterizes a proposed model for the end-to-end training of logistics managers at NUK. The model is based on a combination of general economic, general management, subject-specific, digital, and research-oriented training; this entails not only renaming courses but also adjusting the complexity of their content to prepare students to solve management problems amidst the uncertainty characterizing global and local supply chains. The proposed model encompasses all levels of higher education, ranging from Junior Bachelor to Doctor of Philosophy.

Keywords: higher education, logistics management, supply chains, uncertainty, complexity.

УДК 621.382

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ДРЕЙФОВИХ N-P-N ТРАНЗИСТОРІВ З МАЛИМ РОЗКИДОМ КОЕФІЦІЄНТІВ ПІДСИЛЕННЯ

Фролов О.М.,
кандидат технічних наук, доцент
iskanderfrolov52@gmail.com
Субботкіна О.П.,
Викладач,
esubbotkina4@gmail.com
Кафедра автоматики та електроустаткування
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. Сучасні біполярні транзистори біполярних мікросхем повинні мати малий розкид коефіцієнтів підсилення. В даній роботі приведено метод отримання необхідних коефіцієнтів підсилення дрейфових n-p-n транзисторів як дискретних, так й в складі біполярних мікросхем.

Ключові слова: біполярний транзистор, коефіцієнт підсилення.

Вступна частина. Одною з сучасних вимог до виробів електроніки є вимого зменшення енергоспоживання. В біполярних мікросхемах для цього підвищують коефіцієнти підсилення транзисторів шляхом зменшення товщини бази. Дрейфовий n-p-n транзистор створюється в епітаксійному шарі з провідністю n-типу послідовними дифузіями домішку бора для отримання базової області та дифузії фосфору для отримання області емітера. Через вплив різних факторів (тиск, температура, склад навколишнього середовища, та паро – газового середовища, зміна реактора) на глибину дифузійних шарів навіть при одних і тих же технологічних режимах розкид одержуваних коефіцієнтів посилення може досягати величини в 7–9 разів. Так, при максимально допустимої глибині бази та мінімально – допустимої глибині емітера буде великий запас на напругу пробою, але коефіцієнти підсилення недостатні, але при мінімальної глибині бази та максимально допустимої глибині емітера будуть достатні коефіцієнти підсилення, але напруга пробою буде менш норми, – це вже невиправний брак. Підвищення питомого опору епітаксійної структури для створення запасу на напругу пробою є недоцільним, так як при цьому змінюються інші параметри транзистора та збільшується площа кристалу транзистора або мікросхеми. Тому слід обмежити розкид коефіцієнтів підсилення з 7–9 разів до 2–3 разів, або ще менше.

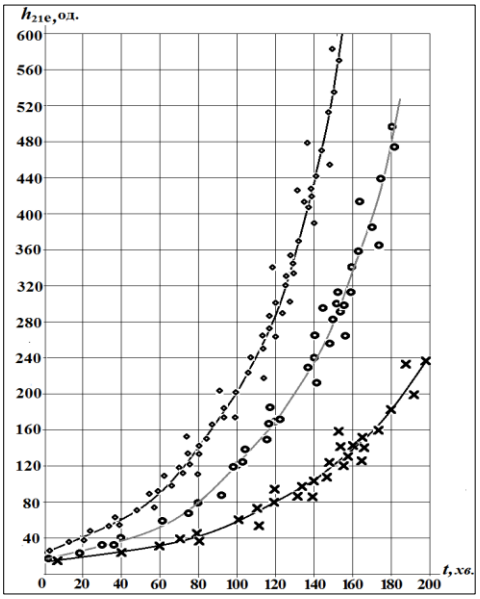
Мета роботи. Метою даної роботи є розробка методу виготовлення дрейфових n-p-n транзисторів зі зменшеним розкидом коефіцієнтів підсилення.

Експериментальні дослідження. Для виключення браку було запропоновано використовувати додаткову технологічну операцію – дорозгін фосфору, яка полягає в тому, що в технологічному процесі після дифузії фосфору для формування емітера отримують зменшені значення коефіцієнтів підсилення, а після їх вимірювання проводять операцію дорозгіну фосфору при температурах менших температури дифузії при формуванні емітера, протягом часу, що визначається за графіками залежності, складеними на основі експериментів.

Прямий розрахунок режимів дорозгіну фосфору досить складний, з-за різної концентрації домішки в базах, та прояви додаткових ефектів, таких як ефект прискорення дифузії [2], та не відповідності кількості іонізованих атомів фосфору кількості впровадженої домішки [2, 3]. Тому був застосований метод фізико-статистичного аналізу, в якому за експериментальними даними визначаються і математично описуються основні залежності.

Експериментальні дослідження впливу режимів дорозгіну фосфору для n-p-n транзисторів проводилися на приладах, що серійно випускаються, що дає велику кількість даних. Розглянуто 3 типа приладів: з дозами іонного легування бором 7 мкКл/см^2 (тип 1), 1 мкКл/см^2 (тип 2), мкКл/см^2 (тип 3), та відповідними вимогами до коефіцієнтів посилення транзистора, – від 70 од. до 160 од. (тип 1), від 140 од. до 300 од. (тип 2), від 240 од. до 500 од. (тип 3).

Вимірювання коефіцієнтів підсилення (h_{21E}) та напруги пробою (U_{KE0}) проводилось на тестових елементах після дифузії фосфору а потім після операції «дорозгін фосфору». Дорозгін фосфору проводилася при температурі 950°C. Отримані залежності коефіцієнтів підсилення транзисторів від режимів процесу дорозгіну фосфору для різних партій пластин наведено рисунку 1.



× – *при дозі домішку бора в базі – 7 мкКл/см²;*
○ – *при дозі домішку бора в базі – 1 мкКл/см²;*
♦ – *при дозі домішку бора в базі – мкКл/см²;*

Рисунок 1 – Залежність коефіцієнтів підсилення дрейфових n-p-n транзисторів від часу дорозгіну фосфору при температурі 950 °С

Згідно показаної графічної залежності коефіцієнтів посилення транзисторів від часу дорозгіну фосфору достатньо добре описується виразом:

$$h_{21E} = A \cdot e^{\alpha t}; \quad (1)$$

де: – h_{21E} – коефіцієнт підсилення транзистора, од.;
– A та α – коефіцієнти пропорційності;
– t – час процесу дорозгіну (хвилин).

Обробка отриманих даних показала залежність коефіцієнтів пропорційності (A та α) від дози домішку бора, яка застосована для формування бази дрейфового транзистора.

$$\alpha = \frac{1}{Q^{0,7} + 48}; \quad (2)$$

$$A = Q^{-0,26}; \quad (3)$$

де: Q – доза домішку в базової області, мкКл/см^2

Використання отриманих залежностей дозволяє досить просто визначати необхідний час дорозгіну при температурі 950 °С по формулі:

$$\Delta t = \frac{\ln\left(\frac{h_{21E(2)}}{h_{21E(1)}}\right)}{\alpha}; \quad (4)$$

де: – $h_{21E(1)}$ – коефіцієнт підсилення після формування емітера;
– $h_{21E(2)}$- потрібний коефіцієнт підсилення після процесу дорозгіну.

Висновки

1. Застосування процесу дорозгіну фосфору дозволяє повністю виключити невиправний брак пластин з напругою пробою менше необхідних значень, що дозволяє значно підвищити вихід придатних.
2. Встановлено, що залежність коефіцієнта посилення від часу дорозгіну фосфору проходить по закону, який близький до експоненти з відповідними коефіцієнтами.

Література

[1] Готра З.Ю. Технологія електронної техніки: навч. Посібник у 2 т./ З.Ю. Готра. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. Т.1. – 888 с.

[2] Maekava S., Oshida F. Diffusion of boron in silicon. – J.Phys.Soc. of Japan. – 1967, v.19, № 3. – PP. 253–257.

[3] Tsai C. C. J. Shallow phosphorus diffusion profiles in silicon. – Proc. IEEE, 1969, v.57, № 9. – PP. 1499–1506.

METHOD FOR FABRICATING DRIFT n-p-n TRANSISTORS WITH LOW VARIATION IN GAIN COEFFICIENTS

Frolov Oleksandr, Subbotkina Olena

Kherson Education and Research Institute of National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, Kherson, Ukraine

Abstract. Modern bipolar transistors must have a narrow gain variation range. This paper presents a method for obtaining the required gain values for drift n-p-n transistors in bipolar integrated circuits.

Keywords: bipolar transistor, gain.

УДК 621.382.2

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ДІОДІВ 2А605 З ВИКОРИСТАННЯМ ШАРІВ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДУ КРЕМНІЮ

Фролов О.М.,
кандидат технічних наук, доцент
iskanderfrolov52@gmail.com
Субботкіна О.П.,
викладач
esubbotkina4@gmail.com
Кафедра автоматики та електроустаткування
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. В роботі розглянуто технологічні процеси, які використовуються для створення діодів з накопиченням заряду типу 2А605. Запропоновано технологічний процес, який дозволяє отримати ліпшу сукупність параметрів діода за рахунок застосування пористого анодного оксиду кремнію.

Ключові слова: діоди з накопиченням заряду, пористий анодний окисел кремнію.

Вступна частина. Діоди типу 2А605 відносяться до категорій діодів з накопиченням заряду – ДНЗ. Вони використовуються в сучасних радіосистемах, в засобах радіолокації і зв'язку, а також в приладах світлотехніці, де необхідно формувати сигнали над коротких імпульсів (НКІ) тривалістю в субнаносекунди. До основних характеристик параметрів ДНЗ відносять граничну частоту роботи, напругу пробою, ємність, та величину зворотного струму. Для отримання максимально-можливої величини напруги пробою діоди 2А605 виробляють по меза-технології. Однак з-за використання методу хімічного травлення меза-структури на різних партіях пластин виникають різні площі p-n переходів, що показано на рисунку 1.

З-за різної площі розкид по величині ємності діодів 2А60 має складає від 0,5пФ до 1,5пФ. Це потребує у споживачів проводити індивідуальне налагодження апаратури, що підвищує її собівартість та ускладнює ремонт.

В типовій меза-технології після дифузії домішку бора на пластину наносять шар нітриду кремнію, проводять фотолітографію по ньому та травлення меза-структури. Після чого проводять термічне окислювання для захисту p-n переходів термічним шаром оксиду кремнію та селективне видалення нітриду в ортофосфорної кислоті. Металевий контакт створюється шляхом хімічного осадження нікелю. Однак нікель в забороненої зоні кремнію створює енергетичні рівні [1], що приводить до отримання значних значень зворотних струмів. З-за малої площі меза-структури створення алюмінієвого контакту, який дає малі зворотні струми, шляхом нанесення шару алюмінію в вакуумі та фотолітографії ускладнено так як фоторезист не здатний утриматися на малої площі.

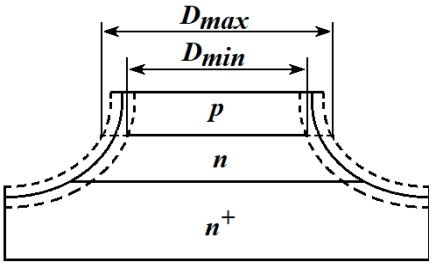


Рисунок 1 – Площа p-n переходів, отриманих при формуванні меза-структури за допомогою хімічного травлення

Є варіант створення меза структури, якщо замість шару нітриду кремнію шар алюмінію проводити фотолітографію, залишаючи шар фоторезисту над алюмінієм, наносити низькотемпературній шар оксиду кремнію з метою захисту, а вікно в шарі цього оксиду формувати за допомогою вибухової фотолітографії, коли залишений фоторезист при нагріванні вибухає, руйнуючи шар оксиду над ним. Як показала практика при використанні способу захисту p-n переходів низькотемпературним оксидом спостерігається сильна залежність зворотних струмів від вологості повітря, зимою коли вологість мала, зворотні струми також малі, а летом абсолютна вологість велика, що приводить к значному підвищенню браку по зворотному струму.

Однак відмова від меза-технології приводить до необхідності підвищувати питомий опір епітаксійного шару в пластині для збереження напруги пробою, а це приводить до зниження граничної частоти.

Мета роботи. Метою даної роботи є визначення технологічного процесу, якій дозволяє отримати найкращу сукупність параметрів ДНЗ при найменшої собівартості виготовлення та високій повторюваністю параметрів.

Основна частина. Для створення технології ДНЗ з кращою сукупністю характеристик та параметрів запропоновано в технологічному процесі використати шари пористого анодного оксиду кремнію [2, с.1-3].

Вид структури ДНЗ, виготовленого з застосуванням пористого анодного оксиду кремнію приведений на рисунку 2.

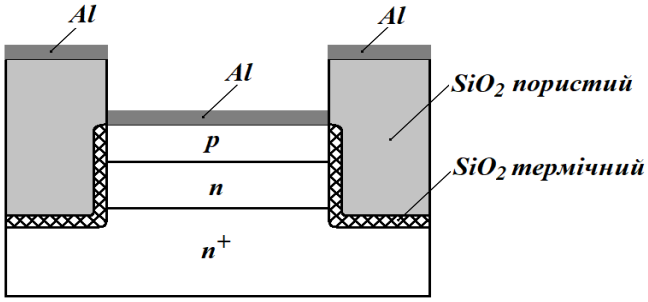


Рисунок 2 – Поперечний переріз структури ДНЗ з шаром пористого анодного оксиду кремнію

Для виготовлення такій структури на усієї площі пластини з епітаксій ним шаром без використання фотолітографії шляхом дифузії шари p^+- типу (анод), після чого наносять шар нітриду кремнію і проводять першу фотолітографію. Потім створюють товсті шари пористого анодного оксиду кремнію, які ростуть вверх та вниз строго вертикально по краям нітриду кремнію. Це приводить к тому, що площі p-n переходів будуть завжди однакові. Після чого створюють шари термічного оксиду для захисту p-n переходів, за рахунок дифузії окислювача через пористий оксид, проводять селективне видалення нітриду та проводять вакуумне нанесення шару алюмінію. При висоті шару пористого анодного оксиду над поверхнею більш (10–11) мкм, шар алюмінію має розрив на вертикальних стінках пористого анодного оксиду кремнію.

Структура ДНЗ, показана на рисунку 2 подібна до типової меза-структури діодів, що дозволяє отримати максимально можливою напругу пробою.

Використання алюмінію для контакту дозволяє отримати найменші рівні зворотних струмів.

Найменша собівартість виготовлення визначається використанням в процесі тільки одної (першої) фотолітографії, яка не потребує суміщення з попередніми технологічними шарами.

Крім того, для створення шару пористого анодного оксиду кремнію застосовується розчин слабких кислот (наприклад, борної кислоти), замість розчинів азотної та плавикової кислоти, які застосовують при створенні меза-структури. Це зменшує негативний вплив технології на навколишнє середовище.

Висновки. Застосування технології виготовлення ДНЗ типу 2А605 з використанням технологічних шарів пористого анодного оксиду кремнію дозволяє:

1. Мати ліпшу сукупність параметрів та характеристик виробу.
2. Застосовувати в процесі виготовлення варикапів тільки одну фотолітографію, що зменшує собівартість виготовлення кристалів на пластинах.

Література

[1] Sze S.M. Semiconductor Devices, physics and technology: 2nd ed. Published by John Wiley and Sons Ltd, 2002. – 574 p.

[2] Фролов О.М., Селівєрстова С.Р., Селівєрстов І.А. Спосіб виготовлення кремнієвих діодів Шотткі з охоронним кільцем / Патент на корисну модель № 60700 МПК: HOIL21/04; HOIL 21/31; HOIL 21/329. Бюл. № 12 від 25.06.2011. С. 3.

METHOD FOR MANUFACTURING 2A605 DIODES USING LAYERS OF POROUS SILICON ANODE OXIDE

Frolov Oleksandr, Subbotkina Olena

Kherson Education and Research Institute of National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, Kherson, Ukraine

Abstract. This paper examines the manufacturing processes used to produce 2A605-type charge-storage diodes. A manufacturing process is proposed that enables the achievement of improved overall diode performance through the use of porous silicon anode oxide.

Keywords: charge-storage diodes, porous silicon anode oxide.

УДК 629.12.011.001.24

ПРО УМОВИ РІВНОВАГИ КОЛІСНО-ГУСЕНИЧНОЇ ТЕХНІКИ НА БОРТУ ДЕСАНТНОГО КОРАБЛЯ В УМОВАХ НЕРЕГУЛЯРНОЇ ХИТАВИЦІ

Соломенцев О.І.,
доктор технічних наук, професор НУК
Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
solomen@mksat.net

Анотація. Розглянуті умови рівноваги колісно-гусеничної техніки на борту десантного корабля в умовах хитавиці. Показана можливість спрощення розрахункових залежностей для регулярної хитавиці, що дозволяють легко перейти до хитавиці нерегулярної.

Ключові слова: десантний корабель, хитавиця, колісно-гусенична техніка

Вступ. Особливістю бойового застосування десантних кораблів є те, що кораблі перевозять на палубах колісно-гусеничну техніку. Виникає питання: як слід обмежити амплітуди нерегулярної хитавиці, аби не допустити перекидання зразків цієї техніки, що розміщені на палубі?

Мета роботи. Метою роботи є формування таких обмежень амплітуд нерегулярної хитавиці, аби не допустити перекидання колісно-гусеничної техніки на борту десантного корабля.

Основна частина роботи. Розгляду цієї задачі на регулярному хвилюванні присвячена робота [1]. Зокрема, об'єктом дослідження в ній були швидкісні десантні транспорти-катамарани. Зауважимо, що період власних бортових коливань τ_θ може бути оцінений за нашою наближеною формулою [2, с. 102] як $\tau_\theta \approx 3{,}0\sqrt{T} = 6$ с, бо у цьому випадку осадка $T \approx 4$ м. При цьому можна розглянути випадки взяття до уваги однієї тільки бортової хитавиці, а можна розглянути також взяття до уваги бортової хитавиці, поперечно-горизонтальної хитавиці, вертикальної хитавиці та кильової хитавиці.

Розглянемо постановку задачі для обох випадків, [1]. На автомобільній палубі десантного корабля, центр важкості якого знаходиться у точці G, стоїть автомобіль, центр важкості якого знаходиться у точці G_A. Відстань цієї точки від палуби дорівнює h_A, відстань від борта автомобіля дорівнює b_A, а відстань від діаметральної площини (ДП) корабля дорівнює y_A. Відстань між центрами важкості G та G_A є r_A. А довжину проекції цієї відстані на ДП визначимо як H_A. Автомобіль, що стоїть на палубі, знаходиться під дією удаваної сили важкості $f_z = f_z(t)$, що спрямована перпендикулярно палубі, и центробіжної сили $f_y = f_y(t)$, що спрямована паралельно палубі Гранична умова відсутності перекидання автомобіля для обох випадків є

$$h_A f_y - b_A f_z = 0 .$$

Розділивши обидва члени цього співвідношення на масу автомобіля m_A, знайдемо граничну умову перекидання автомобіля у такому вигляді:

$$h_A a_{Ay} - b_A a_{Az} = 0 ,$$

де a_{Ay}, a_{Az} – центробіжне прискорення автомобіля та удаване прискорення сили важкості автомобіля відповідно.

Тоді із деякою похибкою у безпечний бік можна прийняти, що перекидання колісної техніки матиме місце, якщо впродовж часового інтервала, що дорівнює періоду власних бортових коливань τ_θ, хоч би одноразово буде виконана наступна умова, [1, с. 259]:

$$h_A[-g\sin\theta(t)+H_A\left|\ddot{\theta}(t)\right|-y_A\dot{\theta}^2]=b_A[g\cos\theta(t)-y_A\left|\ddot{\theta}(t)\right|-H_A\dot{\theta}^2(t)], \quad (1)$$

$$\theta(t)=\theta_0\cos(\omega t-\delta_\theta);\ \dot{\theta}(t)=-\omega\theta_0\sin(\omega t-\delta_\theta);\ \ddot{\theta}(t)=-\omega^2\theta_0\cos(\omega t-\delta_\theta),$$

де θ_0, $\dot{\theta}_0$ – амплітуди кута нахилу та кутової швидкості бортової хитавиці відповідно, δ_θ – фаза кута нахилу при бортовій хитавиці по відношенню до хвиль, t -час.

Нехай тепер разом із бортовою хитавицею беруться до уваги також поперечно-горизонтальна, вертикальна та кильова хитавиця, а початком відліку фаз слугує фаза вертикальної хитавиці Тоді перекидання матиме місце, якщо протягом часового інтервалу, що дорівнює умови τ_θ, хоч би одноразово буде виконана наступна умова, [1, с. 261]:

$$h_A\{-[g+\ddot{z}-x\ddot{\psi}(t)]\sin\theta(t)-\ddot{y}(t)\cos\theta(t)+H_A\left|\ddot{\theta}(t)\right|-y_A(t)\dot{\theta}^2\}=$$

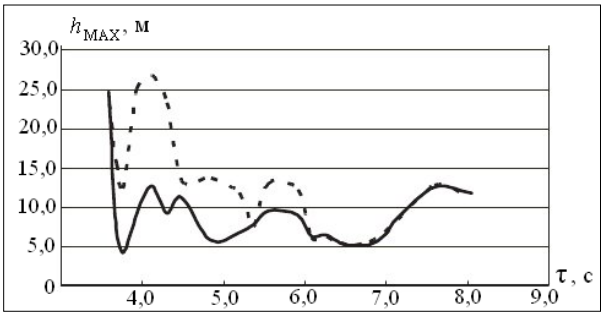
$$=b_A\{\{g+\ddot{z}-x\ddot{\psi}(t)]\cos\theta(t)-\ddot{y}\sin\theta(t)-y_A\left|\ddot{\theta}(t)\right|-H_A\dot{\theta}^2(t)\}.$$

$$y(t)=y_0\cos\omega t;\ \ddot{y}(t)=-\omega^2y_0\cos(\omega t-\varepsilon_{yz});\ z(t)=z_0\cos(\omega t);\ z(t)=-\omega^2z_0\cos(\omega t);$$

$$\theta(t)=\theta_0\cos(\omega t-\varepsilon_{\theta z});\ \dot{\theta}(t)=-\omega\theta_0\sin(\omega t-\varepsilon_{\theta z});\ \ddot{\theta}(t)=-\omega^2\theta_0\cos(\omega t-\varepsilon_{\theta z});$$

$$\varepsilon_\theta=\delta_\theta-\delta_z;\ \ddot{\psi}(t)=-\omega^2\psi_0\cos(\omega t-\varepsilon_{\psi z}),$$

де y_0, z_0, ψ_0 є амплітуди поперечно-горизонтальної, вертикальної та кильової хитавиці, ε_{yz}, $\varepsilon_{\theta z}$, $\varepsilon_{\psi z}$ є фазові зрушення поперечно-горизонтальної, вертикальної та кильової хитавиці по відношенню до вертикальної хитавиці, а x_A є виміряна по горизонталі відстань між центром важкості діючої ватерлінії та центром важкості автомобіля.



-за умови урахування тільки бортової хитавиці;

-за умови урахування додаткових видів хитавиці

Рисунок 1 – Критичні висоти регулярних хвиль $h_{MAX}=h_{MAX}(\tau)$ при курсовому куті десантного транспорта – катамарана до хвиль, що дорівнює 90^0, [1]

На рис. 1 для курсового кута 90^0 показана залежність критичної висоти регулярної хвилі, при якій стає можливим перекидання h_{MAX}, від періоду регулярної хвилі. τ, тобто залежність виду $h_{MAX}=h_{MAX}(\tau)$. По результатах розрахунків виходить, що якщо середній період регулярного хвилювання менше за τ_θ, то відмова від взяття до уваги додаткових до бортової хитавиці видів хитавиці може суттєво вплинути на результат. У протилежному ж випадку зазначений вплив є відсутнім. Справа тут у тому, що амплитуди бортової хитавиці досягають максимальних значень при в умовах резонансу, коли $\tau=\tau_\theta$. Але на реальному хвилюванні корабель зазвичай здійснює бортову хитавицю із середнім періодом $\ddot{\tau}_\theta$, досить близьким до періоду власних бортових коливань τ_θ. Вплив же ж середнього періоду нерегулярного хвилювання $\ddot{\tau}$ на середній період нерегулярної хитавиці $\ddot{\tau}_\theta$ є, зазвичай, незначним, [3]. Виходить, що у дорезонансній зоні, де слід було б брати до уваги усі види хитавиці, інтенсивність хитавиці невелика і відповідно ймовірність перекидання колісної техніки мінімальна. А там, де ця ймовірність суттєва, основною є бортова хитавиця

при незначному впливі інших видів хитавиці (пор. на мал. 1 графіки $h_{MAX} = h_{MAX}(\tau)$ при $\tau < \tau_\theta = 6$ с и при $\tau > \tau_\theta = 6$ с).

Тоді, переходячи до нерегулярного хвилювання, можна узяти за основу співвідношення (2) прийнявши у ньому

$$\sin\theta(t) \approx \theta(t),\ \cos\theta(t) \approx 1,\ \left|\ddot{\theta}(t)\right| = \omega^2\theta(t),\ \dot{\theta}^2 \approx 0,$$

Після цього це співвідношення спроститься до такого вигляду:

$$h_A[-g\theta(t) + H_A\omega^2\theta(t)] = b_A[g - y_A\omega^2\theta(t)]. \quad (3)$$

Співвідношення (3) можна вирішити відносно ординати бортової хитавиці $\theta(t)$:

$$\theta(t) = \frac{gb_A}{\omega^2(y_A + H_A) - gh_A}. \quad (4)$$

Умова (4) регламентує максимальне значення ординати бортової хитавиці Відповідно, ордината може бути замінена гранично допустимим амплітудним значенням $\theta_0 = [\theta_0]$. Якщо цікавитися тільки резонансною зоною, то без значної похибки частота ω може бути замінена частотою власних бортових коливань корабля $n_\theta = \frac{2\pi}{\tau_\theta}$. Якщо ж додатково прийняти, що ординати бортової хитавиці розподілені центровано та нормально із дисперсією D_θ, і відповідно амплітуди розподілені згідно із законом Релея, то ймовірність перекидання автомобіля на десантному кораблі $P_{ПЕР}$ може бути оцінена згідно із наступним співвідношенням:

$$P_{ПЕР} = \exp\left(-\frac{[\theta_0]^2}{2D_\theta}\right);\ [\theta_0] \approx \frac{gb_A}{n_\nu^2(y_A + H_A) - gh_A}.$$

Висновок. Коли визначається можливість перекидання колісно-гусеничної техніки на десантному кораблі внаслідок хитавиці, то на інтенсивному хвилюванні можна обмежитися лише бортовою хитавицею, що суттєво полегшує перехід до нерегулярного хвилювання. Взяття до уваги інших видів хитавиці суттєво впливає на результат тільки при слабкому хвилюванні, коли небезпека перекидання є мінімальною.

Література

[1] Momoki T, Nagano S, Ikeda Y. Study of Behavior of Vehicles on Deck of Wave Piercing Catamaran in Waves. Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 2008, Vol. 9, p. 257–264.

[2] Соломенцев, О.И. Приближённая оценка периода собственных бортовых колебаний катамарана Збірник наукових праць УДМТУ. Миколаїв : УДМТУ, 1998. № 1 (349).

[3] Севастьянов, Н.Б. О возможности контроля за остойчивостью судна на море по периоду бортовой качки Теоретические и практические вопросы остойчивости и непотопляемости морских судов: Научно-технический сборник Регистра СССР. Л. : Морской транспорт, .1963. С. 83–104.

ABOUT CAPSIZING OF THE TANKS AND AUTOMOBILES ON THE BOARD OF LANDING SHIP BECAUSE OF SHIPS MOTION

Solomentsev Oleg Ivanovich

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Possibility of capsizing of tanks and automobiles on the board of the landing ship is learned. According to the results, it is possible to take into account only rolling. Other kinds of the ships motion are important only in weak waves, when probability of capsizing is minimal.

Keywords: landing ships, ships motion, tanks and automobiles

УДК 629.12.011.001.24

ДО ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОГО ЗГИННОГО МОМЕНТУ ДЛЯ НАДВОДНОГО КОРАБЛЯ

Соломенцев О.І.,
доктор технічних наук, професор НУК
Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
solomen@mksat.net

Анотація. Розглянуте співвідношення між двома складовими ударного (динамічного) згинного моменту, що діє на корабель. Одна з цих складових діє на корабель як на тверде тіло, а друга складова пов'язана із динамічним вигином корабля. Надані рекомендації щодо використання різних формул для кораблів різних типів.

Ключові слова: згинний момент, корабель як тверде тіло, динамічний згін корабля

Вступна частина. При слемінгу в умовах хвилювання, а також при дії вибуху на корабель діє ударний згинний момент, амплітудне значення якого є M_E. Цей момент має дві складові, одна з яких, амплітудне значення якої є M_{E1} пов'язана із дією ударного навантаження на корабель як на тверде тіло, а інша, амплітудне значення якої є M_{E2}, пов'язана із динамічним вигином корабля. При цьому в технічній літературі наведені не узгоджені між собою рекомендації щодо визначення сумарного згинного моменту, [1, 2].Так, у роботі [1, с. 72–85] вважається, що практично увесь згинний момент пов'язаний із динамічним згином. Для його визначення використовується імпульсна схема (метод приведення, запропонований Ю.О. Шиманським). Навпаки, у роботі [2, с. 61], , на підставі рекомендацій статті [3, с. 46], зроблено інший висновок. Справа у тому, що згинний момент M_{E1}, що виникає як результат дії зовнішнього навантаження та сил інерції, та пов'язаний із переміщеннями корабля як твердого тіла, являє собою такий згинний момент, який відповідає сумі усіх пружних переміщень по усіх формах пружних коливань при статичному прикладенні збурюючої сили. Корабель при цьому розглядається як балка. А це, з точки зору автора роботи [3], дозволяє шукати сумарний згинний момент M_E шляхом простого множення амплітудного значення моменту M_{E1} на коефіцієнт динамічності K_∂ для динамічного згину балки. При цьому на практиці достатньо обмежитися лише першим тоном згинних коливань балки. Тоді для амплітудного значення згінного моменту при слемінгу чи при вибуху для поперечного перерізу, абсциса якого є *x,* знаходимо, [2–4]:

$$M_E(x) = K_\partial(\alpha_\partial) M_{E1}(x)\,. \tag{1}$$

$$\alpha_\partial = \frac{2\tau_X}{\tau_1} = \frac{\omega_1 \tau_X}{\pi}\,, \tag{2}$$

де τ_1, ω_1 - період та частота першого тону власних згінних коливань корабля; τ_X - часовий інтервал дії збурюючої сили.

На практиці, якщо величини τ_1 або ω_1 можуть бути обчислені на базі відомих з теорії вібрації корабля методів, то спрогнозувати величину τ_X на стадії проєктування навряд чи можливо. Особливо це має місце, коли поява згінного моменту пов'язана із вибухом. У той же час найбільше значення коефіцієнту K_∂ при найменш сприятливому значенні параметру α_∂ дорівнює 1,85, [2, с. 64], і , якщо іншої інформації нема, то це значення із певною похибкою у безпечний бік може бути прийняте як розрахункове.

Ці ж залежності збережені і у російських Правилах [4], розділ 5.3.6 с. 63. Там ці залежності використані для розрахунків міцності суден на повітряній подушці у режимі плавання. В цьому випадку $K_\partial = K_\partial(\alpha_\partial)$, де α_∂ обчислюється за формулою (2), а часовий інтервал τ_X - по спеціальній залежності Правил.

Виходить, що потреби визначати згінний момент, пов'язаний із динамічним згином, на відміну від роботи [1, с. 72–85,], нема взагалі. Доповідь і присвячена аналізу зазначених розбіжностей.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз існуючих розбіжностей в розрахунках ударного згинного моменту, що діє на корпус корабля в умовах слемінгу та вибуху.

Основна частина. Розглянемо більш детально деякі припущення, що були використані у роботах [2, 3]. Амплітудні значення моментів $M_{E1}(x)$ та $M_{E2}(x)$, дорівнюють $M_{E1}(x) = \max\limits_t m_{E1}(x,t)$ и $M_{E2}(x) = \max\limits_t m_{E2}(x,t)$, де $m_{E1}(x,t)$ та $m_{E2}(x,t)$ - залежні як від абсциси розрахункового поперечного

перерізу *x*, так і від часу *t* ординати відповідних моментів. А залежна тільки від *x* амплітуда сумарного згінного моменту визначається як $M_E(x) = \max_t [m_{E1}(x,t) + m_{E2}(x,t)]$.

Нехай тепер t_1, t_2 и t_0 - моменти часу, в які у міделевому поперечному перерізі досягають максимумів (амплітудних значень) моменти M_{E1}, M_{E2} та M_E відповідно. Тоді, опускаючи індекс «*x*», «*x*» (якщо початок координат на міделі, то *x*=0), можна записати:

$$t_1 = \arg\max m_{e1}(t);\ t_2 = \arg\max m_{e2}(t);\ t_0 = \arg\max m_E(t),$$

де запис $x_0 = \arg\max f(x)$ читається: « x_0 є таке значення аргументу *x* функції $f(x)$, при якому ця функція проходить через максимум».

При цьому практично завжди $t_1 = \frac{\tau_X}{2}$.

На думку автора роботи [3], співвідношення (1) має загальне значення, тоді як можлива похибка цього співвідношення обумовлена ти тільки тим, що коефіцієнтом динамічності береться до уваги тільки перший тон згинних коливань, тоді як у формуванні згинного моменту беруть участь також і коливання більш високих тонів. Але справа в тому, що це не єдине джерело похибок. Аби формула (1) давала б прийнятні результати, є необхідним виконання ще двох умов, а саме:

$$t_1 \approx t_0; \tag{3}$$

$$\frac{m_{E1}(t_1)}{m_{E2}(t_1)} > 0. \tag{4}$$

У відповідності із умовою (3), у момент часу, що відповідає проходженню ординати $m_{E1}(x,t)$ через амплітудне значення ордината $m_{E2}(x,t)$ повинна також проходити через своє амплітудне значення. Як показано у роботі [5], умові (3) відповідає умова $\frac{\omega_1 \tau_X}{2} \approx \frac{3\pi}{2}$, [5, с. 645]. Втім ця умова відповідає розрахунку частоти перших тонів згінних коливань як для однорідного призматичного стержня, і тому може давати похибку для реальних кораблів. У відповідності із другою умовою, під час проходження ординатою $m_{E1}(x,t)$ через амілитудне значення, ордината $m_{E2}(x,t)$ має мати той самий знак, що й амплітудне значення $m_{E1}(x,t)$.

Виконання умов, які б дозволили коректно застосовувати на практиці співвідношення (1), є більш ймовірним для відносно коротких та широких кораблів, для яких внесок хвильового опору у загальний баланс опору у загальний баланс опору води рухові корабля відносно малий. До них відносяться або і кораблі із середніми швидкостями, або, навпаки, такі високошвидкісні кораблі, що або іхня швидкість відповідає діапазону чисел Фруда за максимумом хвильового опору, або на повній швидкості їхні корпуса повністю або частково виходять з води., Це кораблі верхньої границі перехідного режиму та глісери, а також кораблі на підводних крилах та повітряній подушці.,

А практично усі багатоцільові кораблі (корвети, фрегати, есмінці) є, навпаки, відносно довгими та вузькими, оскільки діапазон їхніх чисел Фруда для повного ходу відповідає відносно високому хвильовому опору. Тому співвідношення (1), запропоноване для відносно широких та коротких високошвидкісних кораблів та катерів, не має загального характеру, а, навпаки, має досить-таки вузьку область застосування. Зокрема, його використання для багатоцільових кораблів не може бути рекомендованим. В цьому випадку ордината згинного моменту $m_{E1}(t^*) = m^*_{E1}$ для моменту часу $t = t^*$, що відповідає проходу ординати згінного моменту $m_{E2}(t^*) = M_{E2}$ через амплітудне значення, має знак, протилежний знакові величини $m_{E2}(t^*) = M_{E2}$. Крім того, за абсолютним значенням $\left|m^*_{X1}\right| << \left|M_{E2}\right|$.

Тому із невеликою похибкою у безпечний бік в цьому випадку на початкових стадіях проєктування зазвичай приймається $M_{E1} = 0$ и $M_E \approx M_{E2}$, із застосуванням імпульсної схеми з роботи [1]. На подальших стадіях проєктування можна застосувати метод кінцевих елементів.

Висновок Формула (1), яка, на думку її автора, мала б загальне значення, неявно містить в собі низку спрощуючи припущень. Ці припущення суттєво звужують область її застосування. Вона не може бути рекомендованою для кораблів з високим відношенням довжини до ширини.

Література

[1] Бойцов, Г.В., Палий О.М. Прочность и конструкция корпуса судов новых типов Л. : Судостроение, 1979. 360 с.

[2] Зиганченко П.П., Кузовенков Б.П., Тарасов И.К. Суда на подводных крыльях (конструирование и прочность). Л. : Судостроение, 1981. 31 с.

[3] Ивчик, В.К. Некоторые вопросы динамического расчёта общей продольной прочности катеров. Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. Л. : Судостроение, 1966. Вып. 230. С. 42–52.

[4] Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. СПб : Российский Морской Регистр судоходства, 2018. 182 с.

[5] Папкович, П.Ф. О действии кратковременного импульса на призматический стержень, свободно плавающий на поверхности воды / В книге: П.Ф. Папкович. Труды по вибрации корабля. Л. : Судпромгиз, 1960. С. 630–646.

TO DETERMINATION OF THE DYNAMIC BENDING MOMENT, ACTING ON THE SHIP

Solomentsev Oleg Ivanovich

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Was done a consideration of the ratio between two parts of the dynamic bending moment, acting on ship/ There are the part, which acts on the ship as a rigid body, and the part, connected with dynamic bending. Were given recommendations about using different formulas for the different types of ships.

Keywords: bending moment, ship as a rigid body, dynamic bending of the ship.

УДК 629.12.011.001.24

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВРАЖЕННЯ НАДВОДНОГО КОРАБЛЯ НИЖЧЕ ТА ВИЩЕ ЗА ВАТЕРЛІНІЮ

Соломенцев О.І.,

доктор технічних наук, професор НУК

Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

solomen@mksat.net

Анотація. Розглянуті особливості враження надводного корабля вище та нижче ватерлінії. Виявлено фактори, які з найбільшою ймовірністю можуть призвести до загибелі корабля в першому та в другому випадках.

Ключові слова: пошкодження надводного корабля, живучість надводного корабля, вражаючі фактори

Вступна частина. Надводний корабель може отримати ушкодження життєвоважливих частин (ЖВЧ), [1, с. 7] , мал. 1, або загинути під дією підводного чи надводного вибуху. Безпосередніми причинами загибелі можуть біти або втрата плавучості та особливо-остійності внаслідок потрапляння води через пробоїну, [2, с. 120], або втрата загальної поздовжньої міцності через часткову втрату моменту опору поперечного перерізу, [3, с. 1052]. Далі ми розберемо схеми, за якими можливі зазначені вище явища для контактних вибухів – як підводного, так і надводного. Будуть також дещо уточнені умови використання графічних залежностей, що наведені у роботі [2, с. 121]

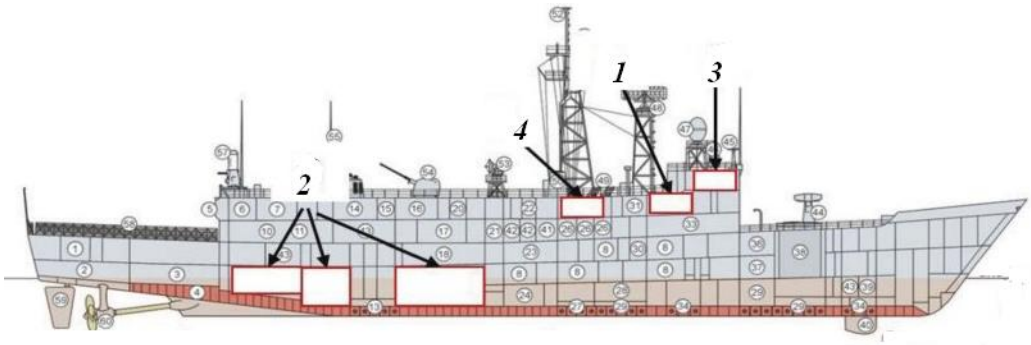
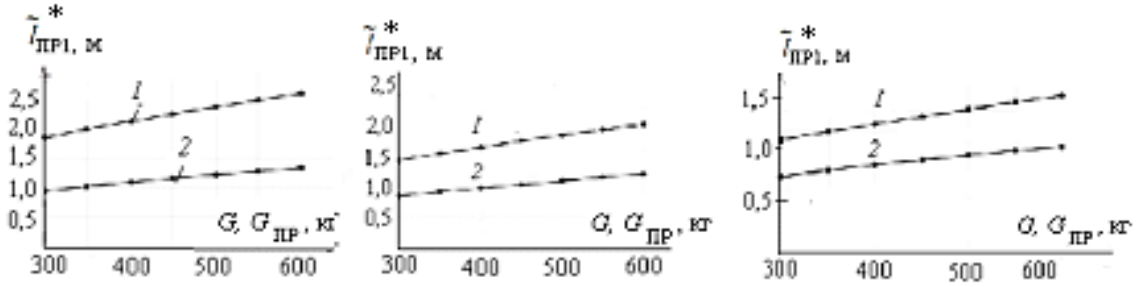


Рисунок 1 – Розміщення життєво важливих частин (ЖВЧ) на багатоцільовому кораблі (на прикладі американського фрегата FFG-7 типу "Oliver H. Perry", [1]):1 – головний командний пункт (ГКП) корабля, (Combat Information Center CIC); 2 – машинні відділення (Engine Rooms); 3 – ходовий мостик; 4 – приміщення обчислювальних блоків радіолокаційних та електронно-оптичних станцій

Мета роботи. Метою роботи є аналіз основних схем можливого пошкодження життєво важливих частин або загибелі надводного корабля під дією контактного підводного чи надводного вибуху.

Основна частина. Розглянемо спочатку схему визначення розмірів пробоїни, коли найбільш небезпечною буде підводна пробоїна внаслідок підводного контактного вибуху, вносячи при цьому певні доповнення та уточнення у розрахункову схему нашої роботи [2, с.121]. Для визначення розмірів пробоїни, пов'язаної із підводним чи надводним контактним вибухом, вибухом, в літературі є відомими теоретичні підходи – імпульсний та енергетичний, [2, с. 119–120].Так, на мал. 2а–2б для підводного та надводного контактних вибухів наведені результати розрахунків середньої у статистичному сенсі довжини пробоїни як функції маси вибухової речовини (ВР), [2, с. 121].вважалося, що конструктивного підводного захисту немає. При цьому мал. має наступні припущення: а – вибух повітряний, б – у якості ВР використовується тротил, в – пробоїна має форму кола.



а *б* *в*

Рисунок 2 – До визначення середньої довжини пробоїни при надводному та підводному контактних вибухах за допомогою імпульсного та енергетичного методів при різних товщина зовнішньої обшивки $\delta^*_{ПЛ}$ [2, с. 121]: -●- ●- імпульсный метод; -◆- ◆- енергетичний метод; а – $\delta^*_{ПЛ}$ = 7, мм; б – $\delta^*_{ПЛ}$ = 1 мм; в – $\delta^*_{ПЛ}$ = 12, мм

Якщо ж треба перейти до підводного вибуху, то фактичну масу ВР G слід помножити на коефіцієнт $k_{ПВ}$ =8, яким береться до уваги перехід від надводного контактного вибуху до набагато більш небезпечного підводного вибуху, [4, с. 57].Якщо у якості ВР використовується більш потужна речовина, ніж тротил, то масу ВР слід помножити на коефіцієнт $k_{ТНТ}$, для ВР типів «Морська суміш» чи торпекс $k_{ТНТ}$ =1,25–1,70. Крім того, фактична форма підводної пробоїни зазвичай ближче до еліпса, ніж до кола, а висота цього еліпса $h_э$ приблизно удвічі менша за довжину $l_э$, [5, с. 119]. Тоді масу ВР G слід ще помножити на коефіцієнт $k_{ЭЛ} \equiv \frac{1}{\sqrt{k_h}}$, $k_h = \frac{h_э}{l_э}$. При $k_h \approx 0{,}5$ отримуємо $k_{ЭЛ} \equiv 1{,}4$. Тож можна вважати, що на корабель діє ВР з еквівалентною масою $G_{ПР} = k_{ПВ}k_{ТНТ}k_{ЭЛ}G = k_{\Sigma}G$.

Зауважимо, що при застосуванні як імпульсного, так і енергетичного методів маємо співвідношення між середньою довжиною пробоїни $\tilde{l}^*_{ПР1}$ та масою ВР G у вигляді $\tilde{l}^*_{ПР1} \sim \sqrt{G}$. Тоді, якщо увійти у графіки мал. 2а-2в із фактичною масою ВР у торпеді (мині)) $G_0 = 300 - 400$ кг, то зняту з цих графіків величину $\tilde{l}^*_{ПР1}$ слід помножити на величину, що дорівнює $\sqrt{k_{\Sigma}} = \sqrt{k_{ПВ}k_{ТНТ}k_{ЭЛ}} \approx 4{,}0 - 4{,}3$. Це дасть середню у статистичному сенсі довжину підводної пробоїни, що її отримав корабель внаслідок підводного контактного торпедного чи мінного вибуху, порядку. 6,5-10, м. Цей результат загалом узгоджується із досвідом Першої та Другої світових воєн. У той же час максимальна довжина пробоїни може складати 12–1 м. У той же час зберігається і небезпека переламу через критичне зниження моменту опору поперечного перерізу, а також у випадку збереження корабля – можливість втрати однієї з життєво важливих частин, а саме енергетичної установки, мал. 1.

Перейдемо до надводного контактного вибуху, коли корабель опиняється під дією крилатих ракет чи авіабомб. В цьому випадку є важливим, буде вибух зовнішнім чи внутрішнім, внутрішній вибух є набагато більш небезпечним, [6, с. 100]. Можливість внутрішнього вибуху залежить від наявності конструктивного надводного захисту та його характеристик, це питання має бути розглянутим окремо. Розміри пробоїни можуть бути обчислені за наведеною вище схемою, в якій прийнято $k_{ПВ}$, =1.Наявність пробоїн може призвести до враження життєво важливих частин, мал. 1, але не до затоплень. Небезпека загибелі в цьому випадку пов'язана, по-перше, із можливою втратою частини моменту опору поперечного перерізу, [3, с. 1052], а а також із можливістю виникнення сильної пожежі, що призводить до загибелі

корабля, [7, с. 56–57].Вірогідність враження ЖВЧ при вибуху вище ватерлінії може бути оцінена за загальновідомим методом координатного закону враження (КЗВ, Cookie Cutter Functions). Застосування цього методу для випадку визначення ймовірності враження енергетичної установки надводного корабля розглянуте у роботі [8, с. 277]. Дещо інший підхід для враження критично важливих районів (Vulnerable Areas) цілі, тобто власно ЖВЧ, розглянутий у роботі [9, с. 9]. Результати практичного застосування першого та другого підходів є досить близькими.

Висновки

1. Теоретичні залежності для визначення розмірів пробоїни корабля внаслідок контактного вибуху, стосуються повітряного вибуху, коли вибухівка являє собою тротил, а пробоїна має форму кола,. Стосовно найбільш небезпечного з точки зору збереження корабля підводного вибуху, ці пропущення можуть бути зняті з допомогою емпіричних формул.
2. Причинами можливої загибелі корабля випадку можуть бути або критичне зниження моменту опору поперечного перерізу, або виникнення сильної пожежі, яку не вдається загасити і яка веде до загибелі корабля. Якщо навіть корабель не гине, враження вище ватерлінії практично завжди призводять до суттєвого зниження боєздатності корабля.

Література

[1] Wonjune Chang**,** Joonmo Choung Sensivity Analysis of the Damage Extent in Naval Ship Compartments due to Internal Airborne Explosionю International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2024. Vol. 16. 14 p.

[2] Соломенцев, О.И., Б.К. Нгуен О двух методах расчёта размеров пробоины при контактном и неконтактном взрывах Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК. 2015. С. 119–122.

[3] Соломенцев, О.І. Визначення залишку моменту опору поперечного перерізу надводного корабля після повітряного вибуху Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2025. С. 1050–1053.

[4] Борисов, Ю.Б. Расчётная оценка взрывостойкости бортовой конструктивной защиты корабля. Судостроительная промышленность. Серия «Проєктирование судов». Л. : ЦНИИ «Румб», 1990. Вып. 27.

[5] Brown, D.K. The Battle-Worthy Frigates. Transactions of the North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, 1990. Vol. 106– № 4. P. 117–125.

[6] Kwang Sik Kim, Joon Young Yoon, Jang Hyun Lee Vulnerability Assessment for Naval Ships Against Air-Explosive Impulses: Modified Damage Extent Method, Incorporating Structural Capasity .Journal of Computational Design and Engineering, 2024. Vol. 11. Issue 6. P. 86–111.

[7] Васюнькин, В.В. Оценка пожарозащищённости корабля на стадии проєктирования. Сборник НТО им. акад. А.Н. Крылова. СПб. : Судостроение, 1992. Вып. 519. С. 56–61.

[8] Jang Hyun Lee, Won Jun Choi. Assessment of Vulnerable Area and Naval Ships Vulnerability Based on the Carleton Damage Function. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 2018. Vol. 55. № 3. P. 274–280.

[9] Kwang Sik Kim, Jang Hyun Lee. Simplified Vulnerability Assessment Procedure for a Warship Based on the Vulnerable Area Approach Journal of Mechanical Science and Technology, 2012. Vol. 26. № 7. 11 p.

ABOUT NAVAL COMBATANTS DAMAGES HIGHER AND LOWER THE WATERLINE

Solomentsev Oleg Ivanovich

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Are learned damages of naval combatant higher and lower the waterline. Are founded the factors, which may lead to the loss of the ship in both this situations.

Keywords: damages of naval ship, survivability of naval ship, factors of damage

УДК 629.12.011.001.24

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСНОГО ДРОНУ-КАМІКАДЗЕ

Соломенцев О.І.,
доктор технічних наук, професор НУК
Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
solomen@mksat.net

Анотація. Розглянуте визначення показника ефективності захисного дрону-камікадзе, що приймає на себе удар крилатої ракети супротивника із радіолокаційною голівкою самонаведення, і гине замість набагато цінішого корабля.

Ключові слова: показник ефективності**,** крилата ракета, захисний дрон-камікадзе,

Вступна частина. Під дроном-камікадзе зазвичай розуміють начинений вибухівкою дрон, який таранить корабель супротивника і внаслідок вибуху гине разом з ним, Однак можлива і інша концепція дрону-камікадзе. В цьому випадку дрон розміщується по сусідству із крупним кораблем, на якому є особливий склад. І якщо цей корабель є атакованим крилатою ракетою супротивника, то на дроні підключається надувний кутовий відбивач, внаслідок чого ефективна поверхня розсіювання радіохвиль у дрона різко збільшується. Завдяки цьому крилата ракета супротивника має влучати на в корабель, а в дрон. Дрон при цьому гарантовано гине (дрон-камікадзе), але набагато більший корабель із особовим складом має вціліти, [1, с. 61]. Такий дрон працює за тим самим принципом, що й розміщені на кораблі системи постановки пасивних перешкод (СППП).

Дрони першого виду ми далі будемо називати ударними дронами-камікадзе, а дрони другого типу-захисними дронами-камікадзе., Можливий підхід до визначення показника ефективності ударного дрону-камікадзе було нами розглянуто у роботі [2, с. 665-666].А пропозиції щодо визначення показника ефективності захисного дрону-камікадзе і є предметом даної роботи.

Мета роботи. Метою роботи є розробка пропозицій з визначення показника ефективності захисного дрону-камікадзе.

Основна частина. На описаному у роботі [1, с. 61-63] захисному дроні-камікадзе може бути розміщено кілька різновидів дистанційно керованих модулів (ДКМ). Один з них-це ДКМ із надувним кутовим відбивачем, по команді цей відбивач може бути розгорнуто, після чого ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) дрону різко зросте, і він прийме на себе крилату ракету супротивника із радіолокаційною голівкою самонаведення. Крім того, можуть бути використані і модулі таких трьох типів. Це -ДКМ, призначенням якого є постановка пасивних перешкод, ДКМ радіоелектронної боротьби – станція активних радіолокаційних перешкод, а також ДКМ радіотехнічної розвідки.

З цього переліку є очевидним, що тільки у першому випадку, коли застосовується ДКМ із кутовим відбивачем, він застосовується саме як дрон-камікадзе. Далі, з одного боку, використання захисного дрону із модулями трьох інших типів, не пов’язане із втратою дрону, так що тут він має розглядатися як багатоцільовий захисний дрон (на відміну від багатоцільового ударного дрону, визначення показника ефективності якого було нами розглянуте у роботі [3, с. 945].).А аналіз ефективності та доцільності використання багатоцільових захисних морських дронів має бути розглянутий окремо.

Можливість швидко розгорнути поруч із кораблем надувний кутовий відбивач надає такі можливості для захисту від крилатих ракет супротивника із радіолокаційним самонаведенням, які можуть вдало доповнити можливості корабельних СППП. Тому використання разом із СППП захисного дрону-камікадзе є, на нашу думку, корисним, і тому визначення показника ефективності такого дрону стає актуальною задачею. Можливі шляхи для вирішення цієї задачі ми зараз і розглянемо.

Згідно із бойовим призначенням захисного дрону-камікадзе, за його показник ефективності Э логічно прийняти ймовірність P_3 тієї випадкової події, що крилата ракета супротивника із радіолокаційним самонаведенням попаде саме в нього, а не в корабель, який він захищає Тож у даному випадку $Э = P_3$. В свою чергу, $P = P_3(\sigma_{ЕПР} - \sigma^{**}_{ЕПР}, \sigma^{*}_{ЕПР})$ де $\sigma_{ЕПР}$ є ефективна поверхня розсіювання корабля, $\sigma^{*}_{ЕПР}$ – ефективна поверхня розсіювання захисного дрону-камікадзе (тобто ефективна поверхня розсіювання надутого кутового відбивача захисного дрону-камікадзе), і $\sigma^{**}_{ЕПР}$ є ефективна поверхня розсіювання, що з’являється після спрацювання корабельних СППП. Крім того, ймовірність P_3 у загальному випадку має залежати:

1. Від вчасності знаходження крилатої ракети супротивника.
2. Від вчасності подання та виконання команди на розгортання кутового відбивача захисного дрону-камікадзе.

3. Від успішності спрацювання приводу розгортання кутового відбивача.
4. Від своєчасності розгортання корабельної СППП.
5. Від ймовірності вдалого маневрування корабля, коли він знаходиться під ракетним ударом супротивника.

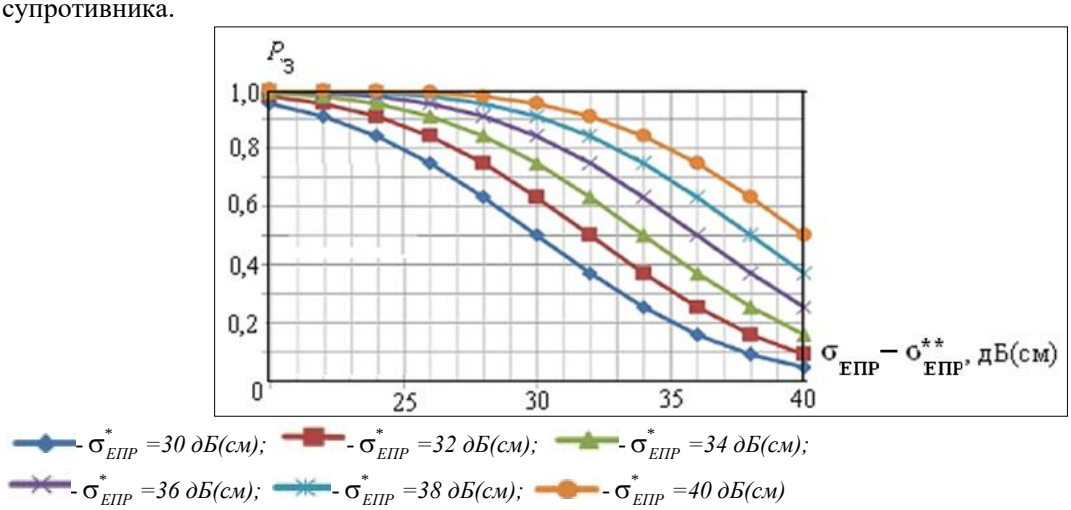


Рисунок 1 – Ймовірність успішного спрацювання захисного дрону-камікадзе $P_З$ в залежності від ЕПР корабля $\sigma_{ЕПР}$ при різних значеннях ЕПР надувного кутового відбивача захисного дрону-камікадзе. $\sigma^{*}_{ЕПР}$, [6]

Якщо йдеться про проєктне визначення показника ефективності захисного дрону-камікадзе, то ймовірності випадкових подій 1-5 на стадії проєктування вимушено приймаються рівними 1. Ефективна поверхня розсіювання корабля $\sigma_{ЕПР}$ має бути відомою з його проєктної документації. Ефективна поверхня розсіювання корабельних систем постановки пасивних перешкод. $\sigma^{**}_{ЕПР}$ є паспортною характеристикою відповідних систем. Що ж до визначення залежності $Э = P_З .=. P_З(\sigma_{ЕПР} - \sigma^{**}_{ЕПР}, \sigma^{*}_{ЕПР})$, то тут в літературі відомі залежності, коли виконується моделювання взаємного розташування корабля, ракети супротивника та пасивних перешкод, або з використовуванням елементів ШІ виконується навчання відповідної нейронної мережі, [4,5]. Але ці залежності спрямовані на аналіз конкретних бойових ситуацій і навряд чи можуть бути використані на початкових стадіях проєктування.

Більш наближені залежності, представлені у вигляді кривих $Э = P_З .=. P_З(\sigma_{ЕПР} - \sigma^{**}_{ЕПР}, \sigma^{*}_{ЕПР})$, коли величина $\sigma^{*}_{ЕПР}$ є параметром кожної такої кривої, наведені у роботі [6], мал. 1.

Висновки

1. Використання захисного дрону як дрону – камікадзе із кутовим відбивачем, що розгортається, може суттєво покращити захист корабля від крилатих ракет супротивника із радіолокаційним самонаведенням, і відповідно є корисним.
2. Показник ефективності багатоцільового дрону-камікадзе може бути оцінений по графічній залежності, що наведена вище (мал. 1).

Література

[1] Викторов Р.В., Крючков А.Н., Фатыхов Р.М. Безэкипажный катер с модулем подавления систем самонаведения оружия. Морской сборник, 2024. № 4. С. 61–66.

[2] Соломенцев О.І. Визначення показника ефективності надводного дрону-камікадзе. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2023. С. 663–666.

[3] Соломенцев О.І. Визначення показника ефективності багатоцільового морського дрона. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2024. С. 943–946.

[4] Kookhyun Kim. Engagement Scenario-Based Decoy-Effect Simulations Against an Anti-Ship Missile, Considering Radar Cross Section and Evasive Maneuvers of Naval Ship Journal of Ocean Engineering and Technology, 2021. Vol. 35. № 3. P. 238–246.

[5] Touza R., Martinez J., Alvarez M. Obtaining Anti-Missile Decoy Launch Solution From a Ship Using Machine Learning Techniques. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 2021. Vol. 7. № 4. P. 163–170.

[6] Byeongjon An, Sangkui Seo A Study of the Setting Procedure of Standard Value and Design Target Value of the RCS Reduced Design of Naval Ships The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 2015. Vol. 26. No. 6. P. 581–588.

DETERMINING OF THE MEASURE OF EFFICIENCY OF THE DEFENSIVE SEA DRONE-KAMIKAZE

Solomentsev Oleg Ivanovich
National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Is learned the measure of efficiency of the defensive drone-kamikaze. Such a drone must be the target of enemy's missile instead of our naval combatant. Radar cross section of such a drone has to be big.enough.

Keywords: measure of efficiency anti-ship missile, defensive drone-kamikaze

УДК 629.12.011.001.24

СХЕМА НОРМУВАННЯ ПРИСКРЕНЬ, ДІЮЧИХ НА МОРСЬКИЙ НАДВОДНИЙ ДРОН ВНАСЛІДОК НЕКОНТАКТНОГО ПІДВОДНОГО ВИБУХУ

Соломенцев О.І.,
доктор технічних наук, професор НУК
Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
solomen@mksat.net

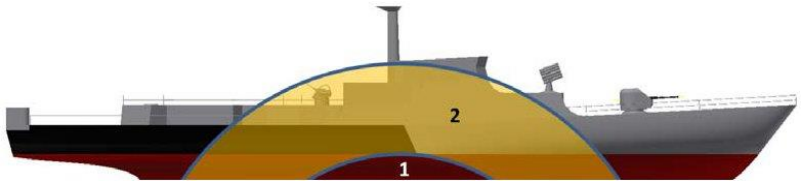
Анотація. Розглянуті основні особливості формування прискорень морського надводного дрону під дією підводного вибуху**.** На цій підставі визначені основні принципи нормування прискорень.

Ключові слова: Морський надводний дрон, підводний вибух, прискорення

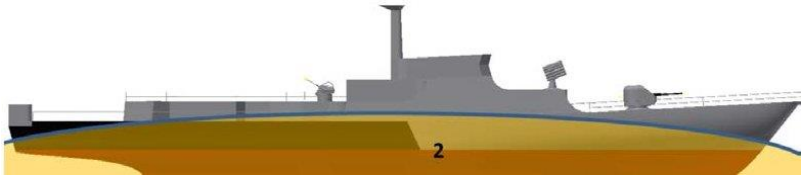
Вступна частина. Припустимо, що морський надводний дрон під дією неконтактного підводного вибуху не перекинувся, відповідні умови визначені у роботі [1, с. 1050]. Але в даному випадку дрон піддається дії прискорень від вибуху, і під дією прискорень може вийти з ладу система керування, В цьому випадку дрон слід вважати втраченим, навіть якщо він залишився на поверхні моря. А визначення відповідних прискорень виявляється, таким чином, актуальним завданням, яке і буде вирішуватися у даній роботі.

Мета роботи. Метою даної роботи є визначення особливостей формування прискорень морського надводного дрону під дією неконтактного підводного вибуху.

Основна частина. Нехай на дроні є N систем та пристроїв таких, що вихід з ладу будь-якої з цих систем веде до втрати керування дроном. Нехай далі, кожна n-на система, $n \in N$, вийде з ладу, якщо прискорення у місці розташування цієї системи з координатами x, y z - величини $a_n(x, y, z)$, $n \in N$ перевищують нормативну для відповідного пристрою величину $[a_n]$. Розглянемо загальні принципи визначення прискорень $a_n(x, y, z)$, $n \in N$.Тут слід узяти до уваги, що прийнято розрізняти близький та далекий неконтактні підводні вибухи, [2, с. 65, 67], мал. 1.



а



б

Рисунок 1 – Якісна дія неконтактних підводних вибухів на корабель, [2, с. 65, 67]:
а – близький неконтактний вибух(Near-Field Explosion); б –далекий неконтактний вибух (Far-Field Explosion);
1-зона формування тріщин; 2-зона пошкоджень конструкцій та механізмів

Видно, що у випадку близького неконтактного вибуху зона ушкоджень займає тільки частину довжини корпусу корабля. У той же час у випадку далекого неконтактного вибуху зона менш сильних ушкоджень майже рівномірно розподілена по довжині корабля.

А це пов'язане із наступними наслідками, [2–4].В обох випадках на корабель діють прискорення, що пов'язані із рухом корабля як твердого тіла. Тому ця складова прискорень змінюється з часом по тому ж самому закону, що й пов'язаний із ударною хвилею тиск при вибуху, [4, с. 10–12]:

$$\varphi_1(t) = \exp\left(-\frac{t}{\Theta}\right), \qquad (1)$$

де t – час, а Θ – константа часу для підводного вибуху, що залежить від типу вибухівки, для тротилу та для торпексу НВХ- маємо $1000\Theta = 0,092$ с.

Для близького ж неконтактного вибуху внаслідок неповного охоплення вибуховою хвилею корпусу корабля, мал. 1а, під дією ударної хвилі виникає інтенсивний місцевий згин елементів корпусу. Ці елементи починають затухаючі згинні коливання із своїми частотами власних згінних коливань. А це, в свою чергу, веде до того, що до прискорень, що пов'язані із рухом корабля як твердого тіла і залежать від часу по закону (1), додаються ще суттєво більші за величиною прискорення, пов'язані із затухаючими згинними коливаннями корпусних конструкцій, [3, с. 34–36]. Тому саме цей випадок обирається як розрахунковий при проєктуванні відносно великих надводних кораблів, [5, с. 3].

Але розглянемо наступне питання. Від чого залежить рівномірність чи нерівномірність розподілу ударної хвилі по корпусу корабля По-перше, від відстані від корабля до точки вибуху (звідси-близький та далекий вибухи), мал. 1. А по – друге – ще залежить від абсолютних розмірів корабля, на який подіяв підводний вибух. Якщо ці розміри невеликі, то розподіл ударної хвилі по довжині буде більш рівномірним. І якщо довжина корвета, фрегата чи есмінця – 80-18 м, то довжина дрону – кілька метрів (до десяти метрів). Тому, як випливає з відповідного аналізу, будь-який реальний підводний вибух, діючий на дрон, не призведе до виникнення місцевого згину і відповідної складової прискорень. Отже, залежність цих прискорень дрону від часу (як твердого тіла) визначатиметься співвідношенням (1)).

Це, зокрема, означає, що, якщо прискорення пов'язані із місцевим згином, то їх визначення являє собою досить складну проблему. Тут приходиться використовувати або метод кінцевих елементів із подальшою апроксимацією отриманих результатів, [3, с. 35–37], або ставити відповідний експеримент. У той же час визначення прискорень для дрону, що не пов'язані із місцевим згином, допускає відносно просте аналітичне рішення, [6]. Таке рішення має певні переваги перед апроксимацією результатів розрахунків по методу кінцевих елементів. Зазначений підхід є можливим і в цьому випадку, [4, с. 9].

Слід узяти до уваги і наступне. Величина прискорень у начальний момент часу, коли $t = 0$ та $\phi_1(t) = 1$, не є характеристикою виходу того чи іншого пристрою з ладу. Справа у тому, що для поламки пристрою потрібен якійсь, нехай і невеликий, час, а прискорення із часом стримко знижуються, див співвідношення (1).Тому для кожного пристрою має бути відомою ще одна нормативна характеристика, а саме часовий інтервал дії прискорень τ_n, $n \in N$, який є достатнім для того, щоб протягом цього інтервалу відповідний пристрій вийшов би з ладу, [7, с. 131].Задля взяття до уваги цієї обставини усі прискорення мають бути помножені на редукційний коефіцієнт κ, що дорівнює:

$$\kappa = \frac{1}{\tau_n}\int_0^{\tau_n} \exp\left(-\frac{t}{\Theta}\right)dt = \frac{\Theta}{\tau_n}\left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_n}{\Theta}\right)\right].$$

Таким чином, ми переходимо до осереднених по інтервалу τ_n, $n \in N$ прискорень. Далі зауважимо, що при нормуванні можливими є такі два підходи.

В першому випадку визначаються сумарні лінійні прискорення $\ddot{w}$ співвідношенням

$$\ddot{w} = \sqrt{\ddot{X}^2 + \ddot{Y}^2 + \ddot{Z}^2},$$

де $\ddot{X}$, $\ddot{Y}$, $\ddot{Z}$ - лінійні прискорення вздовж координатних осей x, y та z із поправками на кутові прискорення.

Відповідне обмеження виглядає тоді як $\ddot{w} \le [\ddot{w}]$, де $[\ddot{w}]$ - нормативні сумарні прискорення, [6]. В другому випадку маємо три обмеження у вигляді $\ddot{X} \le [\ddot{X}], \ddot{Y} \le [\ddot{Y}]$ та $\ddot{Z} \le [\ddot{Z}]$, де $[\ddot{X}]$, $[\ddot{Y}]$, $[\ddot{Z}]$ - є нормативні лінійні прискорення вздовж координатних осей x, y та z. [6]. Вибір схеми нормування залежить від того, які саме прискорення – сумарні або окремі по координатним осям – ми маємо у технічній документації на систему керування як гранично допустимі. Так, при аналізі дії підводного вибуху на артилерійську установку протимінного корабля було застосоване окреме нормування прискорень по координатним осям, [7, с. 130–131].В обох випадках інтервал осереднення має бути заданим.

Висновки

1. Визначення гранично допустимих прискорень від вибуху є актуальною задачею для морського дрону. Якщо дрон внаслідок вибуху не затонув, але система керування вийшла з ладу, дрон має розглядатися як втрачений.

2. Практично завжди підводний вибух, що діє на дрон, може розглядатися як далекий неконтактний вибух, коли прискорення не пов'язані із динамічним згином конструкцій дрону.

Література

[1] Соломенцев О.І. Визначення умов остійності надводного дрону під дією підводного вибуху. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2025. С. 1047–1050.

[2] Szturomski B. The Effect of Underwater Explosion on a Ship. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, 2015. № 2 (201). P. 57–73.

[3] Dong Jiuting, Liu Jianhu, Wang Jun. Numerical Analysis on Shock Environment in Different Ship Regions Subjected to Underwater Explosion. Chinese Journal of Ship Research, 2018. Vol. 13. № 5. P. 32–38.

[4] Elder D.J. Optimization of Parametric Equations for Shock Transmission Through Surface Ships from Underwater Explosions. Royal Melbourne Institute of Technology. Melbourne, 2006. 217 p.

[5] O'Hara G.J., Brlsheim R.O. Interim Design Values for Shock Design of Shipboard Equipment . NRL Memorandum Report 1393 1963. 32 p.

[6] Соломенцев О.І. Схема визначення прискорень, діючих на морський надводний дрон внаслідок неконтактного підводного вибуху Див статтю у цьому збірнику, с.

[7] Szturomski B., Kicinski R., Milewski S. Accelerations, Caused by Underwater Explosion on the Naval Gun Foundation Advances in Science and Technology, 2024. Vol. 18. Issue 1. P. 129–141.

STANDARDS OF ACCELERATIONS FOR THE UNMANNED SURFACE VEHICLE, CONNECTED WITH UNDERWATER EXPLOSION

Solomentsev Oleg Ivanovich

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Is proposed the general scheme for founding the normatives of accelerations for unmanned surface vehicle, connected with non-contact far underwater explosion. Was shown a possibility of taking into account only rigid body accelerations.

Keywords: Unmanned surface vehicle, underwater explosion, accelerations

УДК 629.12.011.001.24

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕНЬ, ДІЮЧИХ НА МОРСЬКИЙ НАДВОДНИЙ ДРОН ВНАСЛІДОК НЕКОНТАКТНОГО ПІДВОДНОГО ВИБУХУ

Соломенцев О.І.,

доктор технічних наук, професор НУК

Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Аннотація. Розглянуте визначення прискорень, які діють на морський дрон внаслідок підводного вибуху. Вважається, що практичне значення має тільки та складова прискорень, що пов'язана із рухом дрона як твердого тіла. Узяті до уваги шість ступенів свободи руху дрона.

Ключові слова: Морський надводний дрон, підводний вибух, прискорення

Вступна частина. В роботі [1] була розглянута схема нормування прискорень, які діють на морський дрон внаслідок підводного вибуху. Описаний у цій роботі аналіз дозволив дійти висновку, що практичне значення має тільки та складова прискорень, що пов'язана із рухом дрона як твердого тіла. Тепер ці прискорення слід пов'язати із технічними характеристиками дрону, що й буде виконане у даній роботі.

Мета роботи. Метою роботи є визначення прискорень, що діють на морський дрон внаслідок підводного вибуху як на тверде тіло.

Основна частина. Введемо визначення $\{\bar{A}\} = a_i,\ i = 1,\ I$, де $\bar{A}$ – вектор, що має I компонент, a_i – біжуча компонента цього вектора, i - номер цієї компоненти. Вважатимемо, що дрон має шість ступенів свободи, і відповідно $I = 6$. Далі слід взяти до уваги, що час дії вибуху на один-два порядка менший за

характерні для хитавиці корабля часові інтервали. На відміну від нашого дослідження [2, с. 1058–1060], тут ми не братимемо до уваги приєднані маси, оскільки прискорення пов'язані тільки з ударною хвилею (а не з ударною хвилею та газовим міхуром, як у роботі [2, с. 1058–1060]) і внаслідок цього вони формуються протягом дуже короткого часового інтервалу. Тоді основне рівняння для визначення прискорень буде:

$$\bar{M}\ddot{\bar{W}}(t) = \bar{F}\phi(t);\ \varphi_1(t) = \exp\left(-\frac{t}{\Theta}\right), \tag{1}$$

де $\bar{M}$ – вектор узагальнених мас; $\ddot{\bar{W}}(t)$ – вектор залежних від часу лінійних та кутових прискорень; $\bar{F}$ – вектор амплітуд узагальнених сил, t - час, а Θ - константа часу для підводного вибуху, що залежить від типу вибухівки.

Введемо далі координатну систему $0xyz$, початок на перетині діаметральної площини, основної площини та вертикальної площини що проходить через мідель , позитивний напрям вісі x – у ніс, позитивний напрям вісі y – у бік лівого борту, позитивний напрям осі z уверх. Нехай дали **x**, ***y***, ***z*** є координати точки, в якій визначаються прискорення, x_B, y_B, z_B є координати точки в якій стався вибух, x_g, 0, z_z є координати центру важкості дрону, а x_c, 0, z_c є координати центру величини дрону. Далі, $\{\bar{M}\} = m,\ i = 1,\ 6, \{\ddot{\bar{W}}\} = \ddot{w}_i,\ i = 1,\ 6,$ $\{\bar{F}\} = f_i,\ i = 1,6$. Тут маємо $m_1 = m_2 = m_3 = M$, $m_4 = J_X$, $m_5 = J_Y$, $m_6 = J_Z$, де M є маса дрону, а J_X, J_Y, J_Z – моменти інерції маси дрону відносно поздовжньої вісі, поперечної вісі та вертикальної вісі інерції відповідно. Прикінцеву скалярну величину сумарних прискорень w_0 визначимо як

$$w_0 = \sqrt{\ddot{X}^2 + \ddot{Y}^2 + \ddot{Z}^2};$$

$$\ddot{X} = \ddot{x};\ Y = \ddot{y} + y\ddot{\varphi} + (z - z_g)\ddot{\theta};\ \ddot{Z} = \ddot{z} + (x - x_g)\ddot{\psi} + y\ddot{\theta};$$

$$\ddot{w}_1 = \ddot{x};\ \ddot{w}_2 = \ddot{y};\ \ddot{w}_3 = \ddot{z};\ \ddot{w}_4 = \ddot{\theta};\ \ddot{w}_5 = \ddot{\psi};\ \ddot{w}_6 = \ddot{\varphi},$$

де $\ddot{x}$, $\ddot{y}$, $\ddot{z}$ – лінійні прискорення у поздовжньому, поперечному та у вертикальному напрямках відповідно, пов'язані із складовими сили вибуху f_1, f_2, f_3, $\ddot{\theta}$, $\ddot{\psi}$ $\ddot{\varphi}$ – кутові прискорення, пов'язані із обертанням дрону навколо поздовжньої вісі, поперечної вісі та вертикальної вісі інерції відповідно, пов'язані із складовими сили вибуху $f_{14}, f_5, f_6, \ddot{X}$, $\ddot{Y}, \ddot{Z}$ – сумарні лінійні прискорення, пов'язані із усіма компонентами вектору узагальнених сил $\bar{F}$.

Згідно із прийнятою схемою нормування прискорень, може бути взята за основу або їхня сумарна величина $\ddot{w}_0$, або окремо величини $\ddot{X}$, $\ddot{Y}$ та $\ddot{Z}$, [1].Тепер, $f_1 = f_x$, $f_2 = f_y$, $f_3 = f_z$, де f_x, f_y, f_z – складові амплітуди сили вибуху, що діють у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках відповідно. Далі, $f_{14} = m_x$; $f_5 = m_y$,, $f_6 = m_z$ – складові амплітуди пов'язаного із вибухом моменту, що ведуть до обертання дрону навкруги поздовжньої вісі, поперечної вісі та вертикальної вісі інерції відповідно.

Тоді із співвідношення (1) маємо:

$$\ddot{\bar{W}}(t) = \frac{\bar{F}\phi(t)}{M}, \tag{3}$$

причому співвідношення (3) є справедливим для усіх компонент усіх зазначених вище векторів, тут $\bar{F}_0$ – вектор амплітуд узагальнених сил.

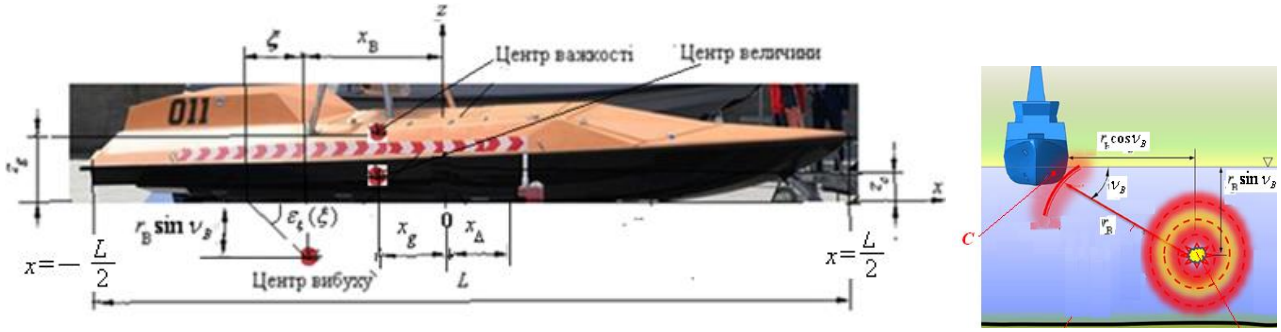


Рисунок 1 – До визначення прискорень, що діють на дрон внаслідок далекого підводного вибуху

Розглянемо далі визначення компонент вектору $\bar{F}_0$, Далі вважатимемо (окрім визначення прискорень, пов'язаних із обертанням дрону навколо поперечної вісі), що дрон має форму циліндра із тією ж змоченою поверхнею, що й справжній дрон, а ширина B та осадка дрону T є малими у порівнянні із мінімальною відстанню від точки вибуху до зовнішньої обшивки дрону r_B. Далі дрон ділиться по дожині на частини L_1, L_2 та L_3, $\sum_{i=1}^{3} L_i = L$. Відсік (відсіки) за часткою довжини L_1 заповнені рідиною, за частко. довжини L_2 відсіки пусті, і за часткою довжини L_3 відсіки заповнені твердим устаткуванням. Тоді знаходимо, мал. 1:

$$f_1 = K\left(\sqrt[3]{G}\right)^A \frac{\Omega}{L}\left[\left|\int_{-\frac{L}{2}}^{x_B} \Phi_{\xi 1}(\xi)\cos\varepsilon_\xi(\xi)d\xi\right| - \left|\int_{x_B}^{\frac{L}{2}} \Phi_\xi 1(\xi)\cos\varepsilon_\xi(\xi)d\xi\right|\right];\ tg\varepsilon_\xi(\xi) = \frac{r_B \sin\nu_B}{\xi};$$

$$f_2 = f_0\cos\nu_B;\ \ f_3 = f_0\sin\nu_B;\ \ f_4 = f_0[\Delta\sin\nu_B - (z_g - z_c)\cos\nu_B];$$

$$f_5 = K\left(\sqrt[3]{G}\right)^A \frac{\Omega(x_\Delta - x_g)}{L^2}\left[\left|\int_{-\frac{L}{2}}^{x_B} \Phi_{\xi 1}(\xi)\sin\varepsilon_\xi(\xi)d\xi\right| - \left|\int_{x_B}^{\frac{L}{2}} \Phi_{\xi 1}(\xi)\sin\varepsilon_\xi(\xi)d\xi\right|\right];\ f_6 = f_0\Delta\cos\nu_B$$

$$x_\Delta = \frac{\left|\int_{-\frac{L}{2}}^{x_B} \xi\Phi_{\xi 1}(\xi)\sin\varepsilon_\xi(\xi)d\xi\right| - \left|\int_{x_B}^{\frac{L}{2}} \xi\Phi_{\xi 1}(\xi)\sin\varepsilon_\xi(\xi)d\xi\right|}{\left|\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \Phi_{\xi 1}(\xi)\sin\varepsilon_\xi(\xi)d\xi\right|};\ \Phi_{\xi 11}\xi) = \frac{\kappa_\xi(\xi)L_\xi(\xi)}{(r_B^2\sin^2\nu_B + \xi^2)^{\frac{A}{2}}}\sin^n\frac{\pi\xi}{L};$$

$$f_0 = K\left(\sqrt[3]{G}\right)^A \frac{\Omega}{L}\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \Phi_{\xi 2}(\xi)d\xi;\ \ \Phi_{\xi 21}\xi) = \frac{\kappa_\xi(\xi)L_\xi(\xi)}{(r_B^2 + \xi^2)^{\frac{A}{2}}}\sin^n\frac{\pi\xi}{L};\ \ \Delta_I \approx \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{\chi}}\right)\frac{B}{2}\cos\nu_B,$$

де ν_B – кут між горизонтальною прямою, що проходить через центр вибуху, та прямою, що проходить через центр вибуху та через центр важкості тієї частини підводного об\єму, яка обмежена тією частиною зовнішньої обшивки дрону, на яку при тому чи іншому значенні кута ν_B діє сферична ударна хвиля, (точка С), [2, с. 1058–1059], κ_i – коефіцієнти, що беруть до уваги віддзеркалену ударну хвилю; n – параметр, що визначається умовою $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n\vartheta d\vartheta = \varphi$, де φ- коефіцієнт поздовжньої повноти дрону; $L_\xi(\xi)$ – частина довжини дрону, на якій поправка на наявність віддзеркаленої ударної хвилі $\kappa_i = \kappa_\xi$ зберігає постійне значення, Ω – площа змоченої поверхні дрону. χ – коефіцієнт вертикальної повноти дрону, L – довжина дрону, G – маса вибухової речовини, а K, A – коефіцієнти, що залежать від типу вибухівки та від обраних одиниць вимірювання.

Так, для тротилу, якщо G вимірюється у кг, а усі лінійні величини – у метрах, то слід прийняти $K = 52,40$, A=1,13, і тоді тиск p_{CH} буде мати розмірність у МПа. А для торпекса НВХ-1 за тих самих умов слід приймати $K = 52,12$ та A=1,18. Тут якщо відсік містить рідину, то κ_1=1, якщо відсік пустий, то κ_2=0, якщо відсік заповнений обладнанням, то $\kappa_3 = \frac{2}{\beta}$, $\beta_E = \frac{E\Theta_E}{\rho c_W \delta}$ де E – модуль Юнга матеріалу корпусу, δ – товщина зовнішньої обшивки, ρ- щільність води та c_W - швидкість звуку у воді, [2, с. 1060–1061].

Висновок. Запропоновано алгоритм визначення прискорень, що діють на надводний морський дрон як на тверде тіло внаслідок підводного вибуху. Узяті до уваги шість ступенів свободи.

Література

[1] Соломенцев О.І. Схема нормування прискорень, діючих на морський надводний дрон внаслідок підводного неконтактного вибуху. Див. тези доповіді у цьому збірнику.

[2] Соломенцев О.І. До визначення нахиляючого моменту імпульсу в задачі про остійність надводного дрону під дією підводного вибуху Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2025. С. 1057–1061.

DETERMINING OF AN ACCELERATIONS FOR THE UNMANNED SURFACE VEHICLE, CONNECTED WITH UNDERWATER EXPLOSION

Solomentsev Oleg Ivanovich

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Is proposed the algorithm for determining of the rigid body accelerations for unmanned surface vehicle, connected with underwater explosion. Six degrees of freedom are taken into account.

Keywords: Unmanned surface vehicle, underwater explosion, accelerations

УДК 629.12.011.001.24

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОРСЬКИХ НАДВОДНИХ ДРОНІВ У ТАКТИЧНІЙ ТА ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНІЙ СФЕРАХ

Соломенцев О.І.,

доктор технічних наук, професор НУК

Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

solomen@mksat.net

Аннотація. Запропоноване визначення тактичної, та оперативно-тактичної сфер використання морських надводних дронів. Також запропоновані схеми визначення відповідних показників ефективності

Ключові слова: морський надводний дрон, показник ефективності, дрон проти надводних, повітряних та берегових цілей.

Вступна частина. У роботах [1, с. 665, 2, с. 944] нами було розглянуте визначення показника ефективності морських ударних дронів-камікадзе та багатоцільових морських дронів відповідно. Проте, в обох випадках йшлося про ефективність одиночного дрона або групи з двох-трьох дронів,, коли дрон може виконувати тільки суто тактичні задачі. У той же час, можливі ситуації, які можна віднести до оперативно-тактичної сфери бойового використання. коли використовується угрупування з 10–20 та більше дронів. Вважатимемо також, що дрони, показник ефективності яких у оперативно – тактичній сфері має бути визначений, завдяки модульній конструкції можуть бути використані також і у тактичній сфері. Тому вважатимемо, що такі дрони вже оптимізовані для тактичної сфери згідно із рекомендаціями робіт [1, 2]. Тут може бути використаний метод послідовних поступок, [3, с. 72–74]. У даному випадку це означає, що після оптимізації для тактичної сфери по схемам робіт [1, 2] для подальшого розгляду залишається не тільки варіант із найкращим значенням критерія оптимізації, але й низка варіантів, критерії яких трохи гірші за оптимальні, але не більш, як на заздалегідь визначену величину (величину поступки).

Мета роботи. Метою роботи є визначення показника ефективності морських дронів у оперативно-тактичній сфері, тобто, коли використовується оперативно-тактична група із певної кількості дронів.

Основна частина. Якщо при тактичному використанні основною ціллю одиничного ударного дрона чи тактичної групи ударних дронів є кораблі супротивника, то на оперативно-тактичному рівні твкими цілями є авіація та берегові об’єкти. Більша кількість атакуючих дронів у цьому випадку пов’язана у першу чергу з тим, що кількість надводних цілей є обмеженою, тоді як кількість повітряних цілей та берегових об’єктів для атаки є суттєво більшою.

У випадку атаки авіації у склад оперативно-тактичної групи входить розвідувальний дрон, метою якого є викликати на себе удар авіації (здебільшого вертольотів) супротивника, підставивши потім ці вертольоти під удар замаскованої групи ударних дронів із малими зенітними керованими ракетами. В цьому випадку дрон має потужні засоби радіоелектронної боротьби, та озброюється зенітними ракетами (дрон з аутрігерами Sirena) [11]. У випадку атаки берегових об’єктів ударними дронами морський надводний дрон або має на озброєнні реактивну систему залпового вогню (РСЗВ «Град»), або сам є носієм повітряних FPV-дронів, [4, с. 17] [12]. При визначенні показника ефективності дрону у складі оперативно-

тактичної групи є можливими такі два підходи. У першому випадку первиннім для нас є одиночний дрон, і ми корегуємо розрахункові залежності для показника ефективності з урахуванням того, що дрон діє у складі групи. При цьому робиться неявне припущення, що дрони взаємодіють із оточуючим середовищем, але не взаємодіють між собою. У другому випадку первинним є не одиночний дрон, а рій дронів. У даній роботі ми обмежимося першим підходом. Пов'язане це з тим, що ройові задачі є характерними на великих територіях, тоді як географічна зона, на якій діють і будуть діяти у майбутньому українські дрони, є доволі малою. Крім того, ройові задачі стають актуальними лише при достатньо великій кількості дронів у оперативно-тактичній групі. Вважатимемо також, що у кожній оперативно-тактичній ситуації виконується моделювання бойових дій, і можна встановити їхній результат у ймовірнісній формі. Застосування такої інформації при визначенні показника ефективності є однією із сучасних тенденцій при проєктування бойових кораблів, [6, с. 102]. У залежності від характеру ударів тут можуть бути використані або залпова модель (Salvo Model), або рівняння Ланчестера, [6, с. 102-103]. Первинна залпова модель була призначена для детермінованого аналізу результатів зіткнень між кораблями, що застосовують один проти одного протикорабельні ракети. Але згодом були розроблені такі модифікації детермінованої залпової моделі, що розраховані на боротьбу із авіацією супротивника [7, с. 70–77] та на боротьбу із береговими об'єктами супротивника, [8, с. 80–97]. А у роботі [9, с. 835-840] розглянута ймовірнісна модифікація залпової моделі, що дозволяє визначити ймовірність результату бойового зіткнення. Співвідношення між залповою моделлю та рівняннями Ланчестера розглянуте у нашій роботі [10, с. 387]. Загалом залпова модель має використовуватися при атаках із застосуванням зенітних ракет, РСЗВ та та FPV-дронів, тоді як рівняння Ланчестера – при застосування кулемета.

Вважатимемо, що оперативно-тактична група складається з $N_{ДР}$ ударних дронів. Показник ефективності розвідувального дрона, що входить до складу оперативно-тактичної групи, має бути визначений окремо, як показано нижче. Далі для ударних дронів у оперативно-тактичній сфері пропонуються наступні показники ефективності.

1. Максимізація кількості дронів з числа оперативно-тактичної групи, що виконали бойову задачу із ймовірністю $P_B \geq [P_B]$, де $[P_B]$- мінімально допустима нормативна ймовірність.

2. Максимізація показника ефективності $Э_1$, що визначається наступними співвідношеннями:

$$Э_1 = N_{ДР} P_B^*, \;\; P_B^* = P_B \text{ при } P_B \geq [P_B]; P_D^* = 0 \text{ при } P_B \leq [P_B].$$

Якщо йдеться про атаку берегових об'єктів із допомогою FPV- дроныв, кількість яких є N_{FPV}, то може використовуватися максимізація показника ефективності $Э_2 = N_{FPV} P_B^*$.

Висновки

1. Під час проєктування морського надводного дрона слід брати до уваги можливість його використання як одиночного або у складі тактичної групи (2-3 дрони) супротив кораблів супротивника у варіантах дрону-камікадзе або багатоцільового дрону, або у складі більш чисельного оперативно – тактичного з'єднання для дій супротив авіації (вертольотів) супротивника або проти берега.

2. Оскільки завдяки модульній конструкції один і той же дрон може бути використаний у кількох варіантах, пропонується виконати його оптимізацію як у тактичній, так і у оперативно-тактичній сфері із застосуванням методу послідовних поступок. Під час визначення показника ефективності у оперативно-тактичній сфері застосовується моделювання бойових двій із використанням залпової моделі або рівнянь Ланчестера.

Література

[1] Соломенцев О.І. Визначення показника ефективності надводного дрону-камікадзе «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2023. С. 663–666.

[2] Соломенцев О.І. Визначення показника ефективності багатоцільового морського дрона. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2024. С. 943–946.

[3] Соломенцев О.И. Постановка многокритериальной задачи оптимизации элементов двухкорпусного судна для сопоставления одно – и двухкорпусных вариантов Судостроение: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Киев – Одесса : Изд. «Либідь», 1991. Вып. 40. С. 69–75.

[4] Тимохин А.Н. БЭКи возвращаются. Развитие вражеских безэкипажных катеров заставляют решать вопросы борьбы с ними на новом уровне Обозрение армии и флота, 2025. № 4. С. 12–19.

[5] Соловьёв А.Э., Ивутин А.Н. А.В. Прохорцов, О.В. Чукова Роевые системы беспилотных объектов: современное состояние и перспективы. Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук, 2024. № 4. С. 65–70.

[6] Третьяков О.В., Шебуняев М.В., Щукин П.И. Один из подходов к комплексной оценке кораблей. Морской вестник, 2025. № 3. С. 100–103.

[7] Poulos M. An Anti-Air Warfare Study for a Small Size Navy. Master's of Science Thesis. – Naval Postgraduate School. Monterey, 1994. 87 p.

[8] Mahan C.M. A Littoral Combat Model for Land-Sea Missile Engagements Master's of Science Thesis. Naval Postgraduate School. Monterey, 2007. 104 p.

[9] Armstrong M.J. A Stochastic Salvo Model For Naval Surface Combat. Operation Research, 2005.- Vol. 53. № 5. P. 830–841.

[10] Соломенцев О.И. Анализ соотношения между залповой моделью и уравнениями Ланчестера. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : НУК, 2020. Частина II. С. 382–390.

[11] Лещенко Л. Україна розробила морський дрон-реб, оснащений ракетами проти авіації РФ. Сайт УНІАН. Електронний ресурс. Режим доступу https;//www.unian.ua/weapons

[12] Михайлов, Д. СБУ представила нове покоління морських дронів. Електронний ресурс. Режим доступу https://suspilne.media, 22.10.2025. Українські морські дрони вперше помічено з FPV-дронами на оптоволокні, і це про складніші удари для ворога. Електронний ресурс. Режим доступу https://defense-ua.com\news, 27.10.2025

DETERMINATION OF THE MEASURE OF EFFICIENCY OF THE SURFACE DRONE IN TACTICAL AND OPERATION-TACTICAL VARIANTS OF USING

Solomentsev Oleg Ivanovich

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Was learned determining of the measure of efficiency for the group of surface drones against enemy's ships (tactical situation, little group). Then, this measure was learned for the group of surface drones against helicopters and beach objects (operation-tactical situation, big group).

Keywords: Unmanned surface vehicle, measure of efficiency, drone against surface, air and beach targets

УДК 629.12.011.001.24

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРЦЕПТОРІВ, ТРАНЦЕВИХ ПЛИТ ТА ПІДВОДНИХ КРИЛ НА НАДВОДНИХ МОРСЬКИХ ДРОНАХ

Соломенцев О.І.,
доктор технічних наук, професор НУК
Національний університет кораблебудування імені. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
solomen@mksat.net

Анотація. Розглянуті особливості використання інтерцепторів, транцевих плит та підводних крил на морських надводних дронах. Показано, що їх використання на дронах є більш актуальним завданням, ніж для бойових та патрульних катерів із особовим складом

Ключові слова: морський надводний дрон, інтерцептор, транцева плита, підводне крило

Мета роботи. Метою роботи є аналіз особливостей застосування інтерцепторів, транцевих плит та підводних крил на надводних морських дронах та надання відповідних рекомендацій

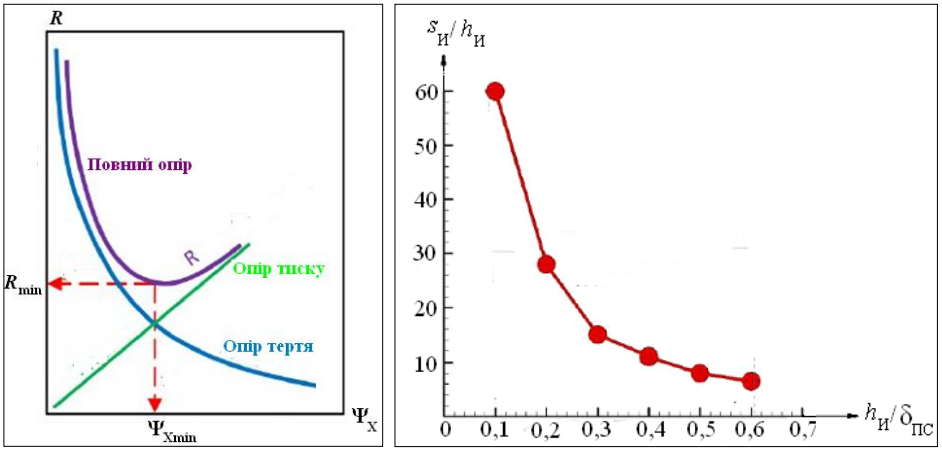
Вступна частина. Характерними для морських надводних дронів, є малі абсолютні розміри та великі швидкості. Це відповідає високим числам Фруда, суттєво більш високим, ніж для бойових та патрульних катерів із особовим складом, і змушує рахуватися із можливою втратою поздовжньої стійкості глісирування. оскільки високих числах Фруда диферентуючий на корму момент приймає надмірно високі значення. Під дією цього моменту глісер і втрачає поздовжню стійкість, що проявляється у вигляді інтенсивних автоколивань по осадці та по диференту. Аби запобігти цьому, слід зменшити фактичний ходовий диферент Ψ_X, що у першому наближенні може бути визначений за апроксимуючою формулою з роботи [1, с. 20], до допустимої величини $[\Psi_X]$, яка може бути визначена згідно із роботами [2, с. 20], [3, с. 40–45].

Введемо далі координатну вісь 0x, початок відліку на транці, позитивний напрям – з корми у ніс. Тоді іншою характеристикою поздовжньої стійкості руху глісера є віднесена до ширини гранична відстань центру важкості від транца $[\bar{x}_g]$, ця величина може бути визначена згідно [3, с. 45–47].

Якщо ж поздовжня стійкість збережена, тобто $\Psi_X \le [\Psi_X]$ або $\bar{x}_g \le [\bar{x}_g]$, то глісер йде із кутом ходового диференту Ψ_X на корму. Швидкість глісера при заданих технічних характеристиках залежить від опору води його руху. У свою чергу, цей опір залежить від ходового диферента. Пояснюється така залежність тим, що опір води рухові глісера складається з двох основних частин – опору тертя та опору тиску. При цьому опір тиску зростає із збільшенням кута диферента, тоді як опір тертя, навпаки, у цьому випадку знижається. Тому кожному числу Фруда для глісера відповідає такий кут диференту $\Psi_X = \Psi_{X\min}$, при якому сума опору тертя та опору тиску буде найменшою. При цьому той ходовий диферент Ψ_X, який природним чином отримує глісер під час руху на тій чи інший швидкості, та диферент $\Psi_{X\min}$, що відповідає мінімальному опору на цій же швидкості, у загальному випадку не співпадають, [4, с. 50–51], [5, с. 1606].

Тому. як з точки зору збереження поздовжньої стійкості глісирування, так і з точки зору зменшення опору води рухові глісера є доцільним змінити кут його диференту у порівнянні із тим кутом Ψ_X, який глісер отримує природним чином під час руху. Для досягнення цієї мети слід змінити диферентуючий момент, який природним чином виникає на корпусі глісера, що рухається. Для цього і застосовуються інтерцептори, транцеві плити на підводні крила.

Основна частина. Застосування інтерцепторів можливе тоді, коли все ж немає потреби у додатковому забезпеченні поздовжньої стійкості глісирування. Послідовність розрахунку ходовості тут наступна. Нехай $R(Fr,\Psi_X)$ є аналітична залежність повного опору рухові глісера без інтерцепторів від швидкісного режиму (числа Фруда Fr) та кута ходового диферента Ψ_X. Далі для глісера без інтерцепторів визначається оптимальний по опору кут ходового диферента $\Psi_{X\min}$.з умови $\Psi_{X\min} = \arg\min_{\Psi_X} R(Fr,\Psi_X)$. Після цього на підставі відомих експериментальних досліджень [6, 108–115], [7, с. 100-110], [8, с. 7–13]. обираються декілька попередніх варіантів кількості інтерцепторів та їх розміщення, Тепер виконуються розрахунки ходовості глісера вже з інтерцепторами. Після цього може бути обраний оптимальний по ходовості варіант кількості інтерцепторів та іх розміщення, Відповідні розрахункові схеми містяться у роботах [2, с. 18–24], [9, с. 31–33], [10, с. 310–316] Аналогічно виконується і розрахунок ходовості глісера із транцевою плитою, [11, с. 292–296].



а *б*

Рисунок 1 – До вибору інтерцептора для глісера з умови мінімізації опору [5, с. 1606], [6, с. 110]: а- яккісна схема визначення кута ходового диферента, що відповідає мінімуму опору руху глісера, [5, с. 1606];

б – співвідношення між висотою інтерцептора $h_И$, хордою інтерцептора $s_И$ та товщиною граничного слою $\delta_{ПС}$, що відповідають мінімуму опору, [6, с. 110]

Припустимо тепер, що поздовжня стійкість глісирування для глісера без транцевої плити або підводного крила не забезпечена, тобто $\bar{x}_g > [\bar{x}_g]$. Тоді плита або крило мають бути добавлені, а їхні характеристик мають відповідати співвідношенню:

$$C_z \frac{\rho v^2}{2} S(\bar{x}_g - \bar{x}_F) = P(\bar{x}_g - [x_g]),$$

де C_z – коефіцієнт вертикальної сили на транцевій плиті або на крилі, ця сила прикладена на відстані центру тиску $B\bar{x}_F$ від транца (якщо центр тиску знаходиться в корму від транца, то $\bar{x}_F < 0$, якщо в ніс від транца- $\bar{x}_F > 0$), ρ – щільність води, v – швидкість глісера, S – площа транцевої плити або підводного крила.

Якщо глісер має як інтерцептори, так і транцеву плиту, то слід рахуватися з їхнім взаємним впливом на ходовість, [10, с. 317–320], [12, с. 224–227].

Висновки

1. Для надводних морських дронів є актуальним використання штучних засобів задля корегування кута ходового диференту, що виникає природним шляхом на корпусі в умовах глісирування.
2. На відміну від звичайних бойових та патрульних катерів, перевірка поздовжньої стійкості глісирування завжди є необхідною.
3. Застосування транцевих плит є менш актуальним у порівнянні з інтерцепторами та підводними крилами.

Література

[1] Rahman T., Piyas N.Z., Baree S. Automation of Savitsky's Method for Power Calculation of High Speed Vessel and Generating Empirical Formula Proceedings of the 11th International Conference of Marine Technology (MARTEC 2018). Kuala Lumpur, 2018. P. 17–22.

[2] Афремов А.Ш., Смолина Н.А. Исследование устойчивости продольного движения быстроходных судов. Труды Крыловского государственного научного центра, 2011. Вып. 59. С. 5–26.

[3] Martin, M. Theoretical Determination of Porpoising Instability of High-Speed Planning Boats Journal of Ship Research, 1978. Vol. 22. № 1. P. 32–53/

[4] Sancak, E. Cakisi F.Determination of the Optimum Trim Angle of a Planing Hull for Minimum Drag Using Savitsky. Journal of Ship and Marine Technology, 2021. Vol. 220. P. 44–53.

[5] Hakim M.L.,. Purnamasari D., Muryadin M. Using Trim Control to Improve Energy Efficiency of High Speed Marine Vessels (HSMV). Joint Journal of Novel Carbon Resource & Green Asia Strategy, 2023.Vol. 10. Issue 03. P. 1603–1615.

[6] Mansoori, M. Fernandes A.C., Ghassemi H. Interceptor Design for Optimum Trim Control and Minimum Resistance of Planing Boats. Applied Ocean Research, 2017.Vol. 69. P. 100–115.

[7] Samuel, S. Mursid O., Yulianti S. Evaluation of Interceptor Design to Reduce Drag of Planning Hull. Brodogradnja, 2022.Vol. 73.№ 3. P. 93–110.

[8] Putra, A.M.F., Suzuki H. Experimental and Numerical Study on the High-Speed Ship Hydrodynamics, Influenced by an Interceptor with Varied Angle of Attack International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2024.Vol 16. 15 p.

[9] Буньков, М.М./ Г.Г. Охрименко, С.Б. Соловей Приближённый метод расчёта сопротивления воды движению глиссирующих судов с транцевыми интерцепторами Вопросы судостроения. Серия «Проєктирование судов». Л. : ЦНИИ «Румб», 1981. Вып. 29.

[10] Kewei Song, Chun-yu Guo, Jie Gong. Influence of Interceptors, Stern Flaps and their Combinations on Hydrodynamic Performance of a Deep-Vee Ship. Ocean Engineering, 2018. Vol. 170. P. 306–320.

[11] Справочник по теории корабля (под редакцией Я.И. Войткунского). Том 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания. Л. : Судостроение, 1985. 544 с.

[12] Samuel, S. Yulianti, P. Manik B**.** Numerical Research on the Influence of Interceptor Flaps on the Planing Hydrodynamic Performanceю Nase More, 2023.Vol. 70. Issue 4. P. 219–227.

USING OF INTERCEPTORS, STERN FLAPS AND HYDROFOILS ON THE UNMANNED SURFACE VEHICLES

Solomentsev Oleg Ivanovich

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Are learned the perspectives of using the interceptors, stern flaps and hydrofoils on the unmanned surface vehicles. Is shown, that such a problem is more actual in comparing with usual manning attack and patrol crafts.

Keywords: unmanned surface vehicles,, interceptor, stern flap, hydrofoil.

УДК 656.073:004

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ УКРАЇНИ

Абба А.Д.,
магістрантка VI курсу
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
abba.nastya@gmail.com

Анотація. В доповіді розкрито роль та перспективи застосування сучасних інформаційних технологій в управлінні мультимодальними транспортними коридорами України в умовах сучасних безпекових викликів. Проведено аналіз впливів таких інструментів, як штучний інтелект, концепція цифрових веж управління (Control Towers) та технології Big Data на оптимізацію інтермодальних хабів. Визначено, що цифровізація є ключовим чинником забезпечення стійкості логістичних ланцюгів постачання.

Ключові слова: мультимодальні перевезення, логістичні системи, штучний інтелект, цифрові вежі управління, Big Data, безпекові виклики.

Розвиток світової та національної економіки безпосередньо залежить від ефективності транспортно-логістичних систем, які забезпечують переміщення товарів. Сучасні геополітичні реалії України зумовлюють необхідність докорінної трансформації існуючих підходів до менеджменту транспортних коридорів. Традиційні логістичні маршрути зазнають значних руйнувань, що вимагає динамічного переформатування вантажопотоків у напрямку західних прикордонних переходів та Дунайського портового кластеру. У цих умовах впровадження цифрових технологій стає стратегічним пріоритетом для забезпечення гнучкості, прозорості та стійкості мультимодальних систем перевезень.

Метою доповіді є дослідження перспективних напрямів розвитку технологій управління в мультимодальних транспортних коридорах України для підвищення їхньої стійкості в умовах безпекових ризиків та невизначеності.

Сучасне ефективне управління мультимодальними перевезеннями неможливе без об’єднання сучасних інформаційних рішень у межах єдиної цифрової екосистеми. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) для динамічного перенаправлення вантажопотоків (динамічного маршрутингу). Системи ШІ здатні в режимі реального часу аналізувати значні масиви інформації про безпекові ризики, завантаженість інфраструктурних об’єктів, черги на прикордонних переходах та погодні умови. Далі на основі цих даних формуються оптимальні альтернативні маршрути доставки, що мінімізує простої транспорту та дозволяє оперативно реагувати на критичні зміни у просторі [1].

Іншою складовою менеджменту ризиків є концепція «Цифрових веж управління» (Control Towers). Ця технологія забезпечує наскрізну видимість (end-to-end visibility) всього ланцюга постачання. Завдяки з’єднанню з датчиками Інтернету речей (IoT), встановленими на контейнерах та транспортних засобах, логістичні менеджери отримують актуальні дані про місцезнаходження, технічний стан та умови транспортування вантажу. Control Towers виступають централізованим інформаційним хабом, який дозволяє виявляти відхилення від графіка руху ще до моменту виникнення логістичного збою [3].

Оптимізація взаємодії різних видів транспорту у прикордонних та внутрішніх інтермодальних хабах (зокрема, «сухих портах») потребує застосування інструментів Big Data. Аналітика великих даних синхронізує роботу залізничного, автомобільного та морського (річкового) транспорту, розраховувати пропускну спроможність терміналів та раціонально розподіляти складські потужності. Що, у свою чергу, знижує адміністративні витрати, прискорює митне оформлення вантажів та підвищує конкурентоспроможність національної логістичної інфраструктури в умовах євроінтеграції [1].

Таким чином, цифрова трансформація транспортно-логістичної сфери, спрямована на запровадження систем динамічного маршрутингу на базі ШІ, концепції Control Towers та аналітики Big Data створює новий фундамент для ефективного антикризового менеджменту. Реалізація цих інноваційних підходів дозволить інтегрувати логістичну мережу України до європейського транспортного простору та забезпечити безперебійність стратегічних потоків постачання [2].

Література

[1] Яровий В. І. Теоретичні засади цифровізації контейнерних перевезень. *Економіка та суспільство*. 2022. № 38. URL: https://economyandsociety.in.ua

[2] Ремиха Ю., Тонюк М. The Newest Tools for Strategic Management of the Ukrainian Transport Sector in the Context of Digitalisation. *Path of Science*. 2023. Vol. 9, no. 4. С. 21–29.

[3] О. Л. Дрожжін. IoT in Container Shipping Industry: Applications and Examples of Solutions. *Transport Systems and Technologies*. 2024. № 12. С. 88–94.

DEVELOPMENT OF MANAGEMENT TECHNOLOGIES TO INCREASE THE RESILIENCE OF MULTIMODAL TRANSPORT CORRIDORS OF UKRAINE UNDER SECURITY CHALLENGES

Abba A. D.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine **Abstract.** The article explores the role and prospects of modern information technologies in managing multimodal transport corridors of Ukraine under current security challenges. The impact of tools such as Artificial Intelligence, the concept of Digital Control Towers, and Big Data technologies on the optimization of intermodal hubs is analyzed. It is determined that digitalization is a key factor in ensuring the resilience of supply chains.

Keywords: multimodal transportation, logistics systems, artificial intelligence, digital control towers, Big Data, security challenges.

УДК 621.4

ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОГО СТУПЕНЯ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА ДЛЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Бєков Б.А.,
аспірант
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна, м. Миколаїв
Bohdan.Biekov53@gmail.com

Анотація. Розроблено програму дослідження моделі охолоджувального ступеня осьового компресора газотурбінного двигуна з метою отримання експериментальних даних щодо ефективності його роботи. Основними завданнями дослідження є визначення параметрів повітряного потоку до та після компресорної решітки, коефіцієнта втрат повної енергії та дійсного кута виходу потоку, а також встановлення характеру їх зміни залежно від режимних параметрів роботи ступеня. Програмою передбачено визначення витрати повітря, міри підвищення тиску та адіабатичного коефіцієнта корисної дії для характеристики компресора, границі помпажу та оцінювання запасу його газодинамічної стійкості. Для дослідження процесу охолодження передбачено вимірювання температури та відносної вологості повітря до і після охолоджувального ступеня, а також витрати і температури води через поверхні направляючих лопаток. Відповідно до поставлених завдань обґрунтовано обсяг і послідовність проведення експериментів, наведено характеристики експериментального стенду та його інформаційно-вимірювальної системи, визначено перелік контрольованих параметрів і способи обробки та аналізу отриманих експериментальних даних. Реалізація розробленої програми досліджень дає змогу визначити вплив випарного охолодження повітря на аеродинамічні, теплові та режимні характеристики моделі охолоджувального ступеня осьового компресора та оцінити перспективність його застосування у складі газотурбінного двигуна.

Ключові слова: випарне охолодження, направляючі лопатки, експеримент, ефективність.

Вступ. Одним із основних напрямів підвищення ефективності газотурбінних двигунів є зменшення роботи, що витрачається на привод компресора. Зниження температури повітря в процесі стискання дозволяє зменшити питому роботу компресора та наблизити процес стискання до ізотермічного. Перспективним способом реалізації такого процесу є випарне охолодження повітря безпосередньо в проточній частині осьового компресора. Використання поверхонь направляючих лопаток для випарного охолодження дозволяє здійснювати відведення теплоти безпосередньо в процесі стискання повітря та створює передумови для підвищення ефективності газотурбінного двигуна.

Мета роботи – отримання експериментальних даних щодо досягнення ефективної працездатності дослідного зразка охолоджувальної системи осьового компресору газотурбінного двигуна.

Досягнення даної мети зводиться до вирішення наступних завдань:

– розробити програму експериментальних досліджень моделі охолоджувального ступеня осьового компресора та визначити послідовність проведення дослідів;

– визначити основні параметри повітряного потоку на вході та виході з дослідного ступеня, зокрема температуру, тиск, відносну вологість і витрату повітря;

– визначити параметри процесу випарного охолодження, зокрема витрату та температуру води;

– провести порівняльний аналіз теплових і газодинамічних характеристик дослідного ступеня при роботі з випарним охолодженням та без нього для оцінювання ефективності запропонованого способу охолодження повітря.

Методом дослідження є фізичне моделювання процесів охолодження повітря в ступенях осьового компресора для зниження роботи стиснення.

Основна частина. Програма дослідження відповідає темі дисертаційної роботи «Підвищення ефективності газотурбінних установок випарним охолодженням вологого повітря через поверхні направляючих лопаток». Робочою науковою гіпотезою є припущення, що підвищення ефективності енергетичних установок з газоторбінними двигунами може бути досягнено шляхом застосування в їх складі осьових компресорів з поступеневим охолодженням повітря при стисненні.

Програма проведення експерименту включає:

– дослідження охолоджувального ступеня при різних режимах роботи з визначенням температури, тиску, вологості та витрати повітря.

– опис проведення експерименту щодо охолодження стискаємого повітря;

– обґрунтування засобів вимірювань при визначенні розподілу тиску повітря за елементами ступеня;

– обґрунтування способів обробки та аналізу результатів експерименту для визначення характеристик ступенів осьового компресора.

Схеми робочої ділянки та експериментального стенду наведені на рисунках 1 та 2.

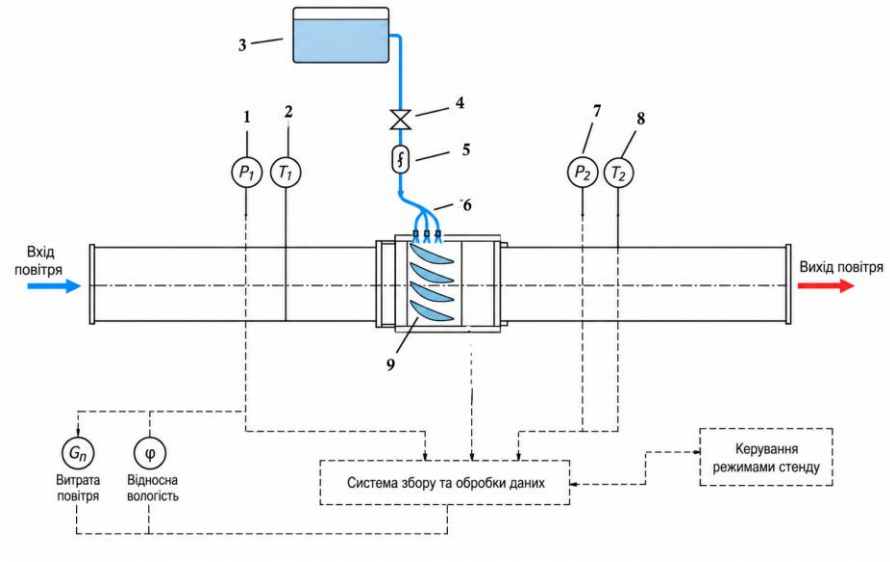


Рисунок 1 – Схема робочої ділянки:

1, 7 – датчики тиску повітря на вході та виході; 2, 8 – датчик температури повітря на вході та виході; 3 – бак з водою; 4 – регулювальний клапан; 5 – витратомір води; 6 – система підведення води до направляючих лопаток; 9 – направляючі лопатки охолоджувального ступеня

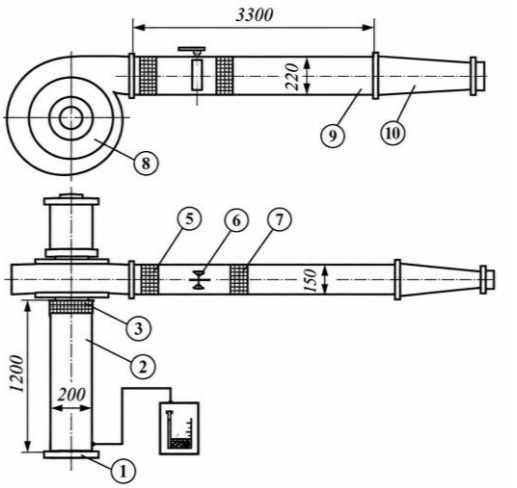


Рисунок 2 – Схема експериментального стенду:

1 – нормальна діафрагма; 2 – тягонапоромір; 3 – вхідна ділянка; 4, 5 та 7 – решітки; 6 – тристулкова заслінка; 8 – відцентровий вентилятор; 9 – нагнітальна ділянка; 10 – перехідний патрубок

Значення похибок прямих вимірювань приведені у таблиці.

Таблиця – Значення основних похибок засобів вимірювання

Середовище	Параметр, одиниця виміру	Діапазон	Прилад	Відносна похибка, %
Повітря до та після ступеня	Температура, °С	15…150	Термопара ХК, вимірювальний пристрій «ОВЕН»	±2,5
	Тиск, кПа	0…250	U-подібний водяний манометр	±1,0
	Відносна вологість, %	0…100	Датчик відносної вологості	±3,0
Атмосферне повітря	Тиск, кПа	90…110	Барометр МД-21	±0,5
Повітря	Перепад тиску на витратомірному пристрої	0…24 мм вод. ст.	Мікроманометр	±2,0
	Витрата, кг/с	Відповідно до режиму	Нормальна діафрагма, тягонапоромір типу ТНВ	±2,0
Вода	Температура, °С	10…50	Термопара ХК, вимірювальний пристрій «ОВЕН»	±2,5
	Витрата, кг/с	Відповідно до режиму	Витратомір води	±2,0

Нерівномірність параметрів повітряного потоку по поперечному перерізу робочої ділянки враховується як методична складова похибки. Для зменшення її впливу вимірювання параметрів потоку проводяться у декількох точках з подальшим осередненням отриманих значень.

Висновки

1. Розроблено програму експериментального дослідження моделі охолоджувального ступеня осьового компресора, яка передбачає визначення теплових та газодинамічних характеристик ступеня.
2. Запропонована схема експериментального стенду забезпечує визначення термодинамічних параметрів і витрати повітря та води, що дозволяє порівнювати режими роботи ступеня без охолодження та з випарним охолодженням.
3. Для оцінювання достовірності експериментальних даних передбачено врахування похибок прямих і опосередкованих вимірювань.

RESEARCH PROGRAM FOR A COOLING STAGE MODEL OF AN AXIAL COMPRESSOR FOR A GAS TURBINE ENGINE

Biekov B.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Summery. A research program has been developed to obtain experimental data on the performance of a cooling stage model of an axial compressor for a gas turbine engine. The main objective of the experiment is to determine the influence of evaporative air cooling through the surfaces of guide vanes on the thermal and gas-dynamic characteristics of the compressor stage. The scope and sequence of experiments have been substantiated, the experimental test bench and its measurement system have been described, and the parameters to be measured have been determined. The proposed methodology provides for measuring air temperature, pressure, relative humidity and flow rate, as well as water parameters, followed by comparison of the stage operating modes without cooling and with evaporative cooling. The accuracy of indirectly determined parameters is estimated using the propagation of measurement uncertainties.

Keywords: evaporative cooling, guide vanes, experiment, efficiency.

УДК 656.615: 351.86

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ІНФРАСТРУКТУРИ МОРСЬКОГО ПОРТУ ПІД ЧАС ДІЇ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Івченко Р.Ю.,
магістрант
romanivchenko5002@gmail.com
Шевцов А.П.,
доктор технічних наук, професор, професор навчально-наукового центру морської інфраструктури
anatoliy.shevtsov@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Метою дослідження є підвищення безпеки інфраструктури морського порту під час дії військового стану шляхом обґрунтування доцільності внесення змін до Міжнародного кодексу з охорони суден і портових засобів (далі – Кодекс ОСПЗ). Методом дослідження є системний аналіз підвищення безпеки об'єктів морського порту. Отримали подальший розвиток наукові підходи до класифікації рівнів безпеки під час бойових дій. Удосконалено підходи до взаємодії між судновими та портовими службами безпеки у надзвичайних ситуаціях. Запропоновано концепцію внесення поправок до Кодексу ОСПЗ з урахуванням військових ризиків та умов воєнного стану.

Ключові слова: кодекс з охорони суден і портових засобів, модель, небезпека, ризик, травмування, руйнування.

Вступ. Актуальність дослідження обумовлена зростанням рівня загроз у сфері морської безпеки внаслідок воєнних конфліктів (збройної агресії) та гібридних викликів, що спрямовані на морську інфраструктуру [1]. Кодекс ОСПЗ є базовим документом, що регулює заходи безпеки у сфері міжнародного судноплавства [2]. Проте його положення не повною мірою враховують специфіку умов, у яких функціонують порти та судна у воюючих країнах. Відповідно, виникає необхідність аналізу можливості внесення до Кодексу ОСПЗ поправок, спрямованих на підвищення ефективності заходів безпеки під час ведення бойових дій або у періоди військової нестабільності. Дослідження узгоджується з положеннями Міжнародної морської організації (ІМО) щодо постійного вдосконалення системи морської безпеки, а також з національними програмами розвитку морської індустрії та безпеки транспортної інфраструктури України [3–11]. Крім того, Конференція договірних урядів Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі 1974 року з поправками (далі – СОЛАС-74), враховуючи, що нова глава XI-2 конвенції містить посилання на Кодекс ОСПЗ і вимагає, щоб судна, компанії та портові засоби дотримувалися відповідних вимог частини А Кодексу ОСПЗ, як зазначено в частині А Кодексу, звернулась з проханням до Комітету з безпеки на морі постійно переглядати Кодекс ОСПЗ та вносити до нього відповідні зміни. Робота відповідає завданням реалізації положень Конвенції СОЛАС-74 та вимог Кодексу ОСПЗ у контексті національної безпеки.

Мета роботи підвищення безпеки інфраструктури морського порту під час дії військового стану шляхом обґрунтування доцільності внесення змін до Кодексу ОСПЗ.

Завдання дослідження: аналіз чинних положень Кодексу ОСПЗ для визначення недоліків у забезпеченні безпеки в умовах військових дій; обґрунтування напрямів внесення поправок до Кодексу ОСПЗ шляхом розробки імітаційної моделі безпеки об'єктів морського порту в програмному середовищі; розробка рекомендацій щодо практичного впровадження таких змін у національне законодавство.

Метод дослідження системний аналіз підвищення безпеки об'єктів морського порту за настановами Кодексу ОСПЗ.

Об'єктом дослідження є процеси безпеки внаслідок воєнних конфліктів (збройної агресії) та гібридних викликів, що спрямовані на об'єкти інфраструктури морського порту.

Предметом дослідження є показники та характеристики процесів безпеки при функціонуванні об'єктів морського порту.

Результати дослідження. Моделювання процесів формування і виникнення небезпек виконано методом графічно окресленого логічного моделювання потенційних впливів бойових дій або військової нестабільності. Цей метод забезпечив можливість доопрацювати систему охорони суден і портових засобів, яка базується на вимогах Кодексу ОСПЗ шляхом оперативного пошуку небезпек, їх логічному і математичному аналізі й завчасному прийнятті заходів для уникання потенційних небезпек ще до виникнення катастрофічних ситуацій. Шляхом побудови схеми загроз – «дерева загроз» зроблена математична обробка моделі з метою одержання ймовірності виникнення небажаних випадкових подій.

Обчисленні рівні небезпеки обґрунтовують необхідність внесення до Кодексу ОСПЗ поправок, спрямованих на підвищення ефективності заходів безпеки під час ведення бойових дій або у періоди військової нестабільності, зниження їх небезпеки тощо.

Оцінки ризиків травмування та руйнування виконані з урахуванням організаційних, технічних, психофізіологічних складових в складі: *P1* стан контролю з цивільного захисту, *P2* психологічний стан робітників, *P3* помилка робітників, *P4* не спрацювання захисту,… , *PM* травма від ураження, *PN* руйнування від ураження.

Алгоритм розрахунку ймовірностей подій виконується за допомогою операторів «І» та «АБО» за правилами теорії ймовірностей. Якщо в оператор «АБО» входять чотири і більше випадкових базових подій з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують формули для двох та трьох подій.

Якщо в оператор «АБО» входять чотири і більше випадкових базових подій з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули.

Висновки. Отримали подальший розвиток наукові підходи до класифікації рівнів охорони під час дії військового стану. Удосконалено підходи до взаємодії між судновими та портовими службами безпеки у надзвичайних ситуаціях. Запропоновано концепцію внесення поправок до Кодексу ОСПЗ з урахуванням військових ризиків та умов воєнного стану.

Результати дослідження мають теоретичне значення для подальшого вдосконалення міжнародного морського права у сфері безпеки, а також практичну цінність для служб морської безпеки, капітанів портів, портових операторів (стивідорних компаній) і компетентних органів державної влади.

Розроблені пропозиції узгоджуються з чинними положеннями СОЛАС-74, Кодексу ОСПЗ, а також із законодавством України у сфері морської безпеки, зокрема Законом України «Про морські порти України», відповідними наказами і розпорядженнями Призначеного органу та Визнаної організації у сфері охорони суден та портових засобів на морі та Державної служби морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України.

Література

[1] International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974.

[2] International Ship and Port Facility Security Code (ISPS Code), IMO, 2002.

[3] Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України «Про затвердження Положення про схвалення оцінок і планів охорони портових засобів та видачу Актів про відповідність портових засобів» від 19.12.2007 № 1095.

[4] Наказ Міністерства інфраструктури України «Про затвердження Типового положення про службу морської безпеки» від 25.08.2011 № 339.

[5] Закон України «Про морські порти України» від 17.05.2012 № 4709-VI.

[6] Наказ Міністерства інфраструктури України «Про затвердження Порядку організації охорони морських та річкових портів» від 27.03.2013 № 198.

[7] Наказ Міністерства інфраструктури України «Про затвердження Типового положення про загін охорони морських портів» від 15.04.2013 № 220.

[8] Наказ Міністерства інфраструктури України «Про покладання обов'язків на визнані організації у сфері охорони суден та портових засобів на морі» від 26.07.2016 № 250.

[9] IMO Resolution MSC.380 (94) "Amendments to the ISPS Code", ухвалена 21 листопада 2014 року.

[10] Конвенція MARPOL 73/78 – Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден від 26.09.1997 № 896_009.

[11] Міжнародна морська організація (IMO) – офіційний вебсайт: www.imo.org.

INHANSING SEAPORT INFRASTRUCTURE SECURETY IN ACCORDACE WITH THE INTERNATIONAL SHIP AND PORT FACILITY SECURITY CODE GUIDELINES

Roman Ivchenko, Anatoliy Shevtsov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The aim of the study is to enhance the security of seaport infrastructure during martial law by substantiating the need to amend the International Ship and Port

facility security (ISPS) Code. The research employs f systems analyses approach to improving the security of seaport facilities. Scientific approaches to classifying security levels during combat operation have been further developed, and approaches to coordination between ship and port security servies luring emergencies have been refined. A concept for amending the ISPS Code, taking into account military risk and the conditions of martial law, is proposed.

Keywords: Code for the Security of Ships and Port Facilities, model, hazard, risk, injury, destruction.

УДК 656.615(477,74)

ФУНКЦІОНУВАННЯ МОРСЬКИХ ПОРТІВ ВЕЛИКОЇ ОДЕСИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Тубальцев А.М.,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
anatoliy.tubaltsev@nuos.edu.ua
Тубальцева Н.П.,
кандидат економічних наук,доцент кафедри менеджменту
natalia.tubaltseva@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто діяльність морських портів Великої Одеси в сучасних умовах. Визначено проблеми функціонування портової інфраструктури. Показано результати роботи морських портів України за 2025-2026 рік. Зазначено, що сьогодні навантаження з перевалки експортних та імпортних товарів утримують 2 основні регіони: порти Великої Одеси та Дунайський портовий кластер. Обґрунтовано можливості та загрози в подальшій діяльності портової інфраструктури, сильні та слабкі сторони функціонування портів Великої Одеси показано в SWOT-аналізі.

Ключові слова: морський порт, вантажообіг, розвиток, інфраструктура.

Вступ. Морська портова інфраструктура є одним із ключових елементів транспортно-логістичної системи держави, забезпечуючи інтеграцію національної економіки у світові торговельні мережі, розвиток експортно-імпортних операцій та зміцнення міжнародного економічного співробітництва. Для України, яка має вигідне географічне розташування на узбережжі Чорного моря і традиційно є одним із провідних експортерів аграрної та металургійної продукції, ефективне функціонування морських портів має стратегічне значення для забезпечення економічної безпеки та конкурентоспроможності країни.

У сучасних умовах особливої актуальності набувають питання оцінки поточного стану морської портової інфраструктури України, визначення основних проблем її функціонування, аналізу впливу воєнних дій на розвиток портового господарства. Особлива увага приділяється модернізації портових потужностей, цифровізації логістичних процесів, розвитку мультимодальних перевезень, підвищенню стійкості транспортної інфраструктури та забезпеченню безпеки судноплавства.

Метою цієї статті є аналіз сучасного стану морської портової інфраструктури України, оцінка основних тенденцій її розвитку в умовах воєнних викликів, визначення ключових проблем.

Основна частина. Повномасштабна військова агресія Російської Федерації кардинально змінила умови функціонування морської галузі України. Блокування морських шляхів, руйнування портової інфраструктури, мінна небезпека, порушення логістичних ланцюгів та скорочення вантажопотоків спричинили суттєве зниження ефективності роботи морських портів і значні економічні втрати. Водночас функціонування Українського морського коридору, поступове відновлення експорту морським транспортом, розвиток альтернативних логістичних маршрутів та міжнародна підтримка створюють передумови для відновлення діяльності портової системи та її подальшої модернізації.

Морська портова інфраструктура України сьогодні працює в умовах воєнного стану, безперервних ризиків та одночасного зростання вантажообігу. За результатами 2025 року незважаючи на постійні обстріли портової інфраструктури, численні повітряні тривоги, морські порти зберегли роботу і виконали річний план вантажообігу більш ніж на 95 %.

Фактично за 2025 рік було перевалено 82, млн. тон, що відповідає понад 95 % плану (план – 86, млн. тон). Водночас прогнозований показник вантажообігу (81,76 млн. тон) перевиконано – рівні 100,5 %. Основу вантажообігу, як і раніше, склала аграрна продукція – 44, млн. тон, що більше половину загального обсягу. Зросли контейнерні перевезення: у 2025 році порти обробили 215748 TEU проти 129902 TEU у 2024 році (+ 66 %).

До останнього часу стабільно працював та забезпечував експорт продукції Український морський коридор. За весь час його функціонування (з вересня 2023 року по весну 2026 року) морським коридором перевезено 20 млн. тон вантажів, з яких 11 млн. тон становить зерно. Загалом оброблено 7800 суден. Протягом 2025 року українська продукція експортувалась до 55 країн світу. Це підтверджує стійкість портової галузі та спроможність України працювати даже в умовах воєнної загрози. За підсумками першого півріччя 2026 року за даними Міністерства розвитку громад та територій України українські морські порти обробили 42, млн. тон вантажів, з яких понад 23, млн. тон припадає на агро продукцію. На жаль функціонування морської портової інфраструктури відбувається під значним тиском військових ризиків.

Сьогодні в Україна головне навантаження з перевалки експортних та імпортних товарів утримують 2 основні регіони:

– Порти Великої Одеси. До цієї групи належать порти «Південний», «Одеса» та «Чорноморськ». Вони забезпечують більшу частину всього вантажообігу через роботу Українського морського коридору.

– Дунайський портовий кластер. Порти «Ізмаїл», «Рені» та «Усть – Дунайськ» являються критично важливими альтернативними артеріями для аграрного експорту України.

Порівняння вантажообігу портів Південного, Чорноморська та Одеси представлено в табл.1. Загальні ключові можливості та загрози для всіх морських портів Великої Одеси у 2026 році показано в табл. 2:

Таблиця 1 – Порівняння вантажообігу портів Великої Одеси (млн тон)

Порт	2024 рік	2025 рік	Спеціалізація портів
Південний	35,55	28,5	Перевалка залізорудної сировини, металопродукції та великих партій зерна
Чорноморськ	26,04	21,0	Потужний хаб агропродукції
Одеса	18,30	12,5	Відновлення перевалки контейнерів. Широкий спектр генеральних вантажів
Всього по Великій Одесі	79,89	62,0	

Таблиця 2 – SWOT – аналіз діяльності портів Великої Одеси

МОЖЛИВОСТІ: 1. Великі глибини (18, м.) і можливість прийому великотоннажних суден в порту «Південний»: 2. Концентрація приватних терміналів в порту «Південний». 3. Паромний та РО-РО комплекси (залізничні та автомобільні пороми) порту Чорноморська. 4. Контейнерна спеціалізація та генеральні вантажі в порту Чорноморська. 5. Навалювальні вантажи відкритого збегігання (будівельні матеріали, лісові матеріали) Порту «Чорноморськ» 6. Розширення партнерств із страховими компаніями та іншими приватними закладами. 7. Розширення мультимодальних перевезень. 9. Інтеграція портів до Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T). Розширення інтермодальних терміналів,	**ЗАГРОЗИ:** 1. Нестабільне політичне середовище, нестача державної підтримки галузі. 2. Жорстка фіскальна позиція держави. 3.Вузька спеціалізація вантажів. Порт «Південний» залежить від кон'юктури ринків лише двох сировинних позицій – агро продукції та залізорудної сировини. 4. Руйнування інфраструктури через обстріли. 5. Корупційні скандали та регуляторні проблеми 6. Зростання вартості фрахту. 7. Відмови деяких судновласників працювати з портами Великої Одеси через воєнну небезпеку.
СИЛЬНІ СТОРОНИ: 1. Наявність фінансових резервів, що знижує ризик банкрутства. 2. Висока кваліфікація та досвід персоналу. 3. Індивідуальний підхід до пацієнтів, більша клієнтоорієнтованість у порівнянні з великими закладами. 4. Гнучкість управління та швидкість прийняття рішень. 5. Наявність сучасного обладнання (за умови інвестування), цифровізація («єдине вікно») портових процесів. 6. Невеликий штат, що сприяє зниженню витрат на адміністративний апарат та можливості обробки вантажів.	**СЛАБКІ СТОРОНИ:** 1. Залізничне «вузьке горло». Наземні підходи до порту «Південний» мають обмежену пропускну здатність. 2. Брак тягового складу. Дефіцит локомотивів та вагонів уповільнкє доставку зерна та руди до терміналів порту. 3. Залежність від одного виду транспорту для порта «Південний». 4. Можливість забруднення акваторії через витік олії 5.Затиснутість у межах міста Одеського порту. 6. Обмеження по глибинам Одеського порту.

Висновок. Порти Великої Одеси – Одеський, Чорноморський та Південний морські порти – традиційно є ключовим елементом транспортної системи України та одними з найважливіших логістичних центрів Чорноморського регіону. Незважаючи на значні втрати, спричинені повномасштабною війною, вони зберігають стратегічне значення для національної економіки, забезпечення експорту, інтеграції України до європейських транспортних коридорів та післявоєнного відновлення країни.

Головною перевагою портів Великої Одеси є їхнє вигідне географічне розташування на перетині міжнародних транспортних маршрутів між Європою, Азією, Кавказом та Близьким Сходом. Порти мають прямий вихід до Чорного моря та розвинену мережу автомобільного, залізничного й внутрішнього

транспортного сполучення, що забезпечує ефективне функціонування мультимодальних логістичних ланцюгів.

Література

[1] Інтермодальність та перспективи розвитку морських портів на Дунаї URL: https://mtu.gov.ua/files/%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA%20%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf (дата звернення: 01.08.2026).

[2] Сайт Державної служби статистики України URL: http://www.ukrstat.gov.ua (дата звернення: 01.06.2026).

[3] Проєкт Плану відновлення України Матеріали робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури» Національна рада з відновлення України від наслідків війни. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf (дата звернення: 07.09.2026).

OPERATION OF THE GREATER ODESA SEAPORTS UNDER CURRENT CONDITIONS

Anatoliy Tubaltsev, Natalia Tubaltseva

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The activity of the sea ports of Velikaya Odessa is examined in current minds. Problems in the functioning of the port infrastructure have been identified. The results of the work of the sea ports of Ukraine for 2025-2026 are shown. It is stated that today's demands for transshipment of export and import goods focus on two main regions: the ports of Great Odessa and the Danube port cluster. The potential and threats in the further operation of the port infrastructure are identified, the strengths and weaknesses of the functioning of the ports of Velikaya Odessa are shown in the SWOT analysis.

Keywords: seaport, cargo turnover, development, infrastructure.

УДК 656.615(477)

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ДУНАЙСЬКОГО ПОРТОВОГО КЛАСТЕРУ УКРАЇНИ

Тубальцева Н.П.,
кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту
natalia.tubaltseva@nuos.edu.ua
Тубальцев А.М.,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
anatoliy.tubaltsev@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Визначено актуальність дослідження Дунайського портового кластеру. Розглянуто діяльність кластеру за 2023–2026 роки. Наведено порівняльна характеристика морських портів Дунаю. Показано проблеми функціонування морських портів Ізмаїл, Рені та Усть-Дунайськ. Зазначено, що почалася модернізація портової інфраструктури Дунайського портового кластеру.

Ключові слова: кластер, морський порт, інфраструктура.

Вступ. У сучасних умовах морська портова інфраструктура стала одним із ключових елементів економічної стійкості держави, забезпечуючи безперервність зовнішньої торгівлі, продовольчу безпеку та інтеграцію України до європейських транспортних мереж. Одночасно портова інфраструктура продовжує функціонувати в умовах постійних воєнних ризиків: від початку повномасштабного вторгнення пошкоджено понад 700 об'єктів портової інфраструктури та більше 150 цивільних суден, що обумовлює необхідність підвищення стійкості та адаптивності портової системи України.

Особливого стратегічного значення набув Дунайський портовий кластер, до складу якого входять морські порти Ізмаїл, Рені та Усть-Дунайськ. Саме ці порти після блокування більшості чорноморських гаваней у 2022 році перетворилися на головний альтернативний логістичний вузол України, забезпечуючи експорт аграрної продукції, металопродукції, гуманітарних вантажів та імпорт критично важливих товарів.

У зв'язку з цим дослідження сучасного стану портової інфраструктури України, насамперед Дунайського портового кластеру, є надзвичайно актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку, інфраструктурних перетворень, логістичних викликів та перспектив інтеграції до європейського транспортного простору дозволяє визначити стратегічні напрями підвищення конкурентоспроможності українських портів і зміцнення транспортної безпеки держави в умовах воєнного та повоєнного розвитку.

Мета статті є дослідження сучасного стану та проблем розвитку Дунайського портового кластеру. України.

Основна частина. Упродовж останніх років розвиток Дунайського кластеру характеризувався значними структурними змінами. Після рекордного вантажообігу понад 2 млн т у 2023 році, що майже у шість разів перевищило довоєнні показники, у 2024 році через зміну логістичних маршрутів та поступове відновлення роботи портів Великої Одеси обсяги перевалки скоротилися до 17, млн т. У 2025 році вантажообіг дунайських портів становив близько 8– млн т, тоді як у 2026 році через порти Дунаю пройшло 3, млн.тон вантажів. Незважаючи на скорочення обсягів перевалки, Дунайський регіон продовжує залишатися стратегічним резервом транспортної системи України, що гарантує стійкість логістичних ланцюгів у разі виникнення нових безпекових загроз. Попри відновлення роботи Українського морського коридору, Дунайські порти залишаються важливим елементом національної логістичної безпеки. За офіційними даними, лише з початку 2026 року українські морські порти обробили понад 1 млн т вантажів, з яких 1, млн т припало на Дунайський кластер.

Водночас сучасний етап розвитку портової інфраструктури характеризується переходом від екстреного реагування до довгострокової модернізації. Державна політика спрямована на формування єдиного Дунайського портового кластеру, розвиток мультимодальної логістики, інтеграцію української ділянки Дунаю до європейської транспортної мережі TEN-T, цифровізацію портових процесів, впровадження Морського єдиного вікна (Maritime Single Window), модернізацію технічного флоту та залучення міжнародних інвестицій. У 2025 році на розвиток дунайських портів було передбачено грантове фінансування в межах проєкту RELINC у розмірі 3 млн дол. США, а також фінансування Європейського Союзу на модернізацію транспортної інфраструктури. Згідно даних табл.1 Ізмаїльський морський порт залишається ключовим елементом Дунайського портового кластера України. Незважаючи на те, що основний потік експорту повернувся до портів Великої Одеси, порт «Ізмаїл» виконує роль логістичного дублера. На відміну від глибоководних портів Великої Одеси, які орієнтовані переважно на великотоннажні зернові та рудні партії, порт «Ізмаїл» поєднує експортні та імпортні потоки найрізномонітних типів вантажів.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика морських портів Дунаю

Характеристика	МТП «Ізмаїл»	МТП «Рені»	МТП «Усть-Дунайськ
Статус у кластері	Абсолютний лідер	Головний залізничний вузол	Найменший та наймолодший порт
Судноплавні глибини	7– м (Кілійське гирло)	до 12, м (природні глибини річки)	2,0–4, м (макс. 5, м у Жебряківський бухті)
Залізничне сполучення	Наявне (активно модернізується)	Наявне (через територію Молдови)	Відсутнє (логістика лише автотранспортом)
Тип суден, що приймає	Морські судна типу «фідер» та великі річкові баржі	Великотоннажні морські судна та річковий флот	Переважно річкові баржі та малі каботажні судна
Спеціалізація вантажів	Зерно, руда, вугілля, метал, контейнери	Зерно, нафтопродукти, хімвантажі, добрива	Зерно, нафтопродукти (в обмежених обсягах)

Порт «Рені» є універсальним транспортним вузлом і здатний обробляти наливні, навалювальні, насипні та генеральні вантажі. Номенклатура вантажів порту охоплює практично всі види товарів, проте основними є хлібні (зернові) вантажі та продовольча олія.

Незважаючи на те, що порт «Усть-Дунайськ» має статус найменшого порту Дунайського кластеру, стратегічне значення порту різко зросло наприкінці липня 2026 року через тимчасову зупинку рейсів великих іноземних ліній до портів Великої Одеси. Подальшому розвитку Усть-Дунайського порту заважають ряд проблем та викликів, які необхідно вирішувати: В табл.2 наведено проблеми функціонування дунайських портів на сучасний момент.

Щоб покращити ситуацію зі збільшенням перевалки вантажів в Дунайських морських портах, Міністерство розвитку громад та територій у 2026 році ініціює створення Єдиної адміністрації Дунайського кластеру, корпоратизацію стивідорів та запуск Річкової інформаційної служби. За думкою Міністерства це дасть можливість вийти на 1 млн. тон перевалки за рік.

Таблиця 2 – Проблеми функціонування дунайських портів у воєнний час

МТП «Ізмаїл»	МТП «Рені»	МТП «Усть-Дунайськ
1. Систематичні обстріли. 2. Обмеження акваторії та втрата гоибин 3. Зниження вантажообігу 4. Залізничні та автомобільні шляхи до порту періодично стикаються з обмеженнями Укрзалізниці	1. Воєнна загроза. 2. Експансія Румунії із-за купівлі сусіднього молдавського порту Джурджулешти, що погрожує втратою вантажопотоків. 3. Дорога логістика. Доставка вантажів через територію Молдови. 4. Неурегульованість в розмірах портових зборів.	1. Критичне обмеження Дунаю та необхідність регулярного проведення днопоглиблювальних робіт. 2. Недостатній розвиток транспортної логістики, що призводить до збільшення часу доставки вантажів, виникнення логістичних затримок та підвищення транспортних витрат. 3. Конкуренція з боку порту Констанца. 4. Недостатній рівень розвитку портової інфраструктури

Фахівці найбільшої інвестиційної компанії в Україні “Inventure” провели аналітичний огляд портово-морської інфраструктури України в умовах війни: стан портів, ризики, логістичну трансформацію та інвестиційні можливості сьогодні та після закінчення війни. На думку фахівців, і з ними погоджуються автори статі , ключовим ризиком для портової інфраструктури в період воєнних дій є постійна загроза ракетних і дронових атак. Це потребує додаткові витрати на захист, знижує інтерес частини судновласників та ускладнює логістичні маршрути, підвищує вартість страхування суден і вантажів.

Висновки. Порти Дунайського кластеру є стратегічно важливою складовою транспортної системи України та відіграють ключову роль у забезпеченні експорту й імпорту в умовах обмеженої роботи морських портів Великої Одеси. До кластеру належать порти Ізмаїл, Рені та Усть-Дунайськ, які забезпечують перевалку зернових, металопродукції, контейнерних і наливних вантажів, а також сприяють розвитку мультимодальних перевезень. Завдяки вигідному географічному розташуванню на міжнародній річці Дунай та інтеграції до європейської транспортної мережі порти стали важливим логістичним коридором між Україною та країнами Європейського Союзу. Протягом 2024–2026 років у портах Дунайського кластеру активно модернізується інфраструктура, збільшуються перевантажувальні потужності та реалізуються проєкти з поглиблення співпраці з європейськими партнерами, що підвищує їхню конкурентоспроможність і значення для економічної безпеки України.

Література

[1] Інтермодальність та перспективи розвитку морських портів на Дунаї URL: https://mtu.gov.ua/files/%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA%20%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf (дата звернення: 01.08.2026).

[2] Сайт Державної служби статистики України URL: http://www.ukrstat.gov.ua (дата звернення: 01.06.2026).

[3] Проєкт Плану відновлення України Матеріали робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури» Національна рада з відновлення України від наслідків війни. URL: https://www.kmu.gov.ua/ storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf (дата звернення: 07.09.2026).

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT CHALLENGES OF UKRAINE’S DANUBE PORT CLUSTER

Natalia Tubaltseva, Anatoliy Tubaltsev

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The relevance of studying the Danube port cluster is established. The cluster’s activities during the 2023–2026 period are examined. A comparative analysis of the Danube seaports is presented. Operational challenges facing the seaports of Izmail, Reni, and Ust-Dunaisk are highlighted. It is noted that the modernization of the Danube port cluster’s infrastructure has commenced.

Keywords: cluster, seaport, infrastructure.

УДК 620.92:631.234

ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ҐРУНТОВИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ПРИЧОРНОМОР'Я УКРАЇНИ

Шаповалов Ю.О.,
кандидат технічних наук, доцент, науковий керівник
yuriy.shapovalov@nuos.edu.ua
Романюкін Є.М.,
аспірант
romaniukin.nuk@gmail.com
Головня А.П.,
аспірант
holovnia981@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проведено порівняльний аналіз сучасних методів підготовки поверхневих і ґрунтових вод для всесезонних тепличних комплексів Причорномор'я України. Розглянуто фізичні, хімічні, мембранні, сорбційні, біологічні та теплові методи з урахуванням якості вихідної води, енерговитрат та можливості інтеграції процесів водопідготовки в енергетичну систему тепличного комплексу. Проаналізовано розрахункові потреби виробничого водопостачання теплиці. Обґрунтовано доцільність застосування комбінованих схем водопідготовки з мембранним знесоленням, попереднім очищенням та можливим використанням низькопотенційної теплоти.

Ключові слова: тепличний комплекс; водопідготовка; поверхневі води; ґрунтові води; краплинне зрошення; мембранні технології; енергоефективність.

Вступна частина. Південні регіони України характеризуються дефіцитом водних ресурсів належної якості, підвищеною мінералізацією поверхневих і підземних вод та значним антропогенним навантаженням. Для тепличних комплексів стабільне забезпечення поливною водою належної якості є одним із визначальних чинників забезпечення необхідної врожайності культур, підтримання сольового балансу ґрунту або субстрату та надійної роботи систем зрошення. В наслідок цього якість поливної води оцінюється одночасно за агрономічними, екологічними та технічними критеріями [1].

Оскільки якість більшості водних ресурсів Причорномор'я України не відповідає частково вище зазначеним критеріям, особливо актуальною є проблема вибору технології водопідготовки для тепличних комплексів які використовують такі водні ресурси.

Метою роботи є порівняльний аналіз сучасних методів обробки поверхневих та ґрунтових вод, оцінка їх енергетичних і експлуатаційних характеристик та визначення перспективних технологічних схем підготовки поливної води для всесезонних тепличних комплексів Причорномор'я України.

Основна частина. Залежно від природи процесів технології водопідготовки можуть бути поділені на фізичні, хімічні, біологічні, мембранні, сорбційні та теплові. Механічна фільтрація, відстоювання та інші фізичні методи забезпечують видалення зважених частинок і є необхідним початковим ступенем практично будь-якої технологічної схеми. Хімічні методи – коагуляція, флокуляція, реагентне пом'якшення, окиснення та регулювання pH – ефективні при корекції жорсткості, видаленні колоїдних домішок і знезараженні води. Водночас ці технології практично не вирішують проблему підвищеної загальної мінералізації.

Для тепличних господарств із солонуватими вихідними водами перспективними є мембранні технології, насамперед нанофільтрація та зворотний осмос. Вони забезпечують глибоке вилучення розчинених солей і стабільні характеристики підготовленої води, що особливо важливо для систем краплинного зрошення і приготування живильних розчинів [2]. Основними недоліками мембранних установок є необхідність якісної попередньої підготовки води, високе енергоспоживання насосного обладнання, забруднення мембран та необхідність утилізації концентрату.

Сорбційні технології з використанням активованого вугілля, природних цеолітів та інших сорбентів доцільно застосовувати переважно як ступінь селективного доочищення для видалення органічних речовин, іонів амонію та окремих металів. Біологічні процеси найбільш ефективні при обробці дренажних і стічних вод із підвищеним вмістом органічних і азотовмісних сполук.

Окремий інтерес для енергоефективних тепличних комплексів становлять теплові методи – випаровування, дистиляція, вакуумна та мембранна дистиляція. У традиційному виконанні вони характеризуються значною енергоємністю, однак можуть бути перспективними при використанні

нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії [3]. Також додаткові переваги можна отримати якщо розглядати таку технологію водопідготовки як складову єдиного водно-енергетичного комплексу.

Важливою умовою вибору продуктивності водопідготовчого обладнання є нерівномірність водоспоживання тепличного комплексу протягом року. Було розглянуто однопрогонову теплицю площею 155 м² із посадковою площею 106 м², у якої здійснюється певний цикл вирощування огірка. Розрахункова річна потреба води на полив при дощуванні становить 1069,5 т, а застосування краплинного зрошення дозволяє зменшити цей показник приблизно на 30 %. Додаткова річна витрата води на випарне охолодження і дозволоження повітря становить 1834,5 т.

Сумарна розрахункова потреба виробничого водопостачання розглянутої теплиці становить 2904,0 т/рік. При цьому за розрахунком 2229,6 т/рік вологи видаляється вентиляційним повітрям, 567,5 т/рік припадає на втрати внаслідок інфільтрації, а близько 107 т/рік – на дренаж. Значна кількість вологи, що видаляється вентиляцією, створює потенціал для її часткової конденсації та повторного використання у системі виробничого водопостачання. Розрахунок потреб виконано відповідно до нормативних підходів проєктування тепличних підприємств [4].

Таким чином, вибір технології підготовки води необхідно здійснювати не лише за ступенем очищення. Система повинна враховувати сезонне водоспоживання, якість вихідної води, можливість повторного використання дренажних вод і конденсату, доступність низькопотенційної теплоти та доцільність утилізації тепла вентильованого повітря.

Висновки. Поверхневі й ґрунтові води Причорномор’я України в багатьох випадках характеризуються підвищеною мінералізацією, жорсткістю та вмістом хлоридів, що обмежує можливість їх безпосереднього використання у тепличних системах. Фізичні та хімічні методи підготовки води доцільно використовувати як попередні ступені очищення, тоді як для солонуватих вод найбільш ефективними є мембранні процеси. Теплові технології можуть бути перспективними за умови інтеграції з відновлюваними та низькопотенційними джерелами теплоти. Для всесезонних тепличних комплексів Причорномор’я найбільш раціональним є застосування комбінованих систем водопідготовки з можливістю повторного використання частини дренажних вод і вологи, що видаляється вентиляційними системами.

Література

[1] ІВПіМ НААН, НУБіП України. Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії: ДСТУ 7591:2014. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.

[2] Jafari M., Asadi E., Fakheri Fard A. Operational management of water quality to prevent physical, chemical, and microbial contaminations in hydroponic cultivation. Water Supply. 2024. Vol. 24, No. 9. P. 3046–3060. DOI: 10.2166/ws.2024.192.

[3] Rajesh S., Chiranjeevi C. Hybrid thermal desalination systems for sustainable development – A critical review. Solar Energy. 2024. Vol. 270. 112364. DOI: 10.1016/j.solener.2024.112364.

[4] УкрНДІагропроєкт. Тепличні і оранжерейні підприємства, споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств: ВНТП АПК-19-07. Київ: Міністерство аграрної політики України, 2007.

GROUND AND SURFACE WATER TREATMENT TECHNOLOGIES FOR GREENHOUSE COMPLEXES IN THE BLACK SEA REGION OF UKRAINE

Yuriy O. Shapovalov, Ievgen N. Romaniukin, Andriy P. Golovnya

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A comparative analysis of existing methods for preparing surface and groundwater for seasonal greenhouse complexes in the Black Sea region of Ukraine was conducted. Physical, chemical, membrane, sorption, biological and thermal water treatment methods were compared, taking into account their technological and energy characteristics. The estimated needs for the greenhouse’s production water supply were analyzed. Combined treatment systems incorporating preliminary purification, membrane processes and the utilization of low-grade or renewable heat are considered the most promising approach for all-season greenhouse complexes.

Keywords: greenhouse complexes; water treatment; surface water; groundwater; drip irrigation; membrane technologies; energy efficiency.

УДК 620.92:631.234

СВІТЛОПРОЗОРІ ПОКРИТТЯ ВСЕСЕЗОННИХ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ПРИБЕРЕЖНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Шаповалов Ю.О.,
кандидат технічних наук, доцент
yuriy.shapovalov@nuos.edu.ua
Сваричевський Д.В.,
аспірант
danylo.shipbuilder@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проведено порівняльний аналіз поліетиленових плівок, стільникового полікарбонату, традиційного скла та сучасних енергоефективних скломатеріалів для застосування у якості світлопрозорого покриття всесезонних тепличних комплексів. Матеріали зіставлено за прозорістю у діапазоні фотосинтетично активної радіації, коефіцієнтом теплопередачі та орієнтовним терміном служби. Показано перспективність застосування у тепличних комплексах на прибережної території півдня України склопакетів з Low-E покриттями, газовим наповненням та дифузними поверхнями.

Ключові слова: тепличні комплекси; прибережна інфраструктура; світлопрозорі покриття; енергоефективність; полікарбонат; склопакети; Low-E скло; дифузне скло.

Вступна частина. Енергоефективність тепличного комплексу значною мірою визначається характеристиками світлопрозорого огородження, яке має забезпечувати надходження фотосинтетично активної радіації та одночасно обмежувати тепловтрати. Для всесезонних споруд півдня України вибір покривного матеріалу особливо важливий через необхідність поєднання теплозахисту, високої світлопроникності та довговічності. За даними досліджень енергетичного балансу, через покриття теплиці втрачається значна частка теплової енергії [1].

Мета роботи. Порівняти сучасні світлопрозорі покривні матеріали та обґрунтувати доцільність використання енергоефективних комбінованих скломатеріалів і багатофункціональних склопакетів у всесезонних тепличних комплексах для прибережної інфраструктури півдня України.

Основна частина. Поліетиленові плівки характеризуються малою масою, простотою монтажу та високим початковим світлопропусканням. Для нестабілізованого LDPE прозорість становить 88–91 %, однак U-value сягає близько 6,2 Вт/(м²·К), а строк служби є коротким. Застосування УФ-стабілізації збільшує довговічність до 3–6 років, а інфрачервоні добавки знижують U-value до 4,2–4,8 Вт/(м²·К). Водночас для цілорічної експлуатації плівкові системи застосовуються обмежено внаслідок низького теплозахисту і довговічності [2].

Стільниковий полікарбонат має більший опір теплопередачі завдяки замкненим повітряним камерам. Виробники для панелі мм наводять наступні дані – U ≈ 3,9 Вт/(м²·К) при прозорості 82–86 %, а для двокамерної панелі 1 мм – близько 2,3 Вт/(м²·К) при 72–76 %. Зі збільшенням кількості камер теплозахист зростає, але світлопропускання зменшується; це підтверджується експериментальним даними щодо теплових та оптичних характеристик полікарбонатних панелей [3].

Найбільший потенціал для всесезонних комплексів мають комбіновані скломатеріали. Одинарне флоат-скло має прозорість 88–92 %, але U-value близько 5,8 Вт/(м²·К). Для однокамерного склопакета цей показник зменшується до 2,8–3,0 Вт/(м²·К), для Low-E склопакета – до 1,5–1,7 Вт/(м²·К), а при аргоновому наповненні – до 1,3–1,4 Вт/(м²·К). Мультифункціональне скло Solar Control + Low-E забезпечує U ≈ 1,0–1,1 Вт/(м²·К) при прозорості 70–74 %. Також перспективним є застосування дифузного скла з антибліковим покриттям яке має прозорість 95–97 % і забезпечує рівномірніший розподіл світла в рослинному ценозі [4, 5]. Порівняння різних типів світлопрозорих покривних матеріалів представлено у таблиці 1.

Висновки. Порівняння показує, що плівкові матеріали є економічними, але мають недостатні теплозахисні властивості для всесезонних комплексів. Стільниковий полікарбонат є компромісом між теплозахистом, масою та довговічністю. Найнижчі значення U-value забезпечують багатофункціональні Low-E склопакети, а дифузні та антиблікові поверхні дають змогу зберегти високий рівень світлопропускання. Для тепличних комплексів прибережної інфраструктури півдня України перспективним є поєднання Low-E покриття, газового наповнення та дифузного скління.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик світлопрозорих покривних матеріалів

Тип покриття	**Прозорість у діапазоні ФАР, %**	**U-value, Вт/(м²·К)**	**Термін служби, років**
Нестабілізована поліетиленова плівка низької щільності	88–91	6,2	до 1
УФ-стабілізована багаторічна плівка	85–88	6,2	3–6
Теплоутримуюча інфрачервона плівка	82–85	4,2–4,8	4+
Антиконденсатна плівка з гідрофільними властивостями	до 90	6,2	до 5
Світлорозсіювальна дифузійна плівка	86–89	6,2	1–4
Однокамерний стільниковий полікарбонат, мм	82–86	3,9	10–15
Однокамерний стільниковий полікарбонат, мм	80–84	3,6	10–15
Однокамерний стільниковий полікарбонат, мм	80–84	3,3	10–15
Однокамерний стільниковий полікарбонат, 1 мм	79–83	3,0	10–15
Двокамерний полікарбонат, 1 мм	72–76	2,3	10–15
Полікарбонат з антиконденсатним покриттям	залежно від товщини	залежно від товщини	8–10
Селективний полікарбонат	50–65	залежно від типу	10–15
Звичайне прозоре одинарне скло, мм	88–92	5,8	30+
Склопакет однокамерний	80–82	2,8–3,0	20+
Склопакет однокамерний з Low-E напиленням	78–82	1,5–1,7	20+
Склопакет однокамерний з аргоном та Low-E напиленням	78–82	1,3–1,4	15–20
Склопакет з мультифункціональним склом Solar Control + Low-E	70–74	1,0–1,1	20+
Просвітлене скло з низьким вмістом заліза, мм	91–92	5,8	30+
Дифузне скло з антибліковим покриттям, мм	95–97	5,8	15–20

Література

[1] Jovanovska V., Sovreski Z., Hristovska E., Makarijoski B. Energy balance of greenhouse with ground warming installation. Innovations. 2017. Vol. 5, No. 2. P. 95–98.

[2] Teitel M., Vitoshkin H., Geoola F., Karlsson S., Stahl N. Greenhouse and screenhouse cover materials: literature review and industry perspective. Acta Horticulturae. 2018. Vol. 1227. P. 31–44.

[3] Moretti E., Zinzi M., Belloni E. Polycarbonate panels for buildings: Experimental investigation of thermal and optical performance. Energy and Buildings. 2014. Vol. 70. P. 23–35.

[4] Jelle B. P. Solar radiation glazing factors for window panes, glass structures and electrochromic windows in buildings–Measurement and calculation. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2013. Vol. 116. P. 291–323.

[5] Hemming S., Dueck T., Janse J., van Noort F. The effect of diffuse light on crops. Acta Horticulturae. 2008. Vol. 801. P. 1293–1300.

TRANSLUCENT COVERINGS OF ALL-SEASON GREENHOUSE COMPLEXES FOR COASTAL INFRASTRUCTURE OF SOUTHERN UKRAINE

Yuriy O. Shapovalov, Danylo V. Svarychevskyi

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A comparative analysis of polyethylene films, cellular polycarbonate, conventional glass and modern energy-efficient glazing for all-season greenhouse complexes has been performed. The materials were compared by photosynthetically active radiation transmittance, heat-transfer coefficient and service life. For coastal infrastructure in southern Ukraine, insulated glazing units combining Low-E coatings, gas filling and diffuse surfaces are considered the most promising solution.

Keywords: greenhouse complexes; coastal infrastructure; translucent coverings; energy efficiency; polycarbonate; insulated glazing units; Low-E glass; diffuse glass.

UDC 621.4

PROSPECTS FOR THE USE OF TURBOEXPANDERS IN SHIP HYBRID POWER PLANTS WITH FUEL CELLS

Korobko V.,
Dr. Sc., Professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
volodymyr.korobko@nuos.edu.ua
Berning T.,
Associate Professor, AAU Energy, Aalborg University, Aalborg, Denmark
tbe@energy.aau.dk
Sorensen H.,
Associate Professor, AAU Energy, Aalborg University, Aalborg, Denmark
hs@energy.aau.dk
Shevtsov A.,
Dr. Sc., Professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
anatoliy.shevtsov@nuos.edu.ua

Abstract. The aim of the work is to determine rational configuration solutions for ship hybrid power plants, taking into account the pressure and temperature potentials of hydrogen fuel, the ambient environment, and the enthalpy drop in the turboexpander. The research methods are based on thermodynamic analysis of the processes of converting potential energy into kinetic and mechanical energy, as well as comparative analysis. The results of the study have shown that the pressure and significant temperature difference between hydrogen fuel and the ambient air create prerequisites for improving the economic efficiency of ship hybrid power plants with fuel cells. The scientific novelty of the study consists in substantiating rational values of the pressure and temperature potential of cryogenic fuel during regasification for the utilization of ambient heat. The practical significance lies in identifying promising configuration solutions for fuel cells as part of ship hybrid power plants.

Keywords: hydrogen, regasification, heat, turboexpander, efficiency.

Introduction. One of the directions for decarbonization and improving the energy efficiency of maritime transport is the use of fuel cells as part of ship hybrid power plants (MHPPs).

Relevant tasks for improving the efficiency of SHPPs include [1–3]:

- the development of ship and offshore shipbuilding to support new cargo flows while complying with the environmental requirements of the International Maritime Organization through the application of innovative technologies in ship power plants;
- the integration of conventional heat engines, electrochemical generators, and waste heat recovery systems, in which the main source of electrical energy is electrochemical generators based on low-temperature proton-exchange membrane fuel cells (PEMFCs);
- hydrogen storage for voyages of approximately 300 nautical miles, predominantly in compressed form at pressures up to 35 MPa, and for longer voyages in liquid form at pressures up to 1 MPa.

The aim of the work is to determine rational configuration solutions for MHPPs, taking into account the temperature potentials associated with hydrogen storage, the ambient environment, and the enthalpy drop in the turboexpander.

The research objectives are to analyze the levels of the thermodynamic parameters of the fuel, compare operating conditions at different expansion ratios in the turboexpander, assess the feasibility of using proton-exchange membrane fuel cells, and determine the possible increase in power plant efficiency.

Research method – mathematical modeling and thermodynamic analysis of the processes of converting potential energy into kinetic and mechanical energy during the regasification of cryogenic fuels, as well as comparative analysis of their efficiency.

The object of the study is the heat-transfer and energy-conversion processes in ship hybrid power plants with fuel cells.

The subject of the study is the parameters and characteristics of heat-transfer processes and the conversion of potential energy into kinetic and mechanical energy during hydrogen regasification, as well as a comparative analysis of their efficiency.

The research results correspond to the following four cases.

1. Assessment of the heat demand for hydrogen heating and the possible turboexpander power in the hydrogen supply system to a low-temperature LT-PEMFC. For a 1000 kW ship LT-PEMFC supplied from cylinders at a pressure of 35 MPa, the hydrogen consumption is approximately 58–63 kg/h, while heating the hydrogen to 60 °C requires a heater thermal power of approximately 8–17 kW, depending on the initial gas

temperature. If the system uses a turboexpander that recovers work while reducing the pressure from 35 MPa to approximately 0.22 MPa, the cooling of hydrogen creates a required heat input of approximately 40–70 kW, while the electrical power of the turboexpander for a 1 MW PEMFC is approximately 40–65 kW, i.e. about 4–6.5 % of the electrical power of the fuel cell. The most appropriate technical solution is a multistage turboexpander with interstage hydrogen heating using heat from the PEMFC cooling circuit.

2. Assessment of the effect of increasing pressure in the cathode and anode channels of an LT-PEMFC stack on the increase in gross power. If the stack design, active cell area, and number of cells remain unchanged for an electrical power of 100 kW, the calculation results show that increasing the equal pressure in the anode and cathode to 300 kPa increases the possible gross stack power to approximately 130.2 kW, while increasing it to 500 kPa raises the gross power to 144.3 kW. At the same time, the parasitic power demand of the air supply system increases to 37.9 kW and 95.4 kW, respectively. For the 500 kPa operating mode, maintaining the relative humidity below 95 % practically requires reducing the humidity at the cathode inlet and increasing the cathode stoichiometric ratio. The overall benefit depends significantly on the efficiency of the electric air compressor, intercooling, and the method of humidification.

3. Assessment of increasing the air and hydrogen pressures at the inlet to the cathode and anode chambers of high-temperature HT-PEMFCs. At an operating pressure of 700 kPa, an HT-PEMFC stack with an operating temperature range of 160–180 °C and an electrical power of 100 kW can develop approximately 146.4 kW of gross electrical power. At the same time, the calculated electrical power demand of the compressor is approximately 52.5 kW, while the heat removed in the aftercooler when the air is cooled to 120 °C is approximately 32 kW. The relative humidity at the outlet of the cathode channels is approximately 13 %, which is well below 95 % with a substantial margin. At 190 °C and 700 kPa, water condensation at the outlet is not expected. The thermal load on the liquid cooling system of the stack is approximately 71 kW; for a heat-transfer fluid at 150–160 °C, a flow rate of approximately 3.09 kg/s of synthetic high-temperature oil is required.

4. Assessment of turboexpander power using ambient-air heat and low-grade heat from an LT-PEMFC. When regasified hydrogen is expanded to 0.1 MPa, the calculated turboexpander power at an initial temperature of 27 °C and regasified hydrogen pressures of 0.3, 0.5, 0.7, and 1.0 MPa is 1.58, 2.16, 2.49, and 2.82 kW, respectively. Additional heating of the regasified hydrogen upstream of the turboexpander to 80 °C increases the power by approximately 18 %, to 1.86, 2.54, 2.94, and 3.32 kW, respectively.

Conclusions

1. The use of a turboexpander as part of the MHPP of offshore vessels when hydrogen is stored as a gas at pressures up to 35 MPa provides an additional power output equivalent to 4–6 % of the electrical power of the fuel cell.

2. The use of a turboexpander as part of the MHPP of vessels when hydrogen is stored in liquid form at pressures up to 1 MPa provides an additional power output equivalent to 2–3 % of the electrical power of the fuel cell.

3. The efficiency of turboexpander utilization is determined by the temperature differences in the evaporator, the arrangement of its heat-transfer surface, and the heat-transfer conditions required to prevent icing.

References

[1] ZeroAvia. *Electric and Hydrogen Aerospace Propulsion Components* [Electronic resource]: Components Brochure. ZeroAvia, 2024. Available at: official ZeroAvia PDF (accessed: 17.09.2026).

[2] ZeroAvia. *Advanced Hydrogen-Electric Technologies* [Electronic resource]. ZeroAvia. Available at: official ZeroAvia website (accessed: 17.09.2026). This page provides information on the company's in-house developments, including its pressurized HTPEM fuel cell system and LT-PEM fuel cell systems.

[3] ZeroAvia. *ZeroAvia High Temperature Fuel Cell Testing Shows Large Aircraft and Rotorcraft Potential for Hydrogen-Electric Propulsion* [Electronic resource]. 9 March 2023. Available at: official ZeroAvia announcement (accessed: 17.09.2026).

PROSPECTS FOR THE USE OF TURBOEXPANDERS IN SHIP HYBRID POWER PLANTS WITH FUEL CELLS

Volodymyr Korobko[1], Torsten Berning[2], Henrik Sorensen[3], Anatoliy Shevtsov[4]

[1.4] Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine;

[2,3] AAU Energy, Aalborg University, Aalborg, Denmark

Abstract. The aim of the work is to determine rational configuration solutions for ship hybrid power plants, taking into account the pressure and temperature potentials of hydrogen fuel, the ambient environment, and the enthalpy drop in the turboexpander. The research methods are based on thermodynamic analysis of the processes of converting potential energy into kinetic and mechanical energy, as well as comparative analysis. The results of the study have shown that the pressure and significant temperature difference between hydrogen fuel and the ambient air create prerequisites for improving the economic efficiency of ship hybrid power plants with fuel cells. The scientific novelty of the study consists in substantiating rational values of the pressure and temperature potential of cryogenic fuel during regasification for the utilization of ambient heat. The practical significance lies in identifying promising configuration solutions for fuel cells as part of ship hybrid power plants.

Keywords: hydrogen, regasification, heat, turboexpander, efficiency.

СЕКЦІЯ 12. АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

УДК 681.5

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ НЕНАСЕЛЕНИМ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ ТРАНСПОРТНОГО ТИПУ

Блінцов В.С.,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bvs050803@ukr.net
Данько Є.С.,
аспірант
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
evgeniy.danko@gmail.com

Концепція визначає структуру системи автоматичного керування автономним ненаселеним підводним апаратом транспортного типу та формулює задачі, які вона має розв'язувати на кожному етапі свого функціонування. За результатами аналізу задач підводного апарата запропоновано концепцію п'ятирівневої структури системи автоматичного керування таким підводним апаратом як науково-методологічну основу синтезу високоефективної системи керування на подальших етапах проєктування.

Ключові слова: автономний ненаселений підводний апарат, система автоматичного керування, режими роботи, концепція.

Вступна частина. Автономні ненаселені підводні апарати транспортного типу (АНПА-Т) належать до великих підводних апаратів (в англомовній літературі – Large Unmanned Underwater Vehicles, LUUVs). Одним з ключових напрямків їх застосування є транспортування різноманітних вантажів науково-дослідницького, офшорного та природоохоронного призначення [1–3].

З позицій автоматичного керування такі апарати суттєво відрізняються від АНПА традиційних розмірів, оскільки вони мають значну масу і габарити та пов'язану з цим значну інерційність. Також їм притаманна висока складність бортової енергетичної установки, оскільки тривалість морських місій таких апаратів може складати багато місяців.

Очевидно, що розробка системи автоматичного керування (САК) АНПА-Т утворює окрему складну прикладну задачу теорії автоматичного керування, від успішності розв'язку якої буде залежати ефективність морських роботизованих транспортних технологій.

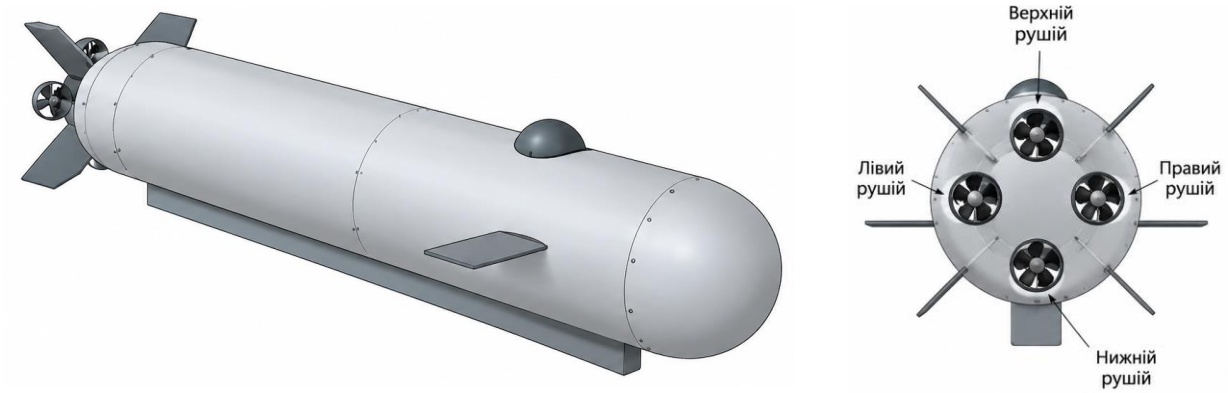
Відомо [4], що АНПА-Т як складний об'єкт керування характеризується багатомірністю, нелінійністю характеристик та численними параметричними взаємозв'язками. Тому розробка САК таким об'єктом без попереднього розроблення концепції САК може призвести до зайвих витрат часу на проєктні розрахунки, а результат проєктування виявиться нереалізованим або неефективним.

Мета роботи. Метою роботи є розробка концепції створення системи автоматичного керування АНПА-Т як науково-методологічної основи синтезу високоефективної САК на подальших етапах проєктування такого об'єкт морської робототехніки.

Концепція має визначити, яку структуру повинна мати система автоматичного керування таким об'єктом морської робототехніки та які задачі вона має розв'язувати на кожному етапі свого функціонування.

Основна частина. У якості об'єкта автоматизації будем розглядати АНПА-Т, який має гібридну енергетичну установку у складі дизель-генераторного агрегату (ДГ) і потужної акумуляторної батареї (АкБ). У якості рушійного комплексу АНПА-Т використовуються чотири рушія (рис. 1) [5].

Концепція створення САК АНПА-Т має визначити, яку структуру повинна мати система автоматичного керування таким об'єктом морської робототехніки та які задачі вона має розв'язувати на кожному етапі свого функціонування має досягти система (максимальна швидкодія, мінімальне енергоспоживання, точність позиціонування) та за якими математичними критеріями оцінюватиметься її ефективність.



а – загальний вигляд *б – вид з корми*

Рисунок 1 – АНПА-Т, оснащений рушійним комплексом у складі чотирьох рушіїв

Розробку концепції САК АНПА-Т доцільно виконувати на основі аналізу усталених (квазістатичних) та динамічних режимів його функціонування. Крім того варто виділити в окрему групу режими з обслуговування підводним апаратом вантажу, який ним транспортується.

До головних усталених режимів АНПА-Т варто віднести:

усталений надводний прямолінійний рух апарата;

усталений підповерхневий прямолінійний рух апарата (режим роботи ДГ під шноркелем);

усталений прямолінійний підводний рух апарата;

динамічне позиціонування апарата у заданій точці водної товщі (за наявності підрулюючих рушіїв;

контрольований дрейф апарата у режимі економії енергії.

В цих режимах САК має підтримувати незмінність або повільну зміну основних кінематичних і системних параметрів (курс, швидкість руху, тощо).

До головних динамічних режимів варто віднести:

переходи АНПА-Т з надводного і підводне положення і назад;

спливання апарата у режим підповерхневого ходу (для роботи ДГ під шноркелем);

спливання апарата у режим надводного ходу;

просторові маневри АНПА-Т у тривимірному морському середовищі;

аварійні режими (перегрівання АкБ, відмова виконавчих механізмів, екстрене спливання на поверхню тощо).

Особливістю автоматичного керування підводним апаратом у цих режимах є прояв суттєво нелінійних властивостей АНПА-Т, швидка зміна параметрів його руху, активна зміна конфігурації апарата та необхідність активації декількох контурів керування одночасно.

До переліку основних режимів обслуговування вантажу підводним апаратом доцільно віднести:

завантаження (вивантаження) вантажу;

створення умов для захисту вантажу від дії морського середовища при тривалому транспортному переході АНПА-Т;

аварійне скидання вантажу.

Виходячи з наведеного вище аналізу та у зв’язку зі складністю АНПА-Т, а також з-за високих вимог до його функціонування пропонується концепція п’ятирівневої структури САК підводного апарата. Розглянемо їх більш детально.

Стратегічний рівень САК аналізує завдання на виконання підводної морської операції, що завантажена у пам’ять керуючого контролера АНПА і планує загальне функціонування АНПА для її виконання. На цьому рівні планується автоматичне керування виконанням заданої місії (цей рівень відповідає на запитання: що має робити АНПА-Т?).

Тактичний рівень організує оперативне управління реалізацією стратегічного рівня керування АНПА – розробляє конкретну траєкторію просторового переміщення АНПА для виконання місії, формує послідовність його рухів (наприклад, прямолінійний надводний рух заданим курсом з заданою швидкістю, занурення на задану глибину з заданими параметрами тощо) у відповідності до стратегії функціонування АНПА та з урахуванням зовнішніх збурень (інформація від сенсорів зовнішніх збурень), можливостей бортових джерел енергії (інформація від інтелектуальної підсистеми управління енергосистемою АНПА та від підсистеми самодіагностики АНПА. На цьому рівні планується автоматичне керування послідовністю рухів АНПА (цей рівень відповідає на запитання: у якій послідовності робити складові руху АНПА-Т?).

Адаптивний рівень оперативно коригує рішення тактичного рівня з урахуванням фактичного стану зовнішнього середовища та наявності навігаційних і антропогенних перешкод для виконання місії, здійснює пошук оптимальних управлінських рішень у рамках обраної тактики виконання завдання, що

надійшло від тактичного рівня. На цьому рівні виконується оптимізація алгоритмів автоматичного керування режими роботи АНПА (цей рівень відповідає на запитання: як зробити ці рухи краще за заданими критеріями якості керування?).

Алгоритмічно-програмний рівень у реальному часі реалізує окремі типові операції – елементарні переміщення АНПА та роботу КВ. Це досягається застосуванням заздалегідь інстальованих керуючих програм, які здійснюють групове керування виконавчими механізмами окремо АНПА. На цьому рівні планується автоматичне керування послідовністю операцій, які реалізують оптимальні режими роботи АНПА (цей рівень відповідає на запитання: коли і який виконавчий механізм це виконує?).

Виконавчий рівень управляє поточною роботою окремих виконавчих механізмів у режимах стабілізації руху, вимірювань та ін. На цьому рівні планується автоматичне керування виконавчими механізмами АНПА (цей рівень відповідає на запитання: що і коли конкретно виконує свою функцію конкретний виконавчий механізм?).

Висновки. Виконано аналіз усталених та динамічних режимів функціонування автономного ненаселеного підводного апарата транспортного типу як об’єкта керування. За результатами аналізу запропоновано концепцію п’ятирівневої структури САК АНПА-Т як науково-методологічну основу синтезу високоефективної системи керування на подальших етапах проєктування.

Література

[1] Zhang Xiangyuan, Hua Ji. (2024). Study on the development and application of foreign extra-large unmanned underwater vehicle. Chinese Journal of Ship Research 2024, 19 (5): Pages 17–27. DOI: 10.19693/j.issn.1673-3185.03493

[2] Patel, S. (2025). A Comprehensive Review of Unmanned Underwater Vehicles: Technologies, Applications, and Challenges. *Journal of Scientific Innovation and Advanced Research (JSIAR)*, *1* (3), 236–243. https://jsiar.com/2025-June/JSIAR-J-25-06111.pdf

[3] Jiali Xu; Zhaopeng Du; Xianqing Huang; Chong Ren; Shuai Fa; Shaoqiong Yang. (2024). Design and Development of 10,000-Meter Class Autonomous Underwater Vehicle. Journal of Marine Science and Engineering, 2024, 12 (11), 2097; https://doi.org/10.3390/jmse12112097

[4] Проєктування засобів морської робототехніки на основі системного підходу : монографія : у 3 ч. / за ред. д-ра техн. наук, проф. В. С. Блінцова. Миколаїв : Іліон, 2023. Ч. 1 : Самохідні прив’язні підводні системи / В. С. Блінцов, О. П. Клочков, В. А. Надточій, А. В. Надточий. 2023. 16 с.

[5] Данько Є.С. Свідоцтво на промисловий зразок № 45744 «Підводний дрон». Зареєстровано в Державному реєстрі України промислових зразків 23.08.2023 р.

CONCEPT FOR DESIGNING AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR AN AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER VEHICLE OF THE TRANSPORT TYPE

Blintsov Volodymyr Stepanovich

Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Danko Yevhen Serhiiovich

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The concept defines the structure of the automatic control system for an autonomous unmanned underwater vehicle of the transport type and outlines the tasks it must perform at each stage of its operation. Based on an analysis of the vehicle’s tasks, a five-level control system structure is proposed as the scientific and methodological foundation for synthesizing a high-performance control system during subsequent design stages.

Keywords: autonomous unmanned underwater vehicle, automatic control system, operating modes, concept.

УДК 681.5

КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКОВОГО АВТОНОМНОГО НЕНАСЕЛЕНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА З БУКСИРУВАНИМ РАДІОБУЄМ

Блінцов В.С.,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bvs050803@ukr.net
Фомбо Ж.,
аспірант,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
fomboj@ gmail.com

Анотація. Розглянуто актуальне науково-прикладне завдання комплексної автоматизації пошукового автономного ненаселеного підводного апарата, оснащеного буксируваним радіобуєм для роботи на мілководних акваторіях. Сформовано множину експлуатаційних режимів функціонування системи апарата. Розроблено узагальнений алгоритм комплексної автоматизації, який враховує необхідність організації зв'язку за результатами пошуку та моніторинг критичного натягу кабель-буксира. Сформований алгоритм є науково-методологічною основою для розробки алгоритмічного забезпечення роботизованих підводних пошукових комплексів.

Ключові слова: автономний ненаселений підводний апарат, буксируваний радіобуй, комплексна автоматизація, кабель-буксир, алгоритм керування, береговий центр керування.

1. Вступна частина

Автономні ненаселені підводні апарати (АНПА) широко використовуються для виконання пошукових, океанографічних та природоохоронних місій [1, 2]. Відомі також недоліки цих засобів підводної робототехніки – відсутність оперативного зв'язку підводного апарата з береговим центром керування (БЦК), оскільки у водному середовищі не працює радіо- та супутниковий зв'язок [3]. Тому використання буксируваних радіобуїв (РБ) є ефективним рішенням для налагодження оперативного інформаційного обміну між АНПА та БЦК у режимі реального часу при роботі на мілководних акваторіях з глибиною до 5 метрів. Такий АНПА під час підводного переходу до району робіт транспортує РБ у згорнутому положенні, а під час виконання підводної місії випускає його в режим підповерхневого буксирування і забезпечує двосторонній «онлайн»-зв'язок між АНПА і оператором БЦК [4].

Мета роботи. Метою роботи є розробка узагальненого алгоритму комплексної автоматизації пошукового автономного ненаселеного підводного апарата з буксируваним радіобуєм (АНПА-РБ) для забезпечення стабільного радіозв'язку з береговим центром керування підводною пошуковою місією та мінімізації енерговитрат підводного апарата на здійснення підводного руху при роботі на мілководних акваторіях.

Основна частина. Прикладне наукове завдання комплексної автоматизації охоплює синхронізоване керування лебідкою кабель-буксиру, просторовим маневруванням АНПА та контролем появи ознак аварійного натягу кабель-буксиру РБ при експлуатації підводного апарата в забруднених водах. Однак спочатку визначимо основні режими функціонування АНПА-РБ.

Попередній аналіз пошукових місій такого виду підводної робототехніки показує, що доцільно виділити наступні режими їх автоматичного виконання [5]:

режим $R_{ПП}$ підводного переходу АНПА-РБ до району робіт (робочої акваторії); при цьому РБ зафіксований у ложементі АНПА-РБ, а сам підводний апарат має мінімальний гідродинамічний опір;

режим $R_{О}$ автоматичного обстеження заданого району робіт (підводного пошуку відео-, гідроакустичним, магнітометричними та іншими пошуковими приладами) з визначенням необхідності організації каналу оперативного радіозв'язку з БЦК за результатами пошуку;

режим $R_{ПР}$ підготовки до РБ до розгортання, у якому ложемент РБ висувається у верхнє положення для появи на несучих поверхнях РБ підйомної гідродинамічної сили;

режим $R_{С}$ спливання РБ у підповерхневий шар моря шляхом поступового керованого попускання кабель-буксира лебідкою КБ; попускання КБ припиняється, коли заглиблення радіобуя достатнє для роботи його висувних антенних пристроїв;

режим $R_{РЗ}$ радіозв'язку АНПА з БЦК при одночасній керованій зміні довжини попущеної частини КБ за допомогою лебідки КБ, що зберігає неперервний зв'язок з БЦК при зміні глибини занурення АНПА або при наявності значного хвилювання морської поверхні;

режим $R_З$ згортання РБ після сеансу радіообміну з БЦК, коли лебідка КБ поступово вибирає (скорочує) довжину кабель-буксиру, в результаті чого РБ опускається у ложемент;

режим $R_{ПЛ}$ повернення ложемента з РБ до корпусу АНПА-РБ та його фіксація «по-похідному».

Також слід передбачити режим $R_А$ автоматичного аварійного відстикування РБ від КБ при виникненні критичного натягу кабель-буксиру.

Таким чином, комплексна автоматизація пошукового АНПА-РБ має охоплювати наступну множину R його експлуатаційних режимів:

$$R = \{R_{ПП}; R_О; R_{ПР}; R_С; R_{РЗ}; R_З; R_{ПЛ}; R_А\}.$$

Узагальнений алгоритм комплексної автоматизації пошукового АНПА-РБ представимо символьною мовою алгоритмів (рис. 1) [6].

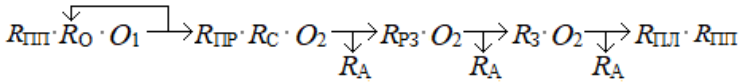


Рисунок 1 – Узагальнений алгоритм комплексної автоматизації пошукового АНПА-РБ

На рисунку позначено: O_1 – операція автоматичного визначення необхідності організації радіозв'язку з БЦК у результаті обстеження визначеного району робіт; O_2 – операція автоматичного визначення ознак виникнення критичного натягу кабель-буксиру.

Таким чином, узагальнений алгоритм комплексної автоматизації пошукового АНПА-РБ може слугувати науково-методологічним підґрунтям для розробки алгоритмічного забезпечення роботизованих технологій проведення пошукових робіт на мілководних акваторіях.

Висновки. Запропоновано концепцію комплексної автоматизації пошукового АНПА з буксируваним радіобуєм, яка вирішує проблему відсутності прямого радіо- та супутникового зв'язку під водою шляхом створення оперативного двостороннього каналу обміну даними з береговим центром керування на мілководних акваторіях.

Розроблено узагальнений алгоритм комплексної автоматизації, який забезпечує синхронізоване керування просторовим рухом апарата, лебідкою кабель-буксира та процесами розгортання/згортання радіобуя. Алгоритм передбачає автоматичну перевірку умов необхідності сеансу зв'язку та захист системи через розпізнавання ознак аварійного натягу кабелю, що створює підґрунтя для розробки спеціалізованого програмно-алгоритмічного забезпечення підводної робототехніки.

Література

[1] Patel, S. (2025). A Comprehensive Review of Unmanned Underwater Vehicles: Technologies, Applications, and Challenges. *Journal of Scientific Innovation and Advanced Research (JSIAR), 1* (3), 236–243. https://jsiar.com/2025-June/JSIAR-J-25-06111.pdf

[2] HUGIN Superior. https://www.kongsberg.com/what-we-do/ocean-space/autonomous-and-uncrewed-solutions/auv/autonomous-underwater-vehicle-hugin-superior/

[3] Nashida Yuya et al. (2015). Development of an autonomous buoy for AUV. Conference: Oceans, 2015. Genova, IEEE. DOI:10.1109/ Oceans-Genova.2015.7271614

[4] Блінцов В.С., Тарчук А.А., Трибулькевич В.В. Проєктні задачі створення засобів морської робототехніки для охорони та захисту об'єктів морської критичної інфраструктури. Науковий вісник Херсонської державної морської академії № 1 (28), 2024. С. 79–91. DOI: 10.33815/2313-4763.2024.1.28.079-091

[5] Блінцов В.С., Тарчук А.А. Завдання внутрішнього проєктування підводного апарата з радіобуєм для охорони об'єктів морської критичної інфраструктури на мілководних морських акваторіях. Збірник наукових праць НУК, № 4, 2025. С. 3-12. DOI https://doi.org/10.15589/znp2025.4 (502).1.

[6] Алгоритмізація та програмування. Конспект лекцій – Чернігів,: ЧДЕІУ, 2012. – 18 с.

INTEGRATED AUTOMATION OF AN AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER SEARCH VEHICLE WITH A TOWED RADIO BUOY

Blintsov Volodymyr Stepanovich, Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Fombo Zhiul, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

Abstract. The paper addresses a relevant scientific and applied problem concerning the integrated automation of an autonomous unmanned underwater search vehicle equipped with a towed radio buoy for operations in shallow waters. A set of operational modes for the vehicle's system has been defined. A generalized integrated automation algorithm has been developed, taking into account the need to establish communication

based on search results and to monitor the critical tension of the tow cable. The formulated algorithm serves as the scientific and methodological basis for developing the algorithmic software for robotic underwater search systems.

Keywords: autonomous underwater vehicle, towed radio buoy, integrated automation, tow cable, control algorithm, shore-based control center.

УДК 681.5

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВАЖКОГО АВТОНОМНОГО НЕНАСЕЛЕНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Бурунін А.П.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматики та електроустаткування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
splashbox98@gmail.com
Вовнянко В.А.,
Керівник проєкту,
ТОВ «Дефендер Динамікс», м. Київ, Україна
v.vovnenko@gmail.com

Анотація. Обґрунтовано доцільність застосування системного підходу до проєктування систем автоматичного керування важкими автономними ненаселеними підводними апаратами. Проаналізовано недоліки традиційного (локального) підходу до проєктування систем керування такими апаратами та визначено основні переваги системного підходу. До них віднесено урахування повного нелінійного руху з шістьома ступенями свободи, використання багаторівневої ієрархічної структури системи керування, залучення адаптивних, RISE, нечітких та нейромережевих регуляторів, а також алгоритмів автоматичної реконфігурації при відмовах. Наведено порівняльний аналіз традиційного та системного підходів за ключовими параметрами. Доведено, що системний підхід забезпечує появу емерджентних властивостей САК – високої автономності, енергоефективності, живучості та точності виконання місій у складних океанографічних умовах.

Ключові слова: важкий автономний ненаселений підводний апарат, система автоматичного керування, системний підхід, емерджентні властивості.

Вступна частина. Важкі автономні ненаселені підводні апарати (АНПА-В, в англомовній літературі – Large Unmanned Underwater Vehicles, LUUV) утворюють відносно новий тип засобів підводної робототехніки, який все більше використовують як для цивільних морських місій (науково-дослідні, природоохоронні, картографічні, виробничі задачі), так і для оборонних місій (проведення розвідки тощо). Такі апарати мають діаметр 21 дюйм і більше та мають масу від 1 до 10 тонн [1, 2].

Попередній аналіз структур систем автоматичного керування (САК) таких апаратів показує, що існуючі технічні рішення для них часто функціонують на межі своїх можливостей при необхідності враховувати суттєві нелінійності гідродинаміки корпусу АНПА-В, нестаціонарності збурень морського середовища, які діють на корпус та невизначеності власних змінних параметрів підводного апарата як об’єкта керування [3, 4].

До того ж експлуатація АНПА-В вимагає довготривалого планування морських місій, ефективного використання бортових джерел енергії, забезпечення високої точності просторового руху, живучості та адаптивності.

Все вище наведене стимулює пошук шляхів удосконалення САК АНПА-В з використанням методології системного підходу [5], який забезпечує емерджентні властивості САК – високу автономність, експлуатаційну надійність та точність виконання морських місій підводного апарата у складних гідрометеорологічних умовах.

Мета роботи. Метою роботи є порівняння ефективності традиційного та системного підходів до проєктування САК АНПА-В.

Основна частина. Ознайомлення з сучасними підходами до процесів проєктування засобів морської робототехніки і, зокрема, автономних ненаселених підводних апаратів [6–8] вказує на доцільність застосування системного підходу, яка обґрунтовується наступними його властивостями:

ефективністю застосування при розробці САК об’єктами автоматичного керування, які мають високу складність та суттєву нелінійність, оскільки системний підхід дає змогу розглядати просторову динаміку

такого об'єкта (підводного апарата) як цілісний взаємопов'язаний технічний об'єкт, а не як набір ізольованих каналів керування, що забезпечує високу якість стабілізації лінійного руху та відстеження просторових траєкторних переміщень;

можливістю розробки САК АНПА-В, які функціонують в умовах невизначеності зовнішнього морського середовища, обумовленого дією підводних течій, зміною гідростатичного тиску, впливу приєднаних мас води на властивості АНПА-В як об'єкта керування, а також відсутністю радіо- та супутникових засобів навігації під водою;

можливістю ефективного застосування методології багаторівневої декомпозиції структурної схеми САК АНПА-В, оскільки системний підхід обґрунтовує побудову ієрархічної (багаторівневої) системи керування (найпоширенішим є трирівнева САК у складі стратегічного, тактичного та виконавчого рівнів керування) [9];

можливістю проєктувати високоефективні закони керування (зокрема, на основі застосування RISE-регуляторів та оптимізаційних алгоритмів) з урахуванням мінімізації витрат енергії, запобігаючи високочастотним автоколиванням рушіїв та враховуючи супутні течії при виборі форми траєкторного руху АНПА-В, що забезпечує енергоефективність та довготривалість морських місій [10];

можливістю залучення нечітких (Fuzzy) та нейромережевих (ANN) регуляторів для виконавчих механізмів АНПА-В, які працюють в умовах неповної визначеності параметрів середовища [12];

можливістю впровадження алгоритмів автоматичної реконфігурації структури САК при виникненні відмов, що забезпечує збереження живучості та можливість безпечного спливання або завершення місії.

У цілому, переваги системного підходу до проєктування САК АНПА-В можна звести до табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння властивостей традиційного та системного підходів

Параметр	**Традиційний (локальний) підхід**	**Системний підхід**
Об'єкт синтезу	Окремий регулятор чи контур	Цілісний комп'ютерно-інтегрований комплекс
Модель динаміки об'єкту	Лінеаризована, поканальна	Повна нелінійна 6-DOF з урахуванням перехресних зв'язків
Взаємодія з зовнішнім середовищем	Зовнішні завади вважаються статичними	Враховується стохастична та динамічна природа підводного середовища
Критерій якості керування	Точність витримування одного параметра	Багатокритеріальна оптимізація (точність + енергоефективність + надійність)

Висновки. Застосування традиційного (локального) підходу проєктування САК АНПА-В, який реалізується шляхом розробки окремих автономних керуючих модулів, може призвести до неузгодженості контурів керування, втрати стійкості при зміні режимів руху, перевитрат енергії та високого ризику втрати високовартісного підводного апарата. Системний підхід гарантує появу емерджентних властивостей – високої автономності АНПА-В, підвищення надійності його функціонування та підвищення точності виконання місій у складних океанографічних умовах.

Література

[1] HUGIN Superior. https://www.kongsberg.com/what-we-do/ocean-space/autonomous-and-uncrewed-solutions/auv/autonomous-underwater-vehicle-hugin-superior/

[2] Bluefin-21. https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluefin-21

[3] Zhang Xiangyuan, Hua Ji. (2024). Study on the development and application of foreign extra-large unmanned underwater vehicle. Chinese Journal of Ship Research 2024, 19 (5): Pages 17–27. DOI: 10.19693/j.issn.1673-3185.03493

[4] Bridging XLUUV and MASS – Technologies for Autonomous Multi-Domain Operations. Journal of Physics: Conference Series To cite this article: Carsten Rethfeldt et al 2025 J. Phys.: Conf. Ser. 3123 012019. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/3123/1/012019/pdf

[5] The Systemic Approach: Concepts, Method and Tools. Safety Dynamics, 2018. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96259-7_1

[6] Блінцов В.С., Соколов В.В. Сучасні задачі автоматизації керування безекіпажним надводним катером. Матеріали XXIII міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2016), м. Суми, 22–23 вересня 2016 року. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – С. 201–202.

[7] Volodymyr Blintsov, Olexandr Klochkov. Generalized Method of Designing Unmanned Remotely Operated Complexes Based on the System Approach – "EUREKA: Physics and Engineering", 2019. – Number 2. – P. 43–51.

[8] Проєктування засобів морської робототехніки на основі системного підходу : монографія : у 3 ч. / за ред. д-ра техн. наук, проф. В. С. Блінцова. – Миколаїв : Іліон, 2023. Ч. 1 : Самохідні прив'язні підводні системи / В. С. Блінцов, О. П. Клочков, В. А. Надточій, А. В. Надточий. – 2023. – 16 с.

[9] Patel, S. (2025). A Comprehensive Review of Unmanned Underwater Vehicles: Technologies, Applications, and Challenges. *Journal of Scientific Innovation and Advanced Research (JSIAR), 1* (3), 236–243. https://jsiar.com/2025-June/JSIAR-J-25-06111.pdf

[10] Nicholas Fischer, Devin Hughen, Eric M. Schwartz. (2014). Nonlinear RISE-Based Control of an Autonomous Underwater Vehicle. IEEE Transactions on Robotics, 2014. 30 (4). Pages 845–852. DOI: 10.1109/TRO.2014.2305791

[11] Nayak, N., Das, S.R., Panigrahi, T.K., Das, H., Nayak, S.R., Singh, K.K., Askar, S.S., Abouhawwash, M. Overshoot Reduction Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for an Autonomous Underwater Vehicle. Mathematics 2023, 11, 1868. https://doi.org/ 10.3390/math11081868

IMPROVING THE CONTROL SYSTEM OF A HEAVY AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER VEHICLE BASED ON A SYSTEMS APPROACH

Burunin Andrii Pavlovich
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
Vovnyanko Valentyn Anatoliiovich
Defender Dynamics LLC, Kyiv, Ukraine

Abstract. The paper substantiates the expediency of applying a systems approach to the design of automatic control systems for heavy autonomous unmanned underwater vehicles. It analyzes the shortcomings of the traditional (local) approach to designing control systems for such vehicles and identifies the key advantages of the systems approach. These advantages include accounting for full nonlinear motion with six degrees of freedom, utilizing a multi-level hierarchical control system structure, incorporating adaptive, RISE, fuzzy, and neural-network controllers, as well as employing automatic reconfiguration algorithms for fault tolerance. A comparative analysis of the traditional and systems approaches based on key parameters is presented. It has been demonstrated that a systems approach ensures the emergence of specific properties in the automatic control system–namely, high autonomy, energy efficiency, survivability, and mission execution accuracy under complex oceanographic conditions.

Keywords: heavy autonomous unmanned underwater vehicle, automatic control system, systems approach, emergent properties.

УДК 681.518

ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМИ ПОТОКАМИ

Гайдай Г.Ю.,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри морського приладобудування
anna.haidai@nuos.edu.ua
Грєшнов А.Ю.,
доцент кафедри морського приладобудування
hrieshnov@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розроблено концепцію масштабованої та безпечної архітектуру модуля «Успішність студентів», який є ключовим елементом інтегрованої системи управління інформаційними потоками сучасного закладу вищої освіти.

Ключові слова: інформаційні потоки, навчальний процес, університет, комп'ютерна система, автоматизація процесів.

Вступ. Щодня заклади вищої освіти оперують колосальними масивами взаємопов'язаних даних: від розкладів занять, навчальних планів і робочих програм до модульного контролю, обліку успішності студентів та кадрового менеджменту. Тому розробка гнучкої, масштабованої комп'ютерної системи управління інформаційними потоками на базі сучасних та високоефективних мов програмування є актуальною науково-практичною задачею [1]. Це дозволяє автоматизувати рутинні процеси, забезпечити прозорість моніторингу знань та знизити навантаження на адміністративно-викладацький склад.

Метою роботи є розробка та дослідження ефективності комп'ютерної системи управління інформаційними потоками для автоматизації адміністрування навчального процесу та підвищення оперативної взаємодії його учасників.

Основна частина. Модуль «Успішність студентів» розроблено як ізольований сервіс у рамках мікросервісної архітектури університету [2]. Це забезпечує незалежне масштабування під час пікових навантажень (екзаменаційні сесії) та стабільність інших модулів. Схема бази даних оптимізована для реляційної цілісності та швидкого формування звітів [3]. Підсумковий бал (total_score) обчислюється автоматично на рівні ядра СУБД за формулою: Семестр (max 60) + Екзамен (max 40) = Разом (max 100).

Структурна та функціональна схеми системи управління успішністю приведено на рис. 1 та 2.

Детальний опис функціональних процесів:

1. Процес авторизації та маршрутизації функцій

- Система не зберігає паролі. При вході через SSO токен дешифрується, і залежно від атрибутів користувача активується відповідний функціональний набір ([Функції С/В/Д]). Студент фізично не має доступу до коду функцій редагування, оскільки вони заблоковані на рівні контролерів безпеки.

2. Функціональний цикл семестрової роботи (Moodle → Система)

- Функція автосинхронізації: Працює у фоновому режимі. Вона ловить оцінки, викликає математичний модуль, який стискає шкалу LMS до університетських 0–60 балів, та оновлює поточний стан журналу викладача.
- Функція ручного коригування: Якщо викладач змінює семестровий бал в інтерфейсі системи, ця функція ставить у базу даних статус MANUALLY_OVERRIDDEN. З цього моменту функція автосинхронізації для цього студента вимикається, запобігаючи затиранню ручного введення автоматикою з Moodle [4].

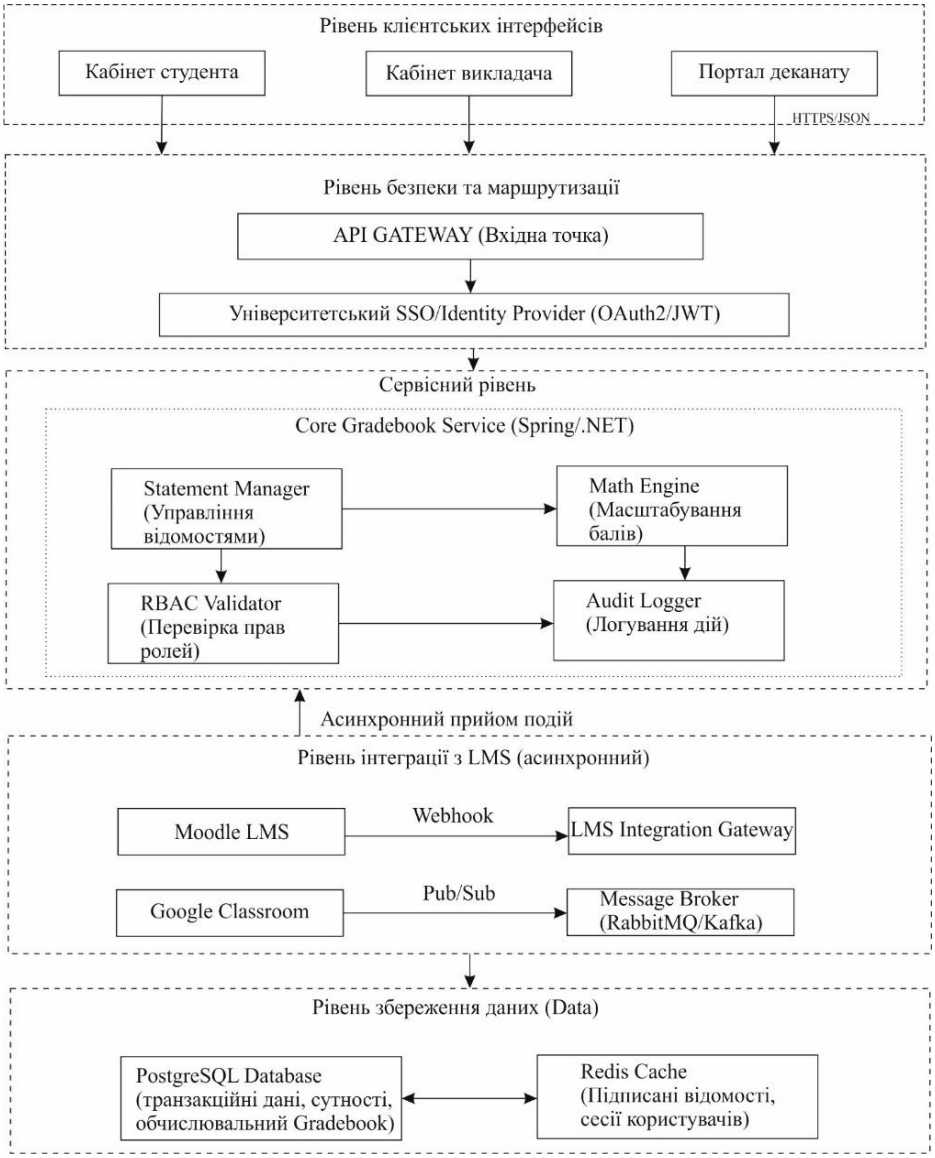


Рисунок 1 – Структурна схема системи управління успішністю

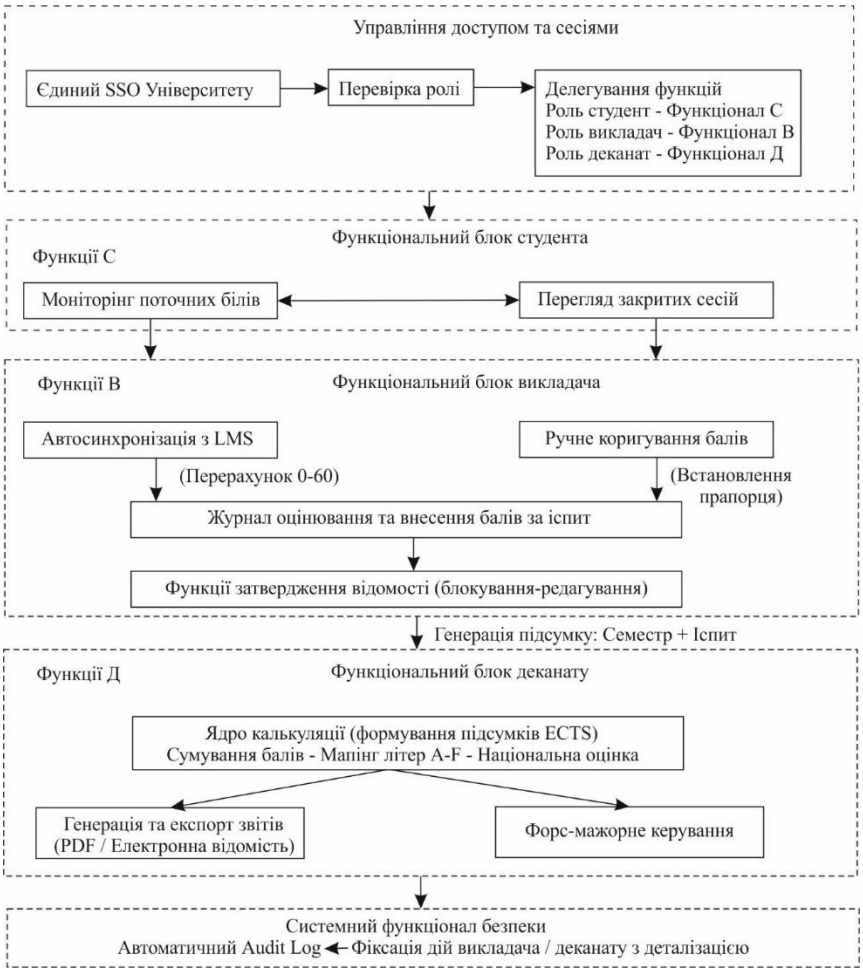


Рисунок 2 – Функціональна схема модуля «Успішність студентів»

3. Екзаменаційний та підсумковий функціональний цикл: функція внесення балів за іспит; функція затвердження відомості: Після перевірки викладач фіксує відомість.

4. Аналітичний та адміністративний функціонал деканату: ядро калькуляції ECTS: Ця функція бере фінальний бал (0–100) і за логічним алгоритмом (матрицею ECTS) присвоює текстовий еквівалент (наприклад, 93 “A”, «Відмінно»).

Висновки. Таким чином, у процесі роботи було розроблено цілісну, науково обґрунтовану та технологічно зрілу архітектуру модуля «Успішність студентів», який інтегрується в загально-університетську систему управління інформаційними потоками. Розроблений модуль успішно долає критичні недоліки існуючих EdTech-рішень (таких як затирання даних при синхронізації, падіння серверів під час сесії та відсутність прозорого цифрового сліду).

Література

[1] Журавльова І. В. Інформаційні системи міжнародного бізнесу: Навч. посібн. – Х.: Вид. ХНЕУ, 2006. – 45 с.

[2] Інформаційні системи і технології в економіці: Підручник / За ред. В. С. Пономаренка. – К.: Академія, 2002. – 54 с.

[3] Пєтухова О., Скліфус І. (2019). Напрями удосконалення інформаційних потоків на підприємстві. *Молодий вчений*. *Т. 76, № 12*. С. 36–38.

[4] Харчук О. Г. (2022) Управління інформаційними потоками підприємства: суть, види та класифікація. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. *№ 3*. С. 87–94.

GENERAL CONCEPT OF THE INFORMATION FLOW MANAGEMENT SYSTEM

Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The concept of a scalable and secure architecture of the module “Student Success”, which is a key element of an integrated information flow management system of a modern higher education institution were developed.

Keywords: information flows, educational process, university, computer system, process automation.

УДК 681.5:004.94

ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ MATLAB/SIMULINK–AUV SIM ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМИ ПІДВОДНИМИ АПАРАТАМИ

Грудініна Г.,
кандидатка технічних наук, доцентка кафедри автоматики та електроустаткування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
hanna.hrudinina@nuos.edu.ua

Анотація. Запропоновано структурно-функціональну архітектуру програмного інтерфейсу між спеціалізованим середовищем моделювання динаміки підводного апарата та MATLAB/Simulink. Інтерфейс забезпечує двонапрямний обмін навігаційними даними та командами керування в реальному часі, а також дозволяє відокремити математичну модель підводного апарата від алгоритмів його автоматичного керування.

Ключові слова: об’єкт керування; динаміка підводного апарату; автоматичне керування; математичне моделювання.

Мета та актуальність роботи. Метою роботи є розробка та апробація програмного інтерфейсу між AUV Sim та MATLAB/Simulink. Інтерфейс повинен забезпечувати двонаправлений обмін навігаційними даними та командами керування. Він також має забезпечити інформаційне відокремлення моделі підводного апарата від системи автоматичного керування.

Основна частина. Автономні підводні апарати широко використовуються для дослідження та моніторингу морського середовища. Розширення кола задач, які виконують такі апарати, підвищує вимоги до їх систем автоматичного керування. Розроблення та перевірка алгоритмів керування безпосередньо на реальному об’єкті потребують значних витрат. Крім того, проведення натурних експериментів на початкових етапах розроблення пов’язане з ризиком пошкодження обладнання.

Тому важливим етапом створення систем керування АПА є комп’ютерне моделювання. Воно дозволяє дослідити поведінку апарата та перевірити роботу алгоритмів керування до проведення натурних випробувань.

Одним із програмних засобів для дослідження динаміки підводних апаратів є AUV Sim [1]. Програмний продукт дозволяє створювати модель підводного апарата з урахуванням його геометричних параметрів, гідродинамічних характеристик, рушійного комплексу, керованих поверхонь та баластної системи. Також можуть бути змодельовані навігаційні датчики та зовнішні умови руху.

Водночас для синтезу і дослідження систем автоматичного керування зручно використовувати середовище MATLAB/Simulink. Даний програмний продукт містить засоби для побудови регуляторів, обробки сигналів та аналізу результатів моделювання [2].

Використання двох програмних середовищ створює задачу організації обміну даними між ними. При цьому доцільно відокремити модель динаміки підводного апарата від алгоритмів його керування. Такий підхід дозволяє змінювати алгоритми керування без необхідності перебудови моделі самого апарата.

Для вирішення поставленої задачі розроблено програмний комплекс AUV Sim Interface. На рис. 1 наведено загальну структуру даного комплексу.

Модель підводного апарата формується у середовищі AUV Sim. Дана модель включає корпус, рушійний комплекс, керовані поверхні, баластну систему та навігаційні датчики. Розраховані параметри руху AUV Sim передає зовнішній системі керування.

Обмін даними між програмами здійснюється через мережеве з’єднання TCP/IP [3]. Для передачі навігаційної інформації використовуються повідомлення у форматі NMEA 0183 [4]. MATLAB/Simulink приймає ці повідомлення, перевіряє їх та визначає тип отриманих даних.

Після цього значення окремих параметрів передаються відповідним блокам системи керування.

Інформацію, яка надходить до AUV Sim Interface можна представити у вигляді вектора

$$y(t) = [\psi, \theta, \phi, z, v, r]^T,$$

де ψ – курс; θ – тангаж; φ – крен; z – глибина; v – швидкість; r – кутова швидкість рискання.

Перетворення повідомлень, отриманих від симулятора, можна записати як

$$y(t) = F_{in}(M_{NMEA}),$$

де M_{NMEA} – множина повідомлень, отриманих від симулятора; F_{in} – функція приймання, перевірки та перетворення даних.

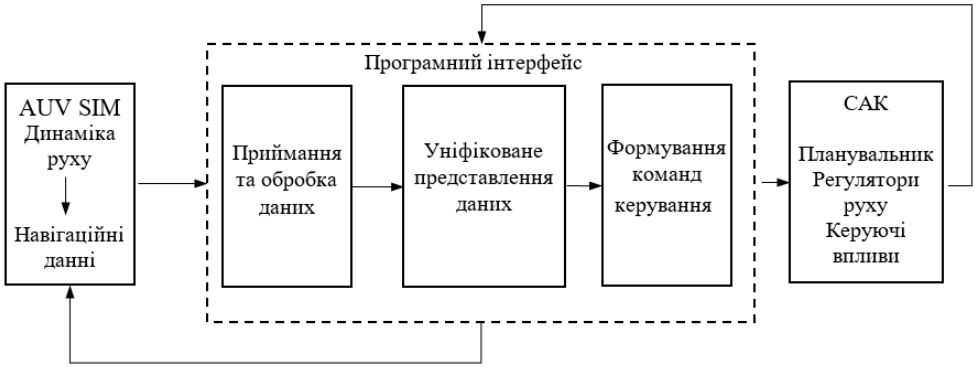


Рисунок 1 – Структурна схема програмного інтерфейсу двонаправленого обміну даними

Після обробки інформація передається до системи автоматичного керування. Закон керування у загальному вигляді можна записати як

$$u(t) = C[r(t), y(t)],$$

де $r(t)$ – вектор заданих параметрів руху; $u(t)$ – вектор керуючих впливів; C – алгоритм керування.

Сформовані команди перетворюються у формат, який підтримується AUV Sim

$$M_{MCO} = F_{out}[u(t)],$$

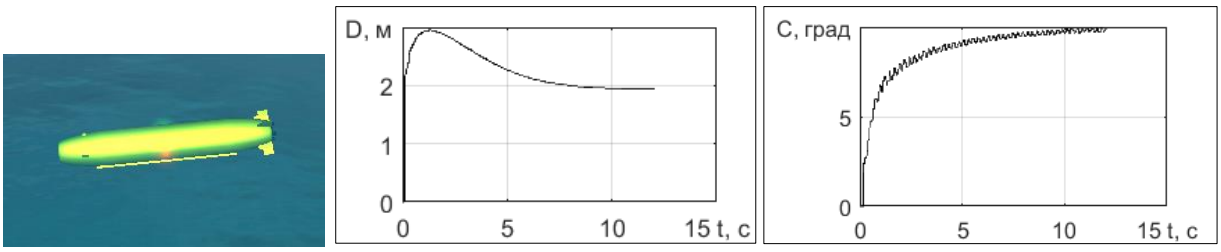
де F_{out} – функція формування вихідних команд.

Таким чином, система автоматичного керування не працює безпосередньо з повідомленнями AUV Sim. Вона отримує вже підготовлені сигнали курсу, глибини, тангажу, швидкості та інших параметрів. Аналогічно команди регуляторів спочатку надходять до блоку розподілу керуючих впливів. Після цього вони перетворюються у формат команд виконавчих механізмів.

Такий принцип побудови спрощує зміну алгоритмів керування. Наприклад, один тип регулятора можна замінити іншим без зміни механізму обміну даними з AUV Sim. Це також створює можливість порівнювати різні алгоритми керування на однаковій моделі підводного апарата.

Для перевірки запропонованого підходу в AUV Sim створено модель автономного підводного апарата. Система керування апаратом реалізована у MATLAB/Simulink. Під час моделювання AUV Sim передає поточні параметри руху до MATLAB/Simulink. Система керування порівнює їх із заданими значеннями та формує необхідні керуючі впливи. Сформовані команди передаються назад до AUV Sim. Таким чином утворюється замкнений контур керування, елементи якого розміщені у двох незалежних програмних середовищах.

Для експериментальної перевірки працездатності розробленого середовища було проведено моделювання руху АПА за заданою програмою. Апарат повинен був зануритись на задану глибину та змінити курс. На рис. 2 наведено результати моделювання.



а *б* *в*

Рисунок 2 – Математичне моделювання керованого руху АПА: а – конфігурація корпусу апарата; б – занурення на задану глибину; в – вихід на заданий курс

Результати експерименту показали працездатність двонаправленого обміну даними між AUV Sim та MATLAB/Simulink.

Розроблене середовище також може бути використане у навчальному процесі. На його основі можна виконувати лабораторні роботи з автоматичного керування, моделювання динаміки та морської робототехніки. При цьому здобувачі можуть змінювати структуру системи керування, не втручаючись у внутрішню модель динаміки підводного апарата.

Висновок. Розроблено програмний інтерфейс, який забезпечує двонаправлений обмін даними між AUV Sim та MATLAB/Simulink. Запропонований підхід дозволяє відокремити модель динаміки підводного апарата від алгоритмів його автоматичного керування. Працездатність розробленого середовища

перевірено на моделі автономного підводного апарата з чотирма рушіями. Створений програмний комплекс може використовуватися для розробки, налаштування та дослідження систем керування АПА, а також у навчальному процесі. Подальший розвиток роботи передбачає розширення функціональних можливостей інтерфейсу та його використання для напівнатурного моделювання систем керування автономними підводними апаратами.

Література

[1] Dynautics Ltd. AUV Sim [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Dynautics AUV Sim (дата звернення: 09.09.2026).

[2] MathWorks. Simulink Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Simulink Documentation (дата звернення: 09.09.2026).

[3] Eddy W. Transmission Control Protocol (TCP). RFC 9293. Internet Engineering Task Force, 2022. – Режим доступу: RFC 9293 – Transmission Control Protocol.

[4] National Marine Electronics Association. NMEA 0183 Interface Standard [Електронний ресурс]. – Режим доступу: NMEA 0183 (дата звернення: 09.09.2026).

INTEGRATED MATLAB/SIMULINK–AUV SIM ENVIRONMENT FOR THE DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES

H. Hrudinina

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. A structural and functional architecture is proposed for a software interface between a specialized underwater vehicle dynamics simulation environment and MATLAB/Simulink. The interface enables real-time bidirectional exchange of navigation and control data while decoupling the mathematical model of the underwater vehicle from its automatic control algorithms.

Keywords: controlled system; underwater vehicle dynamics; automatic control; mathematical modeling.

УДК 62-519

НОРМАТИВНІ ОБМЕЖЕННЯ ГІДРОГРАФІЧНОЇ ЗЙОМКИ ЯК КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО РУХУ МАЛОГО АВТОНОМНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

Єрмоленко Б.О.,

асистент кафедри Програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

bohdan.errmolenko@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто питання підвищення енергетичної ефективності руху малого автономного надводного судна на галсових маршрутах батиметричної зйомки. Запропоновано постановку задачі прогнозованого керування, у якій критерієм оптимізації є питоме енергоспоживання, а вимоги стандарту IHO S-44 категорії Order 1a до горизонтальної та вертикальної невизначеності вимірювань формалізовано як жорсткі обмеження на змінні стану судна: бічне відхилення від галсу, швидкість руху та кут крену. Моделювання підтвердило зниження питомих енерговитрат порівняно з класичним ПІД-регулятором.

Ключові слова: мале автономне надводне судно, система керування, акумуляторна батарея, адаптивне керування, мікроконтролер, модель прогнозованого керування, електрорушійний пристрій, енергоефективність, гідрографічний моніторинг.

Вступ. Гідрографічна зйомка рельєфу дна внутрішніх водних шляхів, річкових каналів та портових акваторій потребує регулярного оновлення батиметричних даних для підтримання актуальності навігаційної інформації. Застосування малих автономних надводних суден (МАНС) з електричною пропульсивною системою для виконання таких завдань дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати порівняно з традиційними промірними суднами. Водночас визначальним експлуатаційним обмеженням автономної платформи є ємність бортової акумуляторної батареї, яка безпосередньо визначає площу акваторії, що може бути обстежена за одну місію. Отже, підвищення енергетичної ефективності руху МАНС є комплексною задачею розширення функціональних можливостей платформи. Типовий маршрут батиметричної зйомки має галсову структуру – систему паралельних вимірювальних ліній із фіксованою відстанню та розворотами між ними. Попри те, що прямолінійні ділянки складають більшу частину загальної довжини маршруту, саме

розвороти та корекції курсу формують непропорційно велику частку енергетичного бюджету місії. Це зумовлено тим, що під час перехідного процесу пропульсивна система працює на нестаціонарному режимі з підвищеним споживанням потужності, а перерегулювання керованої величини спричиняє додаткові коригуючі дії після проходження заданої точки. Таким чином, енергетична ефективність МАНС визначається не лише вибором раціонального швидкісного режиму усталеного руху, але й якістю відпрацювання перехідних процесів маневрування.

Мета: синтез алгоритму прогнозованого керування, у якому питоме енергоспоживання є первинним критерієм оптимізації, а вимоги ІНО S-44 жорсткими обмеженнями задачі.

Основна робота. Показником енергетичної ефективності місії обрано питоме енергоспоживання Cost of Transport (COT) – енергію, витрачену на переміщення одиниці маси судна на одиницю відстані:

$$COT = \frac{E}{md}$$

де E – сумарні витрати електричної енергії за час місії, Дж; m – маса судна, кг; d – пройдена відстань, м. Потужність бортових систем прийнято незалежною від швидкості руху, оскільки однопроменевий ехолот працює у безперервному режимі з фіксованою частотою посилок, а споживання навігаційного та обчислювального обладнання не пов'язане з режимом руху судна. Для заданого маршруту величини m та d є фіксованими, тому мінімізація COT еквівалентна мінімізації сумарних витрат енергії E. Енергетичні витрати під час маневру суттєво перевищують витрати усталеного руху на відстані. Миттєва споживана потужність перехідного процесу враховує теплові втрати, пропорційні квадрату тяги:

$$P(t) = F_T(t)u(t) + R_{el}\left(\frac{F_T(t)}{K_m}\right)^2$$

$$E_{\text{пп}} = E_{\text{кін}} + E_{\text{шлях}} + E_{\text{втрат}} + E_{\sigma}$$

$$E_{\sigma} \approx m_{eff}\, v_{\infty}^2\, \sigma^2$$

де $u(t)$ – поздовжня швидкість судна, м/с; F_{T} – сумарна тяга рушіїв, Н; R_{el} – активний опір обмоток двигунів, Ом; K_{m} – коефіцієнт тяги. Складова $E_{\text{кін}}$ відповідає зміні кінетичної енергії судна під час розгону та гальмування, $E_{\text{шлях}}$ – роботі проти сил гідродинамічного опору на траєкторії розвороту, $E_{\text{втрат}}$ – тепловим втратам в електромеханічному тракті [10], а E_{σ} – додатковим витратам, зумовленим перерегулюванням σ при виході на новий маневр; m_{eff} – ефективна маса судна з урахуванням приєднаних мас води, v_{∞} – швидкість усталеного руху. Отже, регулятори, налаштовані лише на швидкодію, енергетично неоптимальні [7, 9, 11]. У попередніх дослідженнях автора [3–5] було сформовано вихідний набір внутрішніх критеріїв оптимальності руху МАНС. Цей набір критеріїв базується на властивостях електромеханічної системи судна, далі вони розширяться зовнішніми обмеженнями стандарту. Якість зйомки регламентує стандарт ІНО S-44 Edition 6.1.0 [1]. Для внутрішніх водних шляхів застосовується категорія Order 1a, що встановлює гранично допустиму вертикальну та горизонтальну невизначеність.

$$TVU = \sqrt{a^2 + (b\,d)^2}, \quad a = 0{,}5,\ b = 0{,}013; \qquad THU = 5 + 0{,}05\,d$$

де a – постійна складова невизначеності, м; b – коефіцієнт, що залежить від глибини; d – глибина, м. Для використання в системі керування ці вимоги перенесено на змінні стану судна. Горизонтальна невизначеність визначається похибкою GNSS затримкою синхронізації даних ехолота та навігаційної системи τ і бічним відхиленням судна від заданого галсу e_y. Звідси випливає обмеження на бічне відхилення:

$$\left|e_y(t)\right| \le THU - \sigma_{\text{GNSS}} - u(t)\tau$$

Щільність промірів за частоти посилок f_s і кроку $\Delta x_{\max}$ обмежує швидкість:

$$u(t) \le f_s \Delta x_{\max}$$

Крен φ спричиняє вимірювання похилої дальності, тобто похибку $d\left(\frac{1}{\cos\varphi} - 1\right)$, звідки обмеження на крен, найжорсткіше під час розвороту:

$$|\varphi(t)| \le \varphi_{\max} = \arccos\frac{d}{d + TVU}$$

Динаміку судна описано 3-DOF моделлю [2], доповненою рівнянням крену. На кожному кроці дискретизації Δt розв'язується задача мінімізації на горизонті прогнозу N:

$$J = \sum_{k=0}^{N-1}\left(P_k \Delta t + w_{\Delta}\left(\Delta F_{T,k}\right)^2\right) \to \min$$

за умов $x_{k+1} = f(x_k, u_k)$, обмежень на бічне відхилення, швидкість і крен на всьому горизонті прогнозу та обмежень на тягу і швидкість її зміни $F_{\text{T,min}} \le F_T \le F_{\text{T,max}}$. Доданок з ваговим коефіцієнтом w_{Δ} згладжує

керування. На відміну від [11], нормативні вимоги не зважуються з енергетичним критерієм, а є жорсткими обмеженнями. Завдяки прогнозу швидкість знижується ще до розвороту.

Результати моделювання. В середовищі MATLAB/Simulink виконано моделювання руху МАНС катамаранного типу на чотирьох профілях маршруту з різною кількістю розворотів за однакової відстані ΔL. Базою порівняння слугував ПІД-регулятор курсу та швидкості. Застосування прогнозованого керування дозволило помітно знизити питоме енергоспоживання COT на всіх розглянутих профілях. Виграш зростає зі скороченням галсів і збільшенням кількості розворотів, тобто зі зростанням частки перехідних процесів у бюджеті місії. При цьому ПІД-регулятор на ділянках розворотів допускав перевищення допустимого бічного відхилення, тож частина його даних не відповідала Order 1a і потребувала б повторного проходження галсу.

Висновки. В середовищі MATLAB/Simulink виконано моделювання руху МАНС катамаранного типу на чотирьох профілях маршруту з різною кількістю розворотів за однакової відстані ΔL. Базою порівняння слугував ПІД-регулятор курсу та швидкості. Застосування прогнозованого керування дозволило помітно знизити питоме енергоспоживання COT на всіх розглянутих профілях. Виграш зростає зі скороченням галсів і збільшенням кількості розворотів, тобто зі зростанням частки перехідних процесів у бюджеті місії. При цьому ПІД-регулятор на ділянках розворотів допускав перевищення допустимого бічного відхилення, тож частина його даних не відповідала Order 1a і потребувала б повторного проходження галсу.

Література

[1] IHO Standards for Hydrographic Surveys S-44, Edition 6.1.0. – Monaco: International Hydrographic Organization, 2022. – 54 p.

[2] Fossen T. I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. – Chichester: John Wiley & Sons, 2011. – 596 p.

[3] Єрмоленко Б. О. Оптимізація руху автономного надводного судна на електричній тязі як шлях підвищення енергоефективності. Збірник наукових праць НУК. – 2024. – № 1 (494). – С. 80–86.

[4] Єрмоленко Б. О. Результати впровадження логістичного методу підвищення ефективності енергетичної системи автономного надводного судна. Збірник наукових праць НУК. – 2024. – № 3 (496). – С. 64–68.

[5] Єрмоленко Б. О. Розробка алгоритму оптимізації витрат енергії малого автономного судна на основі моделі прогнозованого контролю. Збірник наукових праць НУК. – 2025. – № 4 (502). – С. 169–175.

[6] Єрмоленко Б. О. Аналіз процесу навігації та планування шляху автономного надводного судна. Розвиток транспорту. – 2023. – № 3 (18). – С. 138–148.

[7] Sotelo-Torres F., Alvarez L. V., Roberts R. C. An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys // Sensors. – 2023. – Vol. 23, № 9. – P. 4420.

[8] Bolbot V., Sandru A., Saarniniemi T. et al. Small Unmanned Surface Vessels – A Review and Critical Analysis of Relations to Safety and Safety Assurance of Larger Autonomous Ships. Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11, № 12. – P. 2387.

[9] Chaysri P., Spatharis C., Blekas K. et al. Design and Implementation of a Low-Cost Intelligent Unmanned Surface Vehicle. Sensors. – 2024. – Vol. 24, № 10. – P. 3254.

[10]. Verstraten T., Furnémont R., Mathijssen G. et al. Energy Consumption of Geared DC Motors in Dynamic Applications: Comparing Modeling Approaches. IEEE Robotics and Automation Letters. – 2016. – Vol. 1, № 1. – P. 524–530.

[11] Deng Z., Wang Y., Huang J., Zhang H., Wang Y. Coordinated Energy-Trajectory Economic Model Predictive Control for Autonomous Surface Vehicles under Disturbances. – 2025. – arXiv:2503.07102.

REGULATORY CONSTRAINTS OF HYDROGRAPHIC SURVEYING AS AN OPTIMIZATION CRITERION FOR THE ENERGY-EFFICIENT MOTION OF A SMALL AUTONOMOUS SURFACE VESSEL

Bohdan Yermolenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The study addresses the problem of improving the energy efficiency of a small autonomous surface vessel operating along survey lines during bathymetric surveying. A model predictive control (MPC) problem formulation is proposed, in which specific energy consumption is used as the optimization criterion, while the requirements of the IHO S-44 Standard, Order 1a, concerning the horizontal and vertical uncertainty of measurements are formalized as hard constraints on the vessel state variables, including cross-track error, vessel speed, and roll angle. Simulation results confirmed a reduction in specific energy consumption compared with a conventional PID controller.

Keywords: small autonomous surface vessel, control system, onboard battery system, adaptive control, microcontroller, model predictive control, electric propulsion system, energy efficiency, hydrographic monitoring.

UDC 621.311:004.942

APPLICATION OF STATEFLOW STATE DIAGRAMS FOR MODELING SHIPBOARD ELECTRICAL LOADS

Ushkarenko O.O.,
Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department
of Programmable Electronics, Electrical Engineering and Telecommunications
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
oleksandr.ushkarenko@nuos.edu.ua

Abstract. The operating behavior of shipboard electrical consumers is represented using finite-state machines. For one group of consumers, the operating mode depends on the technological stage of the vessel's operating cycle, whereas for another group it is independent of that stage and may vary with the time of day. Switching times, operating durations, pauses, and power levels are modeled as random variables with empirically determined distributions. The resulting network of automata is integrated into the vessel power plant model to simulate the operation of the principal electrical consumers.

Keywords: finite-state machine, electricity consumers, vessel operating cycle, power demand

Introduction. For each vessel type, characteristic operating modes can be identified that determine patterns of electricity consumption. Most of these modes follow cyclical time sequences whose stage durations are represented by random variables with statistically defined distributions. In addition, for most vessel types, groups of consumers can be distinguished whose operating times, pause durations, and power levels depend on the current stage of the cycle [1, 2]. For industrial vessels, for example, characteristic operating modes include port berthing, maneuvering, transit to fishing grounds, departure from fishing grounds, industrial operation, and emergency operation.

Accurate modeling of shipboard electrical consumers is essential for assessing power demand under realistic operating conditions. Since the behavior of many consumers is stochastic and may depend on the vessel's operating stage or time of day, as shown in [3], purely deterministic representations are often insufficient. The finite-state machine approach has proven effective for describing the behavior of shipboard automation systems, as demonstrated in [4, 5]. The same modeling paradigm can also be successfully extended to represent the operating logic and power consumption patterns of shipboard electrical consumers. A finite-state-machine-based approach therefore provides an effective means of describing consumer operation and the vessel's daily operating cycle. In this approach, each consumer can be represented by discrete states, while transitions between states are determined by random time intervals generated from empirically identified distributions and their parameters.

Consumer operation is simulated in the Stateflow environment of MATLAB. The resulting network of finite-state machines is incorporated into the ship power plant model and executed at each simulation step, with one step corresponding to minutes of real time.

The purpose of the work is to develop a finite-state-machine-based model for simulating the operation of shipboard electrical consumers under varying vessel operating conditions. This model is intended to represent the stochastic behavior of major consumers and to incorporate their power demand into the overall vessel power plant simulation.

Figure 1 shows the flowchart of the AD1 automaton, which simulates the operation of the AD1 consumer depending on the stage of the vessel's daily cycle. State AD1_0 corresponds to the off state of the unit, while state AD1_1 corresponds to the on state. This consumer operates intermittently, a mode typical of cargo-handling mechanisms, with a period of 1 min and an engine on-time of min. Therefore, state AD1_1 is divided into two nested substates: operation and pause (AD1_on and AD1_off, respectively).

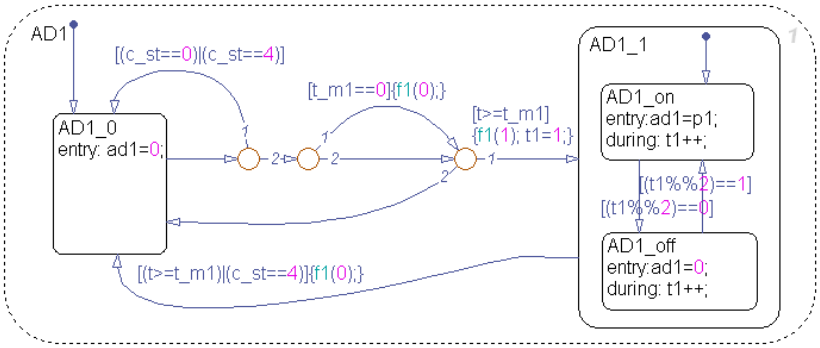


Figure 1 – Finite-state machines for electricity consumers by daily cycle stage

The consumer's operating mode depends on the stage of the vessel's technological cycle. At the mooring stage, the AD1 automaton remains in state AD1_0, meaning that the consumer is off. When automaton swithes to another state, corresponding to the vessel's transition to longline equipment installation mode, a random number is generated to determine the waiting time until the consumer turns on. Once this generated time interval has elapsed, the AD1 circuit breaker transitions to state AD1_1. This transition is accompanied by the generation of both the duration of stay in this state and the power level consumed by the mechanism, expressed in relative units.

Within state AD1_1, the automaton undergoes cyclic transitions between substates AD1_on and AD1_off with a two-cycle period, simulating the intermittent short-term operation of the mechanism. When the time spent by the circuit breaker in state AD1_1 coincides with the generated duration, the circuit breaker transitions back to state AD1_0, after which the described sequence is repeated.

In the vessel's "drift" and "longline hauling" modes, the operation of consumer AD1 is simulated in the same way; only the distribution types of power level, operating intervals, pauses, and their parameters differ. To reduce the complexity of the model, the generation of random variables is implemented as a graphical function f1 (Fig. 2) with the following parameters: the transition direction (from AD1_0 to AD1_1 or vice versa) and the number of the vessel-cycle stage.

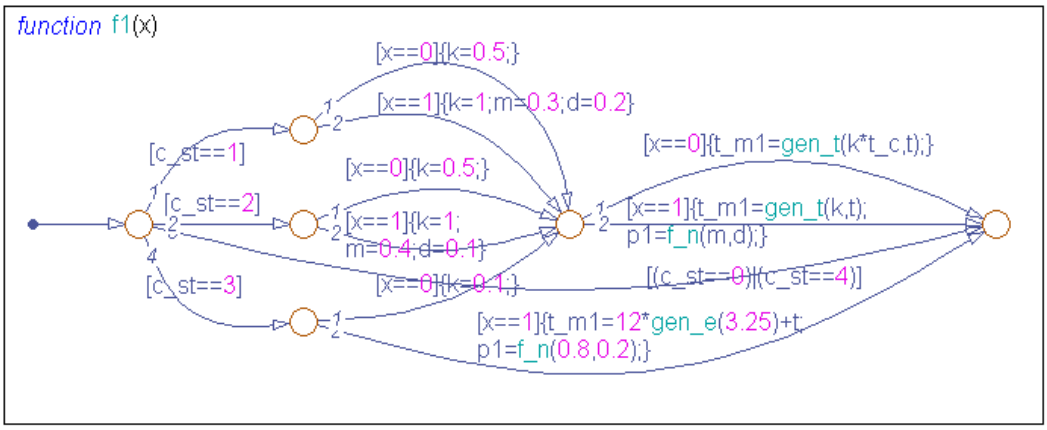
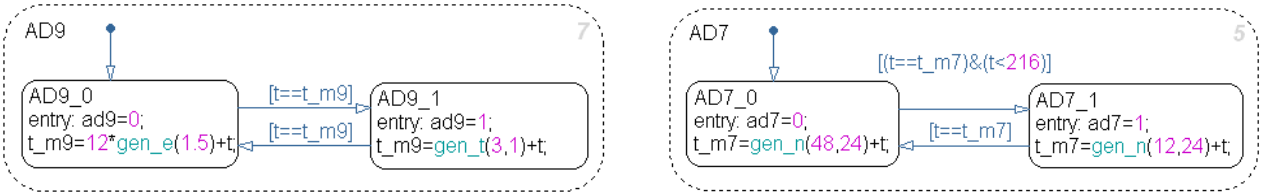


Figure 2 – Function implementation used to generate random values

The second group comprises consumers whose operating modes are independent of the technological stage of the vessel's operating cycle. These include mechanisms supporting main engine operation and vessel propulsion, general ship systems, and cargo storage systems (Fig. 3, a). The operating modes of consumers in this group may, however, vary with the time of day (Fig. 3, b).



a *b*

Figure 3 – Finite-state machines for consumers independent of the vessel cycle stage

In addition to the AD1, AD7, and AD9 automata, corresponding automata have been developed to simulate the operation of the most powerful shipboard electrical consumers that function periodically or episodically, whereas the power demand of the remaining devices is represented as a constant component. The set of parallel-connected automata forms a Stateflow model of shipboard electrical consumer operation. The input event for the model is the rising edge of a clock signal, which initiates the evaluation of transition conditions and the state changes of the automata. The output signals are the power levels consumed by the devices, expressed as fractions of their rated powers.

Conclusions. A finite-state-machine-based approach was developed to simulate the operation of major shipboard electrical consumers under different vessel operating conditions. The proposed model captures the stochastic nature of consumer behavior, including switching times, operating durations, pauses, and power demand, thereby improving the representation of onboard electrical loads. The results obtained can be used as part of the vessel power plant model for the analysis, prediction, and optimization of shipboard power consumption under realistic operating scenarios.

References

[1] Boveri A., D'Agostino F., Gualeni P., Neroni D., Silvestro F. A Stochastic Approach to Shipboard Electric Loads Power Modeling and Simulation // Proc. of the 2018 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC). Nottingham, United Kingdom, 7-9 Nov. 2018. Piscataway, NJ: IEEE, 2018. P. 1–6. DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2018.8607499

[2] Ryabenkiy V.M., Ushkarenko A.O. Techniques of statistic research of power surges in autonomous power stations // Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 2011, № 30 (102), P. 121-125.

[3] Борщевський В. В., Ушкаренко О.О. Моделювання процесів зміни навантаження в суднових електроенергетичних системах // Матеріали XVIII міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології і автоматизація–2025". Одеса : вид-во ОНТУ, 2025. С. 82–84.

[4] Al-Suod M. M., Ushkarenko A. O., Dorogan O. I. Automatic Approach for Estimating the Protection Elements of Electric Power Plants // World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, Energy and Power Engineering. Paris, France, Dec. 30-31, 2015. Vol. 2, No. 12. P. 3935-3937.

[5] Zhu W., Gu T., Wu J., Liang Z. Advanced State Estimation Approach for Partially Observable Shipboard Power Systems // Journal of Marine Science and Engineering, 2023, Vol. 11, No. 12, Art. 2380, P. 1–22. DOI: 10.3390/jmse11122380

УДК 621.311.24

WAVE LINE MAGNET ЯК ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ МОРСЬКИХ ХВИЛЬ

Канц В.В.,
викладач
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна
valentyna.kants@nuos.edu.ua

Анотація. Зростання потреби у відновлюваних джерелах енергії стимулює розвиток технологій використання енергії морів та океанів. Одним із перспективних напрямів є перетворення кінетичної енергії морських хвиль в електричну енергію. У статті розглянуто технологію Wave Line Magnet (WLM), розроблену британсько-кіпрською компанією Sea Wave Energy Limited (SWEL). Описано принцип роботи хвильового енергетичного перетворювача, його конструктивні особливості, потенційні сфери застосування, переваги та перспективи використання для виробництва електроенергії, опріснення води та отримання водню.

Ключові слова: морські хвилі, хвильова енергетика, відновлювана енергетика, Wave Line Magnet, SWEL, перетворювач хвильової енергії, водень, опріснення води.

Wave Line Magnet (WLM) – хвильовий енергетичний перетворювач, створений компанією Sea Wave Energy Limited (SWEL). Технологія розроблялася протягом майже двох десятиліть і пройшла кілька етапів удосконалення та випробувань у лабораторних умовах і відкритому морі.

Мета ідеї WLM полягає в тому, щоб конструкція не просто протистояла хвилям, а рухалася разом із ними та безпосередньо використовувала їхню кінетичну енергію. Розробники порівнюють цей принцип із гальмуванням важкого потяга: система не створює енергію сама по собі, а відбирає частину енергії руху хвилі та перетворює її на корисну роботу.

Конструкція WLM складається з чотирьох основних елементів: центрального гнучкого «хребта», платформ, важелів і насосів. Платформи розміщуються вздовж поверхні хвилі та повторюють її рух. Через систему важелів цей рух передається насосам. Насоси переміщують і стискають морську воду, створюючи умови для подальшого використання отриманої енергії.

Особливістю технології є можливість використовувати отриману енергію не лише для виробництва електроенергії. Система потенційно може застосовуватися для опріснення морської води, а також для виробництва та зберігання водню.

Важливою особливістю WLM, на яку звертають увагу розробники, є здатність системи збільшувати вихідну потужність зі збільшенням довжини та висоти хвиль. За їхніми оцінками, на відміну від деяких інших хвильових енергетичних систем, WLM може ефективніше працювати за умов довших хвиль [3].

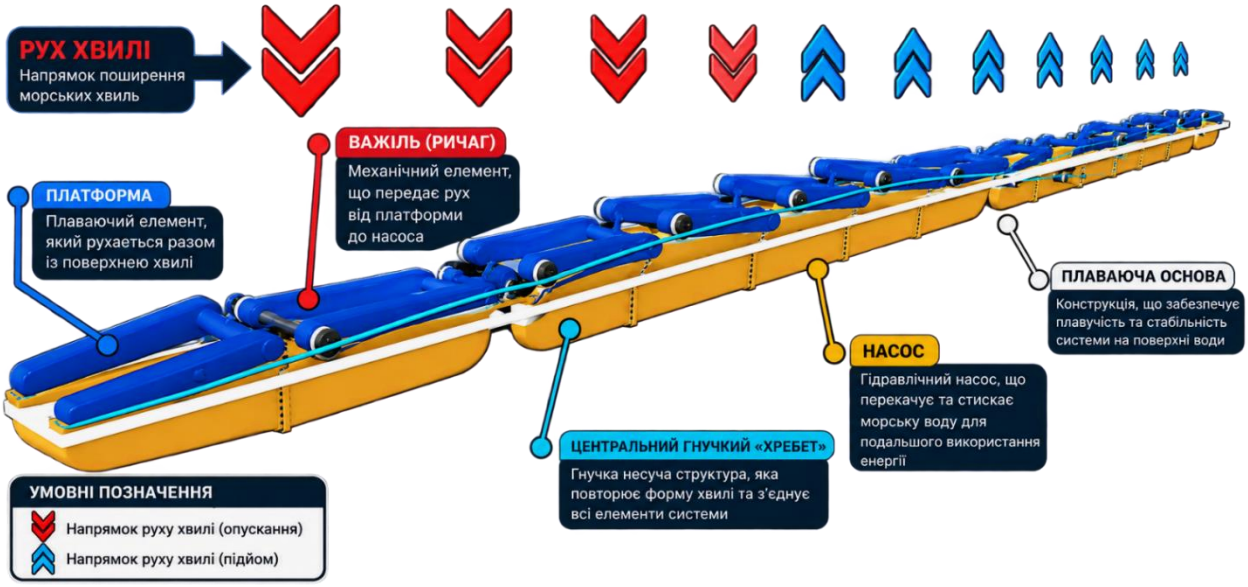


Рисунок – Хвильовий генератор Wave Line Magnet

Однією з головних заявлених переваг технології є низька потенційна собівартість виробництва енергії. SWEL оцінює її менш ніж у 2,5 цента США за кВт·год у певних умовах експлуатації. Для конкретного досліджуваного варіанта встановлення біля узбережжя Шотландії компанія прогнозувала річне виробництво близько 140 ГВт·год. Однак зазначені показники слід розглядати саме як оцінки розробників, а не як остаточно підтверджені показники промислової експлуатації. Реальна економічна ефективність хвильової енергетики залежатиме від конкретного морського району, характеристик хвиль, вартості виробництва та монтажу обладнання, технічного обслуговування і терміну експлуатації [1].

Однією з перспективних характеристик WLM є модульний принцип побудови. За задумом розробників, конструкцію можна адаптувати до різних морських умов шляхом зміни її розмірів.

Для відносно спокійних морів, зокрема Середземного, розглядається компактніша версія приблизними розмірами 8 × 10 м, тоді як для відкритого океану запропонована більша конструкція – близько 24 × 60 м.



Залежно від умов і призначення перетворювачі можуть розміщуватися на різній відстані від берега. Для невеликих островів технологія може використовуватися для забезпечення електроенергією та опріснення води. Для масштабних енергетичних систем передбачається встановлення обладнання на кілька кілометрів від узбережжя. Особливо перспективним напрямом є поєднання хвильової енергетики з виробництвом зеленого водню. Електроенергія або безпосередньо енергія хвиль може використовуватися для отримання водню, який надалі можна стискати, зберігати та транспортувати. Розміщення відповідного обладнання в морі потенційно дозволяє винести частину енергетичної інфраструктури за межі густонаселених територій [2].

Незважаючи на значний потенціал хвильової енергетики, її промислове впровадження залишається складним завданням. Обладнання повинно працювати в умовах постійного впливу солоної води, хвильових

навантажень, штормів і корозії. Тому важливими критеріями є механічна міцність, довговічність, простота обслуговування та економічність конструкції.

Переваги. WLM може стати використання відносно простих модульних компонентів і можливість масштабування системи відповідно до умов конкретного регіону. Водночас для підтвердження заявлених характеристик необхідні тривалі випробування в реальних морських умовах та незалежна оцінка економічних показників. Розробники планували розпочати комерціалізацію з меншої версії перетворювача потужністю близько 200 кВт. Передбачалося також використання системи для опріснення води, причому заявлена продуктивність оцінювалася в межах 10–50 тонн опрісненої води залежно від умов експлуатації [4].

Висновки. Технологія Wave Line Magnet є перспективним прикладом нового підходу до використання енергії морських хвиль. На відміну від традиційних систем, які переважно використовують плавучість або відносний рух окремих конструктивних елементів, WLM орієнтована на безпосереднє повторення руху хвилі та відбір її кінетичної енергії.

Література

[1] Кузнецов М. П., Сидоренко А. В. Дослідження принципів роботи автономної хвильової установки в акваторіях з низьким хвильовим кліматом. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. № 4 (95). С. 112–119.

[2] Альтернативна енергетика : підручник / за ред. М. О. Сидорова, К. Д. Уманець. Київ : Знання, 2021. 41 с. (Розділ 7: Хвильові та припливні електростанції. С. 289–315).

[3] URL: https://energy365.com.ua/tpost/x5epdazge1-morska-energya-za-tsent-scho-take-wave-l.

[4] URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/ S0360544225041891

WAVE LINE MAGNET AS AN INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR MARINE WAVE ENERGY CONVERSION

Kants Valentyna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk Institute Pervomaisk, Mykolaiv region, Ukraine.

Abstract. The growing demand for renewable energy sources is driving the development of technologies that harness energy from seas and oceans. One promising avenue is the conversion of marine wave kinetic energy into electrical energy. This article examines the Wave Line Magnet (WLM) technology developed by the British-Cypriot company Sea Wave Energy Limited (SWEL). It describes the operating principle of the wave energy converter, its design features, potential applications, advantages, and prospects for use in electricity generation, water desalination, and hydrogen production.

Keywords: marine waves, wave energy, renewable energy, Wave Line Magnet, SWEL, wave energy converter, hydrogen, water desalination.

УДК 621.577

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ «ПОВІТРЯ-ВОДА»

Канц В.В.,
викладач
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна
valentyna.kants@nuos.edu.ua

Анотація. У наслідок економічної та енергетичної кризи зменшились обсяги виробництва продукції. Це негативно впливає на рівень життя людей, але з посиленням цих тенденцій почалася розробка і впровадження нових методів, засобів і програм впливу на споживання енергоресурсів у всіх сферах виробництва і побуту. Енергозбереження має бути направлено на економію енергоресурсів та зниження навантаження на навколишнє середовище. Одним з варіантів економії енергоресурсів є використання геотермальної й сонячної енергії за допомогою теплових насосів (ТН) для теплопостачання житлових будинків.

Ключові слова: сонячна енергія, теплові насоси, система опалення.

Системи опалення, характеризуються економічністю: при підводі до теплового насоса, наприклад, 1 кВт електроенергії, залежно від режиму роботи та умов експлуатації він дає до 3-5 кВт теплової енергії.

Перваги: теплового насоса – зниження капітальних витрат за рахунок відсутності газових комунікацій, збільшення безпеки житла завдяки відсутності вибухонебезпечного газу, можливість одночасного отримання від однієї установки опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування, екологічно чистий метод опалення та кондиціонування, так як не проводиться емісія CO_2, надійний захист від перебоїв електроенергії, практично не потребує обслуговування, термін служби теплового насоса становить мінімум 25 років, енергоагрегат типу «повітря-вода» може бути розрахований не тільки на організацію опалення / охолодження, але і на подачу гарячої води. Обсяг накопичувальної ємності свідчить про потенційні витрати теплової енергії, площі приміщення. Нагріта вода циркулює в обладнаній системою опалення (радіатори, системі тепла підлога) [1–2, 3, 4].

Системи опалення бувають моновалентні і бівалентні. Різниця між двома видами полягає в тому, що моновалентні системи мають одне джерело тепла, який повністю покриває річну потребу в опаленні. Бівалентні системи мають у своєму складі два джерела тепла для розширення діапазону робочих температур. Наприклад, тепловий насос працює до температури зовнішнього повітря −25 °С, а при подальшому зниженні температури на додаток до нього підключається газовий або рідкопаливний котел для компенсації зниження продуктивності теплового насоса.

Залежно від джерел тепла, які використовуються у зовнішньому контурі, розрізняють три основних типи теплових насосів, які можна використовувати в системі опалення будинку: тепловий насос «ґрунт-вода» (зовнішній контур використовує різницю температур на поверхні і в глибині ґрунту); тепловий насос «вода-вода» (зовнішній контур використовує тепло ґрунтових вод або на дні водойми); тепловий насос «повітря-вода» (зовнішній контур використовує тепло повітря).

Схематично тепловий насос можна представити у вигляді системи з трьох замкнутих контурів: у першому, зовнішньому, циркулює тепловіддавач (тепловий носій, що збирає теплоту навколишнього середовища), у другому – холодоагент (речовина, яка випаровується, забираючи теплоту теплоотдатчика, і конденсується, віддаючи теплоту теплоприймачу), в третьому – теплопрємник (внутрішній контур, тобто сама система опалення будівлі або система гарячого водопостачання).

Зовнішній контур (колектор) це покладений в землю або у воду трубопровід, в якому циркулює незамерзаюча рідина – антифриз.

У другій контур, де циркулює холодоагент вбудовані теплообмінники – випарник і конденсатор, а також пристрої, які змінюють тиск холодоагента – дросель і компресор.

Принцип роботи теплового насосу «повітря-вода» складається з наступних етапів: у зовнішньому модулі пристрою розташований потужний вентилятор, який забирає повітря з вулиці. Далі відбувається прямий контакт зовнішнього повітря з випарником (теплообмінником). Усередині випарника циркулює по замкнутому контуру холодоагент, який нагрівається і випаровується (тобто переходить в газоподібний стан). Особлива властивість холодоагенту – це кипіння при низьких температурах. Газоподібний холодоагент надходить у компресор (який працює від електрики), де відбувається його стиснення. При стисненні підвищується тиск і температура холодоагенту. Нагріта речовина під високим тиском переміщається в конденсатор, де віддає тепло носія (в даному випадку воді). Після віддачі холодоагент охолоджується, відбувається конденсація і, як наслідок, газоподібний стан переходить в рідке. У контурі встановлений розширювальний вентиль, завданням якого є зниження тиску. Пройшовши його, рідкий холодоагент знову потрапляє у випарник (теплообмінник) і переходить в газоподібний стан. Даний цикл постійно повторюється.

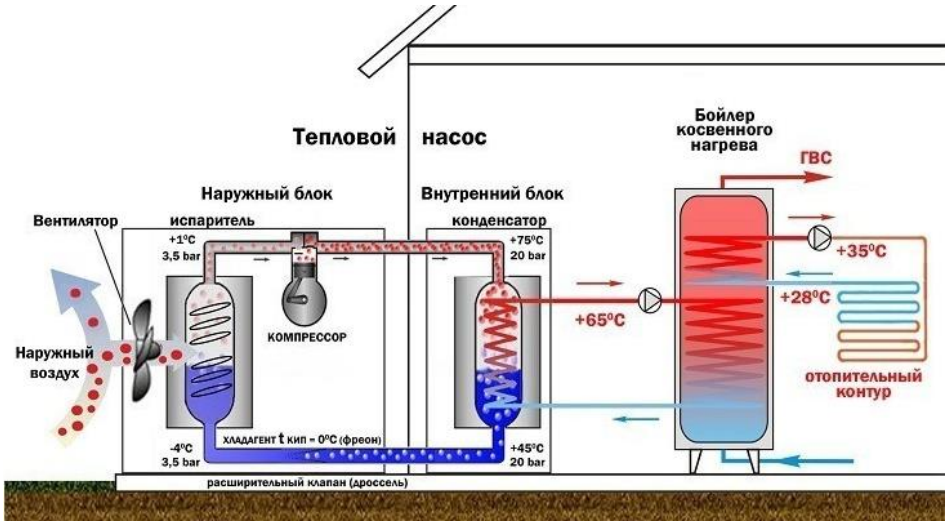


Рисунок 1 – Принцип дії теплового насосу «повітря-вода»

Висновки. Використання теплових насосів дозволяє опалювати будинки безкоштовною енергією довкілля. Тепловий насос отримує теплову енергію від повітря, води або ґрунту, і за допомогою спеціального процесу нагріває теплоносій до належної температури. Головним компонентом установки є холодильний агент, який багаторазово випаровується, стискається та зріджується. Більш вигідно застосовувати теплові насоси в низькотемпературних системах опалення.

Література

[1] Васильев Г.П. Анализ перспектив использования тепловых насосов в Украине [Електронний ресурс] // Режим доступу – www.insolar.com.ua.

[2] Стратегія розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року. – Офіц. вид. – К. : М-во палива та енергетики України, 2006.

[3] Бірюк В. Ю. Перспективи використання теплонасосних систем на електростанціях / В. Ю. Бірюк // Холодильна техніка і технологія. – 2011. -№ 5. – С. 67–69.

[4] Ефективність впровадження енергоощадних заходів в житлово-комунальному господарстві України [Текст] / О. М. Лівінський, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. С. Бойко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 45. – С. 115–119.

ADVANTAGES OF USING AIR-TO-WATER HEAT PUMPS

Kants Valentyna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk Institute Pervomaisk, Mykolaiv region, Ukraine.

Abstract. Economic and energy crises have led to a decline in production volumes. While this negatively affects people's living standards, the intensification of these trends has spurred the development and implementation of new methods, tools, and programs to manage energy consumption across all industrial and domestic sectors. Energy conservation efforts should focus on saving energy resources and reducing environmental impact. One option for conserving energy is the use of geothermal and solar energy via heat pumps (HPs) for residential heating.

Keywords: solar energy, heat pumps, heating system.

УДК 623.746-519:725.34

ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ РОБОТІВ ДЛЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЗРУЙНОВАНИХ ПОРТОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Дар'єв А.С.,
студент групи 4341 кафедри комп'ютеризованих систем управління
artemdar006@gmail.com
Крамаренко Р.С.,
студент групи 6341м кафедри комп'ютеризованих систем управління
romakramarenko45@gmail.com
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація: розглянуто особливості застосування повітряних роботів (БпЛА) для інспекції зруйнованих портових об'єктів. Проаналізовано переваги та недоліки використання дронів для обстеження різнотипних споруд на території портів та прилеглої акваторії. Визначено, що для ефективного використання БпЛА у складних метеорологічних умовах необхідна розробка сучасних удосконалених систем управління та їх попереднє математичне моделювання.

Ключові слова: повітряні роботи, пошуково-рятувальні операції, портова інфраструктура, системи управління БпЛА.

Порти мають складну інфраструктуру, що включає великі термінали, крани, контейнерні майданчики, підземні та підводні споруди. Їх руйнування внаслідок техногенних аварій чи бойових дій створює надзвичайно небезпечні умови для людей. Застосування повітряних роботів дозволяє набагато легше і швидше оцінити масштаби збитків та прискорити пошук постраждалих. При цьому гарантується повна безпека для людини (рятувальника чи оператора), яка може знаходитися на безпечній відстані від місця аварії.

Метою роботи є проведення аналізу особливостей застосування повітряних роботів під час пошуково-рятувальних операцій у зруйнованих портах, а також визначення їх переваг, недоліків та доцільності математичного моделювання систем управління для роботи у таких умовах.

Повітряні роботи уже успішно використовуються у пошуково-рятувальних операціях для швидкого обстеження значних територій. Одним із важливих напрямів є пошук людей за допомогою тепловізійних камер. У нічний час або за наявності задимлення тепловізійний сенсор дає змогу виявляти температурні відмінності та допомагає оператору визначити місцезнаходження людини [1].

Особливістю інспекції саме портових об’єктів є наявність різнотипних споруд (причалів, складів) та прилеглої акваторії [2]. Показовим прикладом застосування безпілотних систем у районі водної інфраструктури є операція берегової охорони США після обвалення мосту Francis Scott Key Bridge у Балтиморі у 2024 році [3]. БпЛА використовувався для отримання актуальних знімків місця катастрофи (рис. 1) та створення ортофотоплану. Це дозволило поєднати інформацію з повітря та від дистанційно керованих підводних апаратів (ROV), оскільки після руйнування наявні супутникові знімки вже не відповідали фактичному розташуванню уламків.

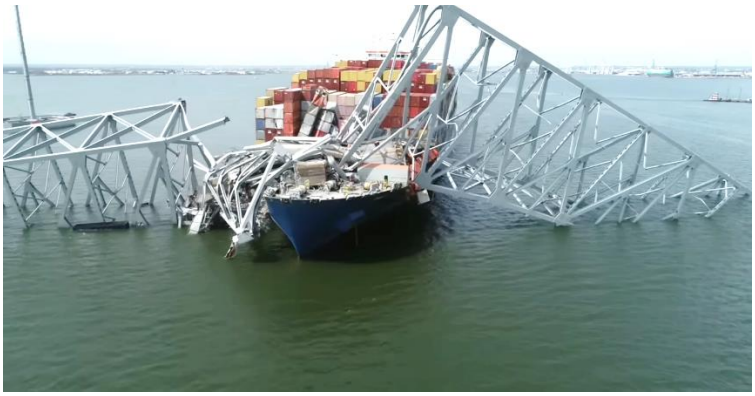


Рисунок 1 – Зафіксовані з БпЛА наслідки руйнування інфраструктури [4]

Головною перевагою використання БпЛА в портах є швидкість отримання даних та безпека для рятувальних бригад. Проте існують суттєві недоліки. Робота в портовій зоні та над акваторією супроводжується значними зовнішніми збуреннями: сильними поривами вітру, сонячними відблисками від води, хмарністю, наявністю бризок, а також складністю навігації поблизу металевих конструкцій (кранів), що спотворюють сигнали GNSS/GPS [5]. Отримані результати аналізу переваг і недоліків використання БПЛА наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки використання повітряних роботів для пошуково-рятувальних операцій на зруйнованих портових об’єктах

Переваги	**Недоліки**
Збереження життя та здоров’я рятувальників.	Значна залежність від складних метеорологічних умов.
Швидке обстеження великих, важкодоступних та небезпечних для людини зон.	Спотворення або повна втрата сигналів GNSS/GPS поблизу масивних металевих конструкцій та кранів.
Можливість побудови точних 3D-моделей та ортофотопланів зміненого рельєфу.	Збої в роботі оптичних датчиків через відблиски сонця на поверхні води.
Використання тепловізорів для пошуку людей під завалами або у задимленому середовищі.	Необхідність залучення операторів надзвичайно високої кваліфікації.

Виходячи з проведеного аналізу особливостей та недоліків, виникає питання доцільності математичного моделювання таких систем. Оскільки натурні випробування у зруйнованих портах або над водою є вкрай складними, а втрата БпЛА через різкі зовнішні збурення чи втрату GPS несе великі фінансові ризики, попереднє математичне моделювання динаміки багатороторних систем є абсолютно доцільним та необхідним [6].

Для вирішення проблем позиціонування звичайного ручного керування недостатньо. Компенсація зазначених недоліків вимагає розробки багаторівневих систем управління (наприклад, на базі каскадних ПІД-регуляторів та міксерів двигунів), а також інтеграції систем технічного зору (візуальної одометрії, Optical Flow) для стабілізації апарата над водою. Математичне моделювання дозволяє безпечно відпрацювати та налаштувати ці алгоритми у віртуальному середовищі до початку реальних польотних випробувань [7].

Таким чином, проведено огляд особливостей використання БпЛА для інспекції портових об'єктів (наземних споруд та прилеглої акваторії). Визначено, що переваги застосування БпЛА дозволяють отримати швидку оцінку збитків, безпечно знайти постраждалих та зберегти життя рятувальників. Встановлено, що недоліки застосування повітряних роботів можна згладити залученням високої кваліфікації оператора, врахуванням погодних факторів, а також побудовою сучасних удосконалених систем управління. У подальших дослідженнях доцільно проводити попереднє математичне та імітаційне моделювання БпЛА, оскільки впровадження та віртуальне тестування новітніх алгоритмів стабілізації та навігації (ПІД-регулятори, Optical Flow, інтелектуальні технології [8]) гарантує стабільність роботи апарата при інтенсивних зовнішніх збуреннях та мінімізує ризик втрати обладнання.

Література

[1] Search and Rescue. Enterprise DJI. URL: https://enterprise.dji.com/public-safety/search-and-rescue (дата звернення: 24.09.2026)

[2] Gerasin O., Kramarenko R., Golikov V., Topalov A., Yushko O., Robotko S. Cost-Effective FPV Quadrotor System for Close-Range Inspection of Port and Shipbuilding Infrastructure. 4th International Conference On Advances In Civil Aviation Systems Development. KAI & KSE, March 26, 2026. 13 p. (in print).

[3] Coast Guard integrates aerial, underwater drones to locate victims of Francis Scott Key Bridge collapse. URL: https://www.mycg.uscg.mil/News/Article/3842164/coast-guard-integrates-aerial-underwater-drones-to-locate-victims-of-francis-sc/ (дата звернення: 24.09.2026)

[4] Baltimore bridge collapse NTSB official drone footage of ship disaster in harbor. URL: https://youtu.be/1fyh6cRFtjo (дата звернення: 24.09.2026)

[5] Disaster Prevention and Response. Enterprise DJI. URL: https://enterprise.dji.com/public-safety/disaster-prevention-and-response (дата звернення: 24.09.2026)

[6] Beard R. W., McLain T. W. Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice. Princeton University Press, 2012. 312 p.

[7] Haddad M. N., Santos A. C., Duhamel C., Coco A. A. Intelligent Drone Swarms to Search for Victims in Post-Disaster Areas. Sensors. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/s23239540

[8] Robotko S., Gerasin O., Lesko A., Molchanov A., Lazorenko V., Telehin V. Improving UAV Assisted Spatial Monitoring with Semiautomated Fine Tuning of Vision Language Models. 16th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). Zlin, Czech Republic, 2026. P. 1551-1157. ISSN: 2770-5226.

APPLICATION OF AERIAL ROBOTS FOR SEARCH AND RESCUE OPERATIONS AT DESTROYED PORT FACILITIES

Dariev Artemii Serhiyovych, Kramarenko Roman Serhiyovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The features of using aerial robots for the inspection of destroyed port facilities are considered. The advantages and disadvantages of using UAVs for examining various port structures and adjacent water areas are analyzed. It has been determined that the effective use of UAVs in adverse weather conditions requires the development of modern, advanced control systems and their preliminary mathematical modeling.

Keywords: aerial robots, search and rescue operations, port infrastructure, UAV control systems.

УДК 681.5:621.865.8

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ШВИДКОДІЄЮ КЕРУВАННЯ ТРИЛАНКОВИМ ЗВАРЮВАЛЬНИМ МАНІПУЛЯТОРОМ

Єгоров О.П.,

аспірант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна, alex.yegorov@gmail.com

Анотація. Розроблено систему оптимального за швидкодією керування триланковим зварювальним маніпулятором на основі методу змінної структури зворотних зв'язків. Математична модель маніпулятора враховує гравітаційні моменти, які діють на ланки постійно. Отримано рівняння для розрахунку керуючих моментів приводів ланок, що забезпечує рух зі сталим прискоренням на відрізках розгону та гальмування,

і побудовано блок-схему системи керування. Імітаційне моделювання підтвердило оптимальне функціонування системи.

Ключові слова: зварювальний маніпулятор, оптимальне за швидкодією керування, змінна структура зворотних зв'язків, гравітаційні моменти.

Якість зварного шва залежить від точності позиціонування робочого інструменту, яка для промислових роботів оцінюється за ISO 9283 [1, с. 17–24]; при дуговому зварюванні відхилення положення дуги не повинно перевищувати ±0, мм [2, с. 157–166]. Метод оптимального за швидкодією керування зі змінною структурою зворотних зв'язків [3, с. 33–47; 4, с. 185–197] забезпечує максимальну швидкодію та аналітичну форму параметрів керування і був апробований для морських рухомих об'єктів [3, с. 33–47; 5, с. 61–76] та квадрокоптера [6, с. 1–10], а також для триланкового зварювального маніпулятора [7, с. 1–5]. Метою даної роботи є розробка системи оптимального за швидкодією керування триланковим зварювальним маніпулятором з урахуванням гравітаційних моментів і перевірка її функціонування імітаційним моделюванням.

Об'єктом дослідження є перші три ланки маніпулятора PUMA 560 [8, с. 77–83; 9, с. 193–228]; схват розглядається як безмасова точка на відстані 0,431 м від осі шарніра 3, ланки 4–6 (орієнтація схвата) не враховуються. Динаміка ланок описується рівнянням Лагранжа–Ейлера [8, с. 182–185; 10, с. 61]:

$$\boldsymbol{A}(\boldsymbol{q})\ddot{\boldsymbol{q}} = \boldsymbol{B}(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}})\dot{\boldsymbol{q}} + \boldsymbol{M} - \boldsymbol{G}(\boldsymbol{q}) \tag{1}$$

де $\boldsymbol{q} = [q_1, q_2, q_3]^T$ – вектор узагальнених координат (кутів повороту ланок); $\boldsymbol{A}(\boldsymbol{q})$ – матриця мас та інерції; $\boldsymbol{B}(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}})\dot{\boldsymbol{q}}$ – вектор моментів, що залежать від кутових швидкостей ланок і виникають через залежність $\boldsymbol{A}$ від кутів ланок; $\boldsymbol{M}$ – вектор керуючих моментів; $\boldsymbol{G}(\boldsymbol{q})$ – вектор гравітаційних моментів, які діють на ланки постійно – як під час руху, так і у стані спокою. Вісь шарніра 1 вертикальна, а кути q_2 і $q_2 + q_3$ відраховуються від горизонталі, тому висоти центрів мас ланок 2 і 3 дорівнюють $h_2 = r_2 \sin q_2$, $h_3 = a_2 \sin q_2 + r_3 \sin(q_2 + q_3)$, де r_i – відстань від осі шарніра i до центру мас ланки i; a_2 – довжина ланки 2. Гравітаційні моменти $G_i = \partial \Pi / \partial q_i$, де $\Pi = g(m_2 h_2 + m_3 h_3)$ – потенціальна енергія ланок, мають вигляд

$$G_1 = 0, \quad G_2 = (m_2 r_2 + m_3 a_2) g \cos q_2 + G_3, \quad G_3 = m_3 r_3 g \cos(q_2 + q_3), \tag{2}$$

де m_2, m_3 – маси ланок 2 і 3; g – прискорення вільного падіння. Для моделі прийнято $m_2 = 8{,}39$ кг, $m_3 = 2{,}28$ кг, $r_2 = 0{,}2P.$ м, $r_3 = 0{,}1P.$ м, $a_2 = 0{,}431P.$ м.

Згідно з методом оптимального за швидкодією керування зі змінною структурою зворотних зв'язків [3, с. 33–47; 4, с. 185–197] накладається умова

$$\dddot{\boldsymbol{q}} = 0, \tag{3}$$

що забезпечує рух зі сталим прискоренням $\pm\ddot{\boldsymbol{q}}_0$ на двох відрізках траєкторії – розгону та гальмування. Позначивши $\bar{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A}^{-1}$, розв'язавши (1) відносно $\ddot{\boldsymbol{q}}$, продиференціювавши результат за часом і підставивши в умову (3), отримуємо рівняння відносно керуючих моментів:

$$\bar{\boldsymbol{A}}\dot{\boldsymbol{M}} + (\dot{\bar{\boldsymbol{A}}} + \bar{\boldsymbol{A}}\boldsymbol{B}\bar{\boldsymbol{A}})\boldsymbol{M} = -\bar{\bar{\boldsymbol{A}}}\dot{\boldsymbol{q}} + (\dot{\bar{\boldsymbol{A}}} + \bar{\boldsymbol{A}}\boldsymbol{B}\bar{\boldsymbol{A}})\boldsymbol{G} + \bar{\boldsymbol{A}}\dot{\boldsymbol{G}}, \tag{4}$$

де $\bar{\bar{\boldsymbol{A}}} = \dot{\bar{\boldsymbol{A}}}\boldsymbol{B} + \bar{\boldsymbol{A}}\dot{\boldsymbol{B}} + (\bar{\boldsymbol{A}}\boldsymbol{B})^2$; $\dot{\boldsymbol{G}} = (\partial \boldsymbol{G} / \partial \boldsymbol{q})\dot{\boldsymbol{q}}$.

Момент перемикання $t_{\text{пер}}$ та прискорення $\ddot{\boldsymbol{q}}_0$ визначаються з граничних умов для кутів і швидкостей ланок у моменти 0 і T [7, с. 1–5]; для розглянутого прикладу з нульовими граничними швидкостями $t_{\text{пер}} = T/2$, $\ddot{\boldsymbol{q}}_0 = 4(\boldsymbol{q}_f - \boldsymbol{q}_0)/T^2$. Значення керуючих моментів на початку відрізків розгону та гальмування отримуємо з (1):

$$\boldsymbol{M}_0 = \boldsymbol{A}(\boldsymbol{q}_0)\ddot{\boldsymbol{q}}_0 - \boldsymbol{B}(\boldsymbol{q}_0,\dot{\boldsymbol{q}}_0)\dot{\boldsymbol{q}}_0 + \boldsymbol{G}(\boldsymbol{q}_0), \tag{5}$$

$$\boldsymbol{M}_{\text{пер}} = -\boldsymbol{A}(\boldsymbol{q}_{\text{пер}})\ddot{\boldsymbol{q}}_0 - \boldsymbol{B}(\boldsymbol{q}_{\text{пер}},\dot{\boldsymbol{q}}_{\text{пер}})\dot{\boldsymbol{q}}_{\text{пер}} + \boldsymbol{G}(\boldsymbol{q}_{\text{пер}}). \tag{6}$$

На блок-схемі системи керування (рис. 1) у момент перемикання $t_{\text{пер}}$ блок ключів перемикання (БКП) змінює $\boldsymbol{M}_0$ на $\boldsymbol{M}_{\text{пер}}$.

Імітаційне моделювання в MATLAB/Simulink виконано для перехідного процесу з $\boldsymbol{q}_0 = [0°, 0°, 0°]$ у $\boldsymbol{q}_f = [45°, -30°, 60°]$ за $T = 2$ с ($t_{\text{пер}} = 1$ с). Керуючі моменти розкладено згідно з (1) на складові:

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{A}(\boldsymbol{q})\ddot{\boldsymbol{q}} - \boldsymbol{B}(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}})\dot{\boldsymbol{q}} + \boldsymbol{G}(\boldsymbol{q}), \tag{7}$$

– інерційну $\boldsymbol{A}\ddot{\boldsymbol{q}}$, складову $-\boldsymbol{B}\dot{\boldsymbol{q}}$, що залежить від кутових швидкостей ланок, та гравітаційну $\boldsymbol{G}$ (рис. 2, табл. 1); оскільки $G_1 = 0$, на рис. 2 наведено лише ланки 2 і 3.

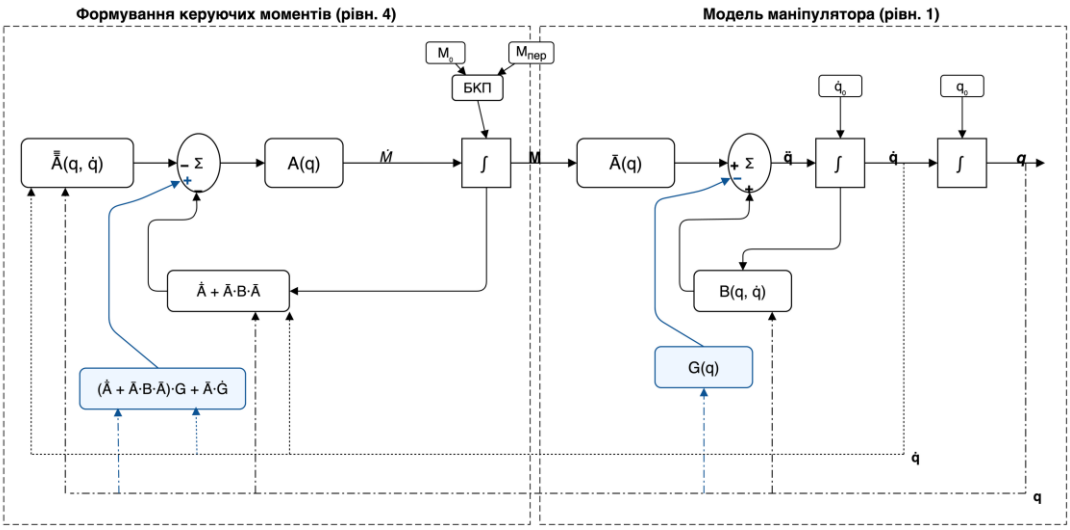


Рисунок 1 – Блок-схема системи оптимального керування маніпулятором

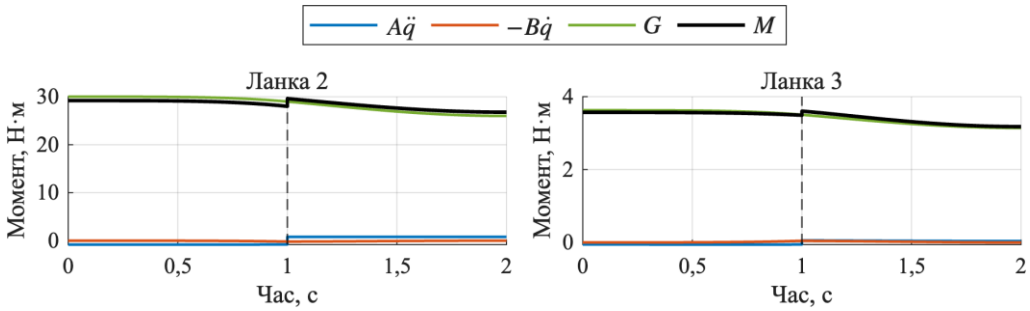


Рисунок 2 – Керуючі моменти ланок 2 і 3 та їхні складові

Таблиця 1 – Керуючі моменти у ключових точках траєкторії, Н·м

Точка	M_1	M_2	G_2	M_3	G_3
$t = 0$	2,02	29,20	30,02	3,57	3,63
$t_{\text{пер}}$ (до перемикання)	1,54	28,00	29,00	3,49	3,50
$t_{\text{пер}}$ (після перемикання)	−2,28	29,61	29,00	3,60	3,50
$t = T$	−1,66	26,78	26,00	3,18	3,14

Для ланок 2 і 3 при $T = 2$ с максимальна сума інерційної складової $\boldsymbol{A\ddot{q}}$ та складової $\boldsymbol{B\dot{q}}$ становить лише 3,3 % та 2,8 % від максимальної гравітаційної, тому моменти M_2 і M_3 зберігають знак протягом руху, а після його завершення приводи утримують ланки моментом $\boldsymbol{G(q_f)}$ (табл. 1).

Результати моделювання підтверджують оптимальне функціонування системи: на кожному відрізку прискорення ланок сталі (відхилення від $\pm\ddot{q}_0$ не перевищує $2 \cdot 10^{-8}$ рад/с²), а в момент T ланки досягають $\boldsymbol{q_f}$ з нульовою швидкістю і похибкою менше 10^{-7}°.

Висновки. Розроблено систему оптимального за швидкодією керування маніпулятором з урахуванням гравітаційних моментів на основі рівняння (4) та початкових значень (5), (6), оптимальне функціонування якої підтверджено імітаційним моделюванням. Подальші дослідження передбачають врахування динаміки приводів та побудову робастного коригуючого контуру з еталонною моделлю.

Література

[1] ISO 9283:1998. Manipulating industrial robots – Performance criteria and related test methods. – Geneva : ISO, 1998. – 60 p.

[2] Weman K. Mechanisation and robot welding // Welding Processes Handbook. – 2nd ed. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2012. – P. 157–166.

[3] Timchenko V. L., Ukhin O. A., Lebedev D. O. Optimization of nonlinear systems of variable structure for control of marine moving vehicles // Journal of Automation and Information Sciences. – 2017. – Vol. 49, Issue 7. – P. 33–47.

[4] Timchenko V. L., Lebedev D. O. Robust-optimal stabilization of nonlinear dynamic systems // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2019. – No. 3. – P. 185–197.

[5] Timchenko V. L. Optimization of programmed trajectories of moving object's stabilization based on a control system of variable structure // International Journal of Problems of Control and Informatics. – 2022. – No. 3. – P. 61–76.

[6] Timchenko V. L., Lebedev D. O. Optimization of processes of robust control of quadcopter for monitoring of sea waters // Journal of Automation and Information Sciences. – 2019. – Vol. 51, Issue 2. – P. 1–10.

[7] Єгоров О. П. Розробка алгоритму оптимального за швидкодією керування триланковим зварювальним маніпулятором // Сучасні проблеми автоматики та електротехніки : матеріали конф. – Миколаїв : НУК, 2026. – С. 1–5.

[8] Craig J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. – 3rd ed. – Upper Saddle River : Pearson, 2005. – 400 p.

[9] Corke P. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. – 2nd ed. – Cham : Springer, 2017. – 693 p.

[10] Невлюдов І., Євсєєв В., Максимова С., Артюх Р. Математична модель адаптивного ієрархічного високорівневого керування триланкового колаборативного робота-маніпулятора // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2025. – № 2 (32). – С. 58–68.

DEVELOPMENT OF A TIME-OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR A THREE-LINK WELDING MANIPULATOR

Iegorov Oleksandr Petrovych
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A time-optimal control system for a three-link welding manipulator is developed by the variable-structure feedback method. The model includes gravity torques acting on the links at all times. Joint control torque equations ensuring constant acceleration on each trajectory segment and the block diagram are derived. Simulation confirmed its optimal functioning; gravity torques make up most of the control torques of links 2 and 3.

Keywords: welding manipulator, time-optimal control, variable-structure feedback, gravity torques.

УДК 621.436:621.165

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДІВНИХ СИСТЕМАХ

Капура І.А.,
кандидат технічних наук,
завідувач кафедри Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем
ihor.kapura@nuos.edu.ua
Жувагіна І.О.,
кандидат економічних наук,
доцент кафедри Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем
Iryna.zhuvahina@nuos.edu.ua
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Первомайськ, Україна

Анотація. У статті розглянуто практичні аспекти впровадження сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР) та пакетів інженерного аналізу (CAE/FEM) під час розробки й модернізації теплоенергетичних об'єктів та теплосилового устаткування. На основі досвіду проєктування показано ефективність використання програмного забезпечення для чисельного моделювання газодинамічних процесів, температурних полів і напружено-деформованого стану в ключових вузлах енергетичних машин. Наведено приклади оптимізації геометрії лопаток і теплообмінних поверхонь за допомогою скінченно-елементних розрахунків. Зазначено, що такий підхід дає змогу суттєво скоротити цикл конструкторської підготовки, підвищити ККД установок та зменшити їхню матеріаломісткість.

Ключові слова: системи автоматизованого проєктування, теплоенергетика, скінченно-елементний аналіз, газотурбінні установки, термодинамічне моделювання, оптимізація.

Вступна частина. Розвиток сучасної теплоенергетики та енергомашинобудування нерозривно пов'язаний із постійним підвищенням вимог до паливної економічності, екологічності та надійності

обладнання. Через високу вартість палива та жорсткі екологічні нормативи перед інженерами щоразу постає завдання розробки високоефективних теплових машин, здатних стабільно працювати в умовах значних силових і температурних навантажень.

Проєктування таких систем – від потужних парових і газових турбін до локальних когенераційних модулів та котлів-утилізаторів – вимагає детального аналізу безлічі взаємопов'язаних процесів: від гідродинаміки до теплообміну та міцності. Використання традиційних підходів, що базуються переважно на спрощених розрахункових формулах та двовимірних кресленнях, уже не гарантує необхідної точності. Саме тому сьогодні критично важливо використовувати інтегровані середовища CAD/CAE/CAM-систем. Вони дозволяють об'єднати тривимірне проєктування із глибоким математичним моделюванням фізичних полів, переносячи значну частину випробувань із натурних стендів у віртуальний простір.

Мета. Головною метою цієї роботи є аналіз і систематизація практичного досвіду застосування сучасних САПР і пакетів скінченно-елементного аналізу задля оптимізації конструктивних та термодинамічних параметрів теплоенергетичного обладнання для покращення його загальної ефективності та ресурсу.

Основна частина. Процес створення енергетичних об'єктів охоплює кілька послідовних етапів, на кожному з яких комп'ютерне моделювання відіграє вирішальну роль. На першому етапі за допомогою спеціалізованих САПР (наприклад SolidWorks, Siemens NX або Autodesk Inventor) інженер створює детальну параметричну 3D-модель виробу. Це дозволяє оперативно вносити правки в геометрію проточної частини, опрацьовувати складні вузли та формувати конструкторську документацію згідно з чинними стандартами.

Наступний крок – віртуальні випробування за допомогою CAE-модулів (наприклад ANSYS, COMSOL Multiphysics, COSMOSWorks). У теплоенергетичних розрахунках можна виділити три основні напрямки:

1. **Гідродинамічне моделювання (CFD):** Дослідження характеру руху робочого середовища (пари, газів чи води) у проточних частинах турбін та колекторах. Чисельне вирішення рівнянь гідродинаміки допомагає знаходити зони з відривом потоку, оцінювати вихрові втрати та коригувати профіль лопаток для досягнення максимального ККД.
2. **Тепловий аналіз:** Розрахунок температурних полів у нагрітих елементах (роторах, корпусах циліндрів, трубах). Це дозволяє бачити температурні перепади, перевіряти ефективність систем охолодження та запобігати термічній втомі металу.
3. **Аналіз міцності (FEM/FEA):** Оцінка напружено-деформованого стану деталей під дією тиску, відцентрових сил та тепла. Побудова скінченно-елементної сітки дає змогу виявити небезпечні зони концентрації напружень і розрахувати ресурс обладнання.

Особливо ефективним є підхід багатодисциплінарної оптимізації (MDO), коли геометрія елемента змінюється автоматично на основі отриманих газодинамічних чи міцнісних даних. Таким чином, оптимізація форми робочої лопатки дозволяє знизити механічні напруження і водночас зменшити аеродинамічні втрати.

На практиці такий комплексний підхід дозволяє виявити слабкі місця конструкції ще на етапі ескізного проєктування, суттєво економлячи час та кошти на виготовлення дорогих дослідних зразків.

Висновки. Застосування сучасних систем автоматизованого проєктування та чисельного аналізу є необхідною умовою для випуску конкурентоспроможного енергетичного обладнання. Тісна інтеграція CAD та CAE комплексів гарантує точність розрахунків складних процесів, допомагає покращувати масогабаритні показники та надійність установок. У перспективі цей напрямок розвиватиметься завдяки впровадженню сучасних алгоритмів для пошуку найкращих конструкторських рішень.

Література

[1] Швець І. С., Бойко О. В. Основи проєктування та моделювання енергетичного обладнання. – Київ: Видавничий дім «Корбут», 2018. – 28 с.

[2] Баженов В. А., Гоцуляк Є. О., Шишова М. В. Метод скінченних елементів у задачах динаміки та міцності конструкцій. – Київ: КНУБА, 2015. – 32 с.

[3] Ноздріна Л. В., Ящук В. І., Полотай О. І. Управління проєктами: Підручник / За заг. ред. Л. В. Ноздріної. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 43 с.

[4] Письменний О. М., Петренко А. В. Чисельне моделювання гідрогазодинамічних процесів у теплоенергетичних установках. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 24 с.

[5] Третяк В. П., Ковальчук М. І. Основи комп'ютерного інженерного аналізу в машинобудуванні. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 29 с.

THE USE OF COMPUTER-AIDED DESIGN AND FINITE ELEMENT ANALYSIS SYSTEMS IN HEAT POWER ENGINEERING AND ENERGY MECHANICAL ENGINEERING

Kapura I.A., Zhuvahina I.O.
Admiral Makarov National Shipbuilding University, Pervomaysk Educational and Scientific Institute

Abstract. This paper examines topical issues regarding the application of modern computer-aided design (CAD) systems and computer-aided engineering (CAE/FEM) analysis packages in the design and modernization of heat power engineering facilities and thermal power plants. The efficiency of software suites for numerical simulation of gas-dynamic, thermodynamic, and stress-strain states in key elements of power equipment is demonstrated. Practical results of optimizing the geometry of turbine blades and heat exchangers using finite element analysis methods are presented. The proposed approach significantly reduces the design preparation cycle, increases the overall efficiency of power units, and decreases structural material consumption.

Keywords: computer-aided design, heat power engineering, finite element analysis, gas turbine plants, thermodynamic modeling, optimization.

УДК 629.5.015:681.532

РОБОТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ В СУДНОБУДУВАННІ ТА СУДНОРЕМОНТІ

Капура І.А.,
[1]кандидат технічних наук,
завідувач кафедри Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем
ihor.kapura@nuos.edu.ua
Жувагіна І.О.,
кандидат економічних наук,
доцент кафедри Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем
Iryna.zhuvahina@nuos.edu.ua
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Первомайськ, Україна

Анотація. У статті досліджено поточний стан та перспективи інтеграції робототехнічних комплексів і систем автоматизації у виробничі процеси суднобудівних підприємств і судноремонту. Розглянуто основні напрямки модернізації виробництва, зокрема використання багатоосьових маніпуляторів для зварювальних робіт, мобільних платформ для неруйнівного контролю та фарбування корпусів. Наведено результати, які підтверджують доцільність застосування робототехніки для підвищення точності збирання великогабаритних конструкцій, покращення безпеки праці й зменшення загальної трудомісткості. Описано досвід поєднання програмованих контролерів і віртуальних кінематичних моделей у практичній підготовці фахівців.

Ключові слова: робототехніка, суднобудування, автоматизовані маніпулятори, зварювальні комплекси, скінченно-елементне моделювання, судноремонт.

Вступна частина. Суднобудівна галузь завжди вважалася однією з найскладніших і найбільш трудомістких у машинобудуванні. Процес створення корпусу, монтаж енергетичних систем, прокладання тисяч метрів кабелів і труб вимагають ювелірної точності часто в обмеженому просторі стапелів. Класичні ручні методи збирання та зварювання металоконструкцій сьогодні вже не встигають за вимогами ринку щодо продуктивності та стабільної якості.

На тлі глобального переходу до індустріальних концепцій на кшталт «Верфі 4.0» впровадження робототехніки й комп'ютерних симуляторів стає необхідністю. Роботизовані комплекси дозволяють зняти навантаження з людини на найскладніших та найнебезпечніших ділянках (наприклад, при стельовому зварюванні чи абразивному очищенні), мінімізуючи вплив людського фактору та забезпечуючи стабільно високу якість швів на всіх етапах будівництва судна.

Мета. Основною метою роботи є вивчення та узагальнення передового досвіду застосування робототехнічних систем і маніпуляторів у суднобудуванні й судноремонті з метою підвищення ефективності збирання корпусних конструкцій та оптимізації виробничих витрат.

Основна частина. Будь-яке судно починається з цехів металообробки та виготовлення секцій. Сучасні верфі активно автоматизують ці процеси за кількома ключовими напрямками:

1. **Роботизовані комплекси для різання та зварювання:** Зварювання листового металу, набору та балок виконується промисловими роботами (наприклад KUKA, ABB, Fanuc), які додатково оснащуються лазерними сенсорами для відстеження шва в реальному часі. Це дозволяє автоматично компенсувати температурні деформації товстого металу.
2. **Мобільні роботизовані платформи:** Корпуси суден періодично потребують очищення та оновлення захисних покриттів. Використання магнітних або вакуумних мобільних роботів, що переміщаються вертикальними стінками в доках, повністю позбавляє потреби ризикувати здоров'ям людей і забезпечує рівномірне нанесення фарби.
3. **Використання САПР та середовищ моделювання (RoboDK):** Перед тим як запустити програму на реальному роботі, технологи виконують симуляцію процесу у віртуальному середовищі. Це допомагає розрахувати траєкторії інструменту, перевірити робочі зони маніпуляторів та уникнути зіткнень з оснащенням.
4. **Контроль якості:** Інтеграція ультразвукових та оптичних датчиків безпосередньо в робочі органи роботів дає можливість перевіряти зварні шви «на ходу», оперативно виявляючи мікродефекти.

Додатково варто зазначити важливість інтеграції мікроконтролерів (наприклад Arduino, STM32) із виконавчими механізмами в навчальних лабораторіях. Це дозволяє майбутнім інженерам на практиці освоювати принципи керування автоматизованим обладнанням через стандартні інтерфейси зв'язку.

Висновки. Впровадження роботів у суднобудівну галузь є запорукою конкурентоспроможності підприємств. Автоматизація зварювальних, малярних та контрольних операцій на базі сучасних САПР дозволяє суттєво зменшити терміни робіт та підвищити надійність суден. Подальший розвиток цього напрямку неминуче пов'язаний із повним переходом на автономні системи з елементами штучного інтелекту.

Література

[1] Бровман М. Й. Автоматизація та робототехніка в суднобудівному виробництві. – Миколаїв: НУК ім. адмірала Макарова, 2019. – 23 с.

[2] Павлов В. М., Сидорчук О. В. Промислові роботи та маніпулятори в машинобудуванні і суднобудуванні. – Одеса: Фенікс, 2021. – 27 с.

[3] Зайцев Г. М., Гончаров О. С. Проєктування технологічних процесів у суднобудуванні за допомогою САПР. – Миколаїв: Видавництво ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. – 31 с.

[4] Ковальов С. А., Мельник Т. В. Роботизоване зварювання суднових корпусні конструкцій. – Харків: Світ книги, 2020. – 19 с.

[5] Шевченко М. О., Іванов Д. П. Системи автоматизованого керування судновими технологічними комплекси. – Херсон: Олді-плюс, 2022. – 24 с.

Robotic Technologies and Automated Complexes in Shipbuilding and Ship Repair

Kapura I.A., Zhuvahina I.O.

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Pervomaysk Educational and Scientific Institute

Abstract. This paper analyzes the current state and prospects for the implementation of robotic complexes and computer-aided design systems in the process of shipbuilding and ship repair. Key areas of automation in shipbuilding production are considered, including the use of manipulators for welding hull structures, non-destructive testing systems based on mobile platforms, and additive technologies. The efficiency of using robotics to increase the manufacturing accuracy of large-sized components, improve working conditions, and reduce the overall labor intensity of operations is demonstrated. The experience of integrating programmable controllers and kinematic models into the shipyard production process is described.

Keywords: robotics, shipbuilding, automated manipulators, welding complexes, finite element modeling, ship repair.

УДК 004.942:004.384

СУЧАСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ СИСТЕМ

Костенко Д.В.,
к.т.н., доц.
Зав. каф. Електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
dmi.kostenko@gmail.com
Трибулькевич С.Л.,
ст. викладач кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Lynx.tsl@gmail.com
Трибулькевич В.В.,
пров. фахівець кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Vika.trybulkevich@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна

Анотація. питання впровадження віртуального прототипування та симуляції мікроконтролерних систем у навчальний процес підготовки фахівців. Проведено порівняльний аналіз традиційного макетування та віртуального моделювання, де показано переваги використання програмних моделей для зниження матеріальних витрат, виключення ризику пошкодження обладнання внаслідок помилок здобувачів освіти та забезпечення віддаленого доступу до навчальних матеріалів у хмарі. Детально розглянуто спектр програмних інструментів, орієнтованих на різні освітні рівні: від засобів для STEM-освіти й початківців (Tinkercad, Ayantrik) до професійних симуляційних комплексів для закладів вищої освіти (Proteus VSM, Wokwi, SimulIDE). Також висвітлено інтеграцію симуляторів із середовищами розробки (Atmel Studio, Flowcode, MPLAB IDE), що сприяє ефективному формуванню практичних навичок програмування та відлагодження коду.

Ключові слова. Мікроконтролерні системи, віртуальне прототипування, навчальний процес, STEM-освіта, симуляція, Proteus VSM, Tinkercad Circuits, Wokwi, Ayantrik, інтегровані середовища розробки (IDE).

Мета. Обґрунтування доцільності та аналіз ефективності використання інструментів віртуального моделювання й прототипування мікроконтролерних пристроїв у навчальному процесі, а також систематизація та порівняння сучасних симуляційних платформ (Proteus VSM, Wokwi, Tinkercad Circuits, Ayantrik) за критеріями їхньої придатності для здобувачів освіти різних рівнів та викладачів

Основна частина. Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується тотальною інтеграцією мікропроцесорних систем у промислове обладнання, транспортні засоби та побутові пристрої. Мікропроцесорна система за своєю суттю є функціонально та конструктивно завершеним виробом, що будується на базі мікропроцесора або мікроконтролера та призначений для отримання, аналітичної обробки, перетворення та передачі інформаційних потоків. Використання мікропроцесорного підходу значно спрощує загальну апаратну архітектуру кінцевих пристроїв, оскільки один кристал здатний виконувати функції цілого спектра аналогових і цифрових дискретних компонентів.

Традиційний підхід до проєктування, що спирається на тривале виготовлення та ручне тестування фізичних макетів, у сучасних реаліях стрімкого скорочення життєвого циклу виробів стає дедалі менш конкурентоспроможним. Фізичне прототипування супроводжується значними часовими та матеріальними витратами, а виправлення помилок на етапі готової друкованої плати може вимагати повної перебудови схемотехніки. Більше того, традиційні розрахунки вручну мають серйозні обмеження та не дозволяють повноцінно оптимізувати параметри складних систем.

Віртуальне прототипування базується на використанні програмних моделей (виконуваних образів апаратної частини), що запускаються на хост-системі. Віртуальний прототип забезпечує бінарну сумісність з реальними мікросхемами, що дозволяє виконувати повністю немодифіковані бінарні коди всього програмного стеку – від низькорівневих драйверів та операційних систем реального часу (RTOS) до проміжного ПЗ та прикладних алгоритмів користувача. Це створює умови для впровадження концепцій швидкої ітеративної розробки та безперервної інтеграції (CI) задовго до готовності реальної апаратної плати.

Ринок програмного забезпечення для моделювання мікроконтролерних систем пропонує широкий вибір рішень, кожне з яких орієнтоване на певний рівень складності проєктів та специфічні інженерні завдання.

Proteus VSM від Labcenter Electronics є комерційним програмним комплексом класу EDA (Electronic Design Automation), що поєднує графічний редактор схем ISIS, симулятор змішаних аналого-цифрових сигналів на базі ядра SPICE та модуль проєктування друкованих плат ARES. Proteus дозволяє здійснювати

спільне моделювання (ко-симуляцію) складних систем, які можуть містити кілька мікроконтролерів одночасно, навіть різних архітектурних сімейств.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика засобів відлагоджения

Характеристика	Віртуальне моделювання	Традиційне фізичне прототипування
Економічна ефективність	Низькі довгострокові витрати, відсутність потреби у закупівлі проміжних радіодеталей	Високі ітераційні витрати на матеріали, монтажні плати та ручну працю
Швидкість розробки	Миттєве внесення змін у схему та код, прискорення виходу пристрою на ринок (TTM)	Тривалий цикл очікування постачання компонентів, монтажу та трасування друкованих плат
Глибина відлагодження	Повна видимість внутрішніх регістрів, пам'яті, можливість точкової інжекції збоїв у реальному часі	Обмежене тестування через зовнішні контакти та апаратні JTAG/SWD інтерфейси
Глобальна доступність	Можливість миттєвого поширення цифрових проєктів між командами у хмарі	Фізична прив'язка до лабораторії, логістичні затримки при транспортуванні макетів
Ризик пошкодження обладнання	Відсутній; критичні помилки коду не викликають коротких замикань або теплового руйнування	Високий; перевантаження за струмом або неправильний монтаж призводять до виходу компонентів з ладу
Врахування паразитних факторів	Обмежене спрощеними математичними моделями та ідеалізованим середовищем симуляції	Повне; тестування відбувається в реальних умовах з урахуванням завад, нагріву та паразитних ємностей

Налагодження програмного коду в Proteus виконується шляхом завантаження скомпільованого .hex або .elf файлу безпосередньо у віртуальну пам'ять моделі мікроконтролера через меню редагування його властивостей (параметр Program File). Керування симуляцією здійснюється за допомогою спеціальної панелі, розташованої в лівому нижньому кутку інтерфейсу програми. Панель містить команди початку симуляції (Play), покрокового виконання з фіксованим часовим кроком (Step, що налаштовується в опціях анімації меню System), тимчасового зупинення (Pause) та повного стопу (Stop). Proteus є професійним інструментом, проте він вимагає значних фінансових витрат на ліцензування та розроблений виключно під операційну систему Windows.

Wokwi представляє новий клас хмарних симуляторів, орієнтованих на швидку розробку та Інтернет речей (IoT). Він працює безпосередньо у браузері та фокусується на точній симуляції цифрової поведінки мікроконтролерів сімейств ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico та класичних плат Arduino.

Унікальною властивістю Wokwi є симуляція бездротового мережевого трафіку Wi-Fi та протоколу MQTT. Віртуальна плата ESP32 здатна взаємодіяти із зовнішнім світом через реальну мережу інтернет: виконувати HTTP-запити до веб-інтерфейсів API, синхронізувати час через NTP та передавати телеметрію на хмарні сервери, такі як Blynk.

Симулятор підтримує інтеграцію із середовищем VS Code для локального виконання та надає можливості відлагодження через протокол GDB і зняття часових діаграм цифрових шин за допомогою логічного аналізатора PulseView. Недоліком є відсутність повноцінного SPICE-моделювання аналогових схем та обмежений вибір дискретних радіодеталей.

Цей безкоштовний браузерний інструмент від компанії Autodesk розроблений переважно для STEM-освіти та початківців. Він пропонує тривимірну візуалізацію макетних плат, підтримує базові плати Arduino Uno та Nano, а також дозволяє створювати керуючий алгоритм за допомогою візуальних блоків (Block Coding) із паралельним генеруванням відповідного C++ коду. Важливою перевагою Tinkercad є його інтеграція із середовищем 3D-моделювання, що спрощує комплексну розробку корпусів для створюваної електроніки. Однак середовище не підтримує складні мікроконтролери та аналогове SPICE-моделювання.

Для специфічних завдань розробники використовують інші інструменти. Платформа Ayantrik орієнтована на навчальні заклади та пропонує інтерактивну систему керованого навчання електроніці безпосередньо у браузері. Для локального легковагового моделювання використовуються утиліти SimulIDE та UnoArduSim, які не потребують значних ресурсів ПК та забезпечують швидку симуляцію логіки роботи. Професійне проєктування та трасування плат з можливістю базової симуляції також реалізовано в середовищах EasyEDA та Virtual Breadboard.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика середовищ моделювання

Критерій порівняння	Proteus VSM	Wokwi	Tinkercad Circuits	Ayantrik
Формат виконання	Локальне ПЗ (Windows)	Браузерне / VS Code	Браузерне	Браузерне
Основні мікросхеми	AVR, PIC, ARM, STM32, MCS-51	ESP32, STM32, RP2040, Arduino	Arduino Uno, Nano	Arduino Uno
Аналогова симуляція	Повне SPICE-ядро	Відсутнє	Спрощене	Спрощене
Мережеві функції	Емуляція портів	Симуляція Wi-Fi та MQTT	Відсутні.	Відсутні
Цільова категорія	Інженери, ВНЗ	Професійні розробники, мейкери	Школярі, студенти	Викладачі, студенти
Ліцензія	Комерційна (платна)	Безкоштовна / Shareware	Безкоштовна	Комерційна / Освітня

Ефективна розробка мікроконтролерних систем вимагає інтеграції симуляційних платформ із сучасними інструментальними середовищами розробки програмного забезпечення (IDE) та компіляторами. Процес створення прошивки традиційно виконується з використанням спеціалізованих інструментів, що підтримують асемблерні компілятори та компілятори високорівневої мови С:

AVR Studio (Atmel Studio / Microchip Studio) це інтегроване середовище розробки для програмування мікроконтролерів сімейств AVR та SAM. Воно містить вбудований симулятор MPSIM для покрокового відлагодження коду.

FLOWCODE як середовище графічного програмування, яке дозволяє створювати алгоритми роботи МК у вигляді блок-схем, що полегшує проєктування для фахівців без глибоких знань синтаксису мов програмування.

MPLAB IDE – середовище для розробки програмного забезпечення мікроконтролерів сімейства PIC та Atmel.

CODESYS – спеціалізований програмний інструмент, що використовується для програмування промислових програмованих логічних контролерів (ПЛК), підтримуючи стандартизовані мови.

Іншим практичним моментом є розробка систем автоматичного температурного контролю у приміщеннях на базі мікроконтролера ESP32 та хмарної платформи Blynk. Моделювання системи дозволило оптимізувати алгоритми ПІД-регулювання температури та верифікувати інтерфейс віддаленого моніторингу через мобільний додаток до створення фізичної плати.

Висновки. Застосування віртуального прототипування повністю усуває ризик пошкодження радіодеталей через помилки в схемотехніці чи коді та суттєво зменшує матеріальні витрати навчальних закладів на закупівлю лабораторного обладнання й макетів. Для досягнення максимального педагогічного ефекту доцільно підбирати симулятори відповідно до рівня підготовки: Tinkercad та Ayantrik є оптимальними для школярів і початківців завдяки візуальному блочному програмуванню та керованому навчанню; Wokwi дозволяє швидко опанувати роботу з IoT-пристроями й бездротовими мережевими протоколами (ESP32, Wi-Fi, MQTT); а Proteus VSM слугує базовим інструментом для студентів ВНЗ завдяки глибокому SPICE-моделюванню й повному аналізу регістрів.

Поєднання симуляційних платформ зі спеціалізованими IDE (Atmel Studio, CodeVisionAVR, Flowcode, MPLAB) дозволяє здобувачам освіти опанувати повний цикл розробки – від побудови алгоритмів у вигляді блок-схем до написання прошивок мовою С та підготовки друкованих плат.

Попри високу ефективність і зручність віртуальних моделей, повноцінна підготовка фахівців повинна передбачати підсумкову верифікацію розроблених рішень на реальних фізичних налагоджувальних платах із контрольно-вимірювальними приладами.

Література

[1] Virtual Prototyping vs. Traditional Product Development Methods – Altium, https://files.resources.altium.com/sites/default/files/uberflip_docs/file_963.pdf

[2] Better Decisions Earlier: The Real Value of Simulation-Led Engineering | Keysight Blogs, https://www.keysight.com/blogs/en/tech/sim-des/better-decisions-earlier-the-real-value-of-simulation-led-engineering

[3] Best MCU Simulation Software – Pallav Aggarwal, https://pallavaggarwal.in/2022/07/17/mcu-simulation-softwares/

[4] Best Arduino Simulator Tools: Tinkercad vs Wokwi vs Proteus – Zbotic, https://zbotic.in/best-arduino-simulator-tools-tinkercad-vs-wokwi-vs-proteus/

[5] Virtual Models Hold Their Own to Physical Prototypes – ASME, https://www.asme.org/topics-resources/content/virtual-prototypes-are-getting-so-good-they-can-eliminate-physical-ones

[6] Comparison of the best online and offline Arduino simulators – Hardware libre, https://en.hwlibre.com/Comparison-of-the-best-online-and-offline-Arduino-simulators/

[7] The 9 Best Arduino Simulators to Save You Time and Money – All3DP, https://all3dp.com/2/best-arduino-simulators-online-offline/

[8] Application of Proteus Virtual System Modelling (VSM) in teaching of microcontroller, https://www.researchgate.net/publication/224150831_Application_of_Proteus_Virtual_System_Modelling_VSM_in_teaching_of_microcontroller

MODERN SIMULATION OF MICROCONTROLLER SYSTEMS

Dmytro Kostenko, Serhii Trybulkevych, Viktoriia Trybulkevych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Keywords. Microcontroller systems, virtual prototyping, educational process, STEM education, simulation, Proteus VSM, Tinkercad Circuits, Wokwi, Ayantrik, integrated development environments (IDEs).

Abstract. The article addresses the implementation of virtual prototyping and simulation of microcontroller systems into the educational process for training specialists. A comparative analysis of traditional hardware prototyping and virtual simulation was conducted, demonstrating the advantages of software models in reducing material costs, eliminating the risk of equipment damage caused by student errors, and enabling remote cloud access to learning materials. A range of software tools tailored to various educational levels is reviewed in detail: from tools for STEM education and beginners (Tinkercad, Ayantrik) to professional simulation packages for higher education institutions (Proteus VSM, Wokwi, SimulIDE). The integration of simulators with development environments (Atmel Studio, Flowcode, MPLAB IDE) is also highlighted, fostering the effective development of practical programming and code debugging skills.

УДК 004.056:004.738.5

АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ВІДДАЛЕНИХ РОБОЧИХ МІСЦЬ НА БАЗІ ПРОТОКОЛУ RDP

Сірівчук А.С.,
к.т.н., доц.
доцент кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
andrii.sirivchuk@nuos.edu.ua
Трибулькевич С.Л.,
ст. викладач кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
sergiy.trybulkevich@nuos.edu.ua
Трибулькевич В.В.,
пров. фахівець кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Vika.trybulkevich@nuos.edu.ua
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі проаналізовано проблеми забезпечення кібербезпеки віддалених робочих місць суб'єктів малого бізнесу (SMB) в умовах розширення периметра атак та переходу до гібридного формату роботи. Визначено, що протокол віддаленого робочого столу (RDP) залишається основним інструментом віддаленого доступу та водночас головним вектором початкового проникнення під час розгортання шифрувальників Ransomware. Детально розглянуто ключові технічні механізми компрометації RDP, серед яких: підбір паролів (brute-force), експлуатація застарілих вразливостей, атаки Pass-the-Hash та перехоплення активних сесій. Досліджено використання платформи T-Pot (з модулями Heralding, RDPY, rdphoneypot) для побудови ізольованого дослідно-аналітичного стенду. Наведено емпіричні дані щодо інтенсивності атак одразу після публікації порту 3389, а також розподіл джерел за географічним походженням та IP-адресами. Обґрунтовано превентивні заходи кіберзахисту, включаючи скасування прямої публікації порту 3389, впровадження MFA, NLA, використання VPN та мережеву сегментацію.

Ключові слова. Remote Desktop Protocol (RDP), малий бізнес (SMB), вразливості, кібербезпека, Ransomware (програми-вимагачі), децептивні технології, Honeypot, T-Pot, brute-force, NLA, MFA.

Мета. Комплексний аналіз вразливостей і векторів компрометації служби віддаленого робочого столу (RDP) в інфраструктурі малого бізнесу, а також розробка й практична апробація стенду на базі системи T-Pot для збору індикаторів компрометації (Threat Intelligence) та формування випереджувальних бар'єрів кіберзахисту

Основна частина. Трансформація бізнес-моделей та масовий перехід до гібридного й віддаленого формату роботи суттєво розширили периметр атак організацій малого та середнього бізнесу (SMB). На відміну від великих корпоративних підприємств, які володіють розгалуженими підрозділами кібербезпеки та центрами моніторингу (SOC), суб'єкти малого бізнесу часто стикаються з дефіцитом ресурсів. Це призводить до систематичних компромісів між зручністю адміністрування та захищеністю інформаційної інфраструктури.

Основним інструментом забезпечення віддаленого адміністрування та доступу працівників до корпоративних ресурсів залишається протокол віддаленого робочого столу – Remote Desktop Protocol (RDP). Пряма публікація RDP-серверів у глобальній мережі Інтернет без використання захищених шлюзів або компенсаційних заходів безпеки створює критичні точки вразливості. Дослідження показують, що компрометація RDP є одним із найпоширеніших векторів початкового проникнення (Initial Access Vector) під час реалізації атак із застосуванням вимагацького програмного забезпечення (Ransomware). У 50 % задокументованих випадків розгортання шифрувальників RDP слугував первинною точкою входу в мережу.

Брокери здійснюють тотальне автоматизоване сканування IPv4-простору, виявляють відкриті порти RDP (стандартний порт 3389), здійснюють первинний підбір облікових даних або експлуатацію відомих вразливостей і продають отриманий доступ на тіньових форумах. Налічується понад 1, мільйона пристроїв у світі з публічно відкритим портом 3389, що створює розгалужену базу потенційних мішеней. Далі оператори партнерських програм Ransomware-as-a-Service (RaaS), такі як LockBit, BlackCat (ALPHV), Hive, BianLian, Medusa та Royal, купують цей доступ для подальшого просування всередині мережі.

Протокол RDP, розроблений компанією Microsoft у 1998 році та інтегрований у систему Windows XP Professional у 2001 році для централізації системного управління, розрахований на передачу графічного інтерфейсу та команд введення через мережевий транспорт. Незважаючи на появу в 2008 році компонента Remote Desktop Gateway (RD Gateway), який дозволяє тунелювати RDP-трафік через HTTPS на порту 443, базова конфігурація багатьох систем малого бізнесу залишається вразливою через використання відкритого порту 3389 без застосування VPN або багаторазової автентифікації.

За відсутності політик блокування облікових записів після кількох невдалих спроб входу, відкритий порт RDP стає об'єктом високошвидкісних атак підбору паролів. Для цього використовуються спеціалізовані утиліти, такі як NLBrute, Crowbar та Hydra, що здатні генерувати мільйони запитів за хвилину через розподілені ботнети. Паралельно застосовуються витоки баз даних паролів для реалізації атак типу Credential Stuffing та Password Spraying.

Застарілі версії операційних систем Windows або відсутність регулярного встановлення оновлень безпеки дозволяють проводити атаки без потреби у володінні обліковими даними. Найбільш висвітленим прикладом є вразливість BlueKeep (CVE-2019-0708) у службах Remote Desktop Services, яка дозволяє неавтентифікованому зловмиснику виконати довільний код на рівні SYSTEM шляхом надсилання спеціально сформованих TPKT/RDP-запитів. Подібні червоподібні (wormable) вразливості дозволяють атакційним скриптам автоматично поширюватися між вразливими вузлами мережі.

Після отримання первинного доступу з обмеженими правами зловмисники використовують системні утиліти для підвищення привілеїв та перехоплення існуючих автентифікованих сесій інших користувачів. Застосування системного інструменту tscon.exe дозволяє підключитися до активної або призупиненої сесії адміністратора без повторного введення пароля за наявності привілеїв SYSTEM.

У складних атаках застосовуються техніки RDP Pass-the-Hash за допомогою інструментів Mimikatz або xfreerdp. Це стає можливим за активованого режиму Restricted Admin Mode або при некоректній конфігурації Credential Security Support Provider (CredSSP) та Network Level Authentication (NLA), що дозволяє використовувати NT-хеш пароля для автентифікації без знання текстового пароля. Крім того, використання додаткових веб-компонентів RDP, таких як RD Web Access та RDP Web Client, піддається атакам перерахування користувачів на основі аналізу часових затримок відповідей сервера при спробах входу.

Нижче наведено порівняльний аналіз ключових механізмів компрометації RDP, що використовуються в атакційних кампаніях проти малого бізнесу.

Для завчасного виявлення підготовки до атак, вивчення актуальних тактик зловмисників та збору оперативно-значущої інформації (Threat Intelligence) застосовуються децептивні технології (Deception Technologies) – системи-пастки (Honeypots). Оскільки система-пастка не має легітимного призначення в бізнес-процесах, будь-яка взаємодія з нею за замовчуванням вважається аномальною або зловмисною.

Однією з найефективніших відкритих платформ для розгортання децептивної інфраструктури є програмний комплекс T-Pot, розроблений компанією Deutsche Telekom Security. T-Pot є модульною платформою на базі дистрибутиву Debian Linux, яка об'єднує понад 20 окремих хоніпотів у Docker-контейнерах, керованих через docker-compose, а також аналітичний стек Elastic Stack (Elasticsearch, Logstash, Kibana).

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз ключових механізмів компрометації RDP

Вектор атаки	**Використовуваний інструментарій**	**Технічний механізм компрометації**	**Групи загроз / Ransomware**
Brute-Force / Password Spraying	NLBrute, Crowbar, Hydra, Medusa	Масовий перебір комбінацій логінів та паролів через відкритий порт 3389 без обмеження спроб	LockBit, BlackCat, Medusa
Експлуатація вразливостей (RCE)	Metasploit, кастомні експлойти для BlueKeep	Дистанційне виконання коду у kernel-просторі через маніпуляцію структурою TPKT/RDP-запитів (CVE-2019-0708)	Автоматизовані ботнети, Worms
Pass-the-Hash (PtH)	Mimikatz, xfreerdp	Автентифікація в RDP за допомогою NTLM-хешу через режим Restricted Admin Mode	Targeted APT, Scattered Spider
Session Hijacking	Системна утиліта tscon.exe	Перехоплення активної сесії іншого користувача або адміністратора без введення пароля	BianLian, Royal
RD Web Timing Attacks	Скрипти перерахування, Burp Suite	Визначення наявності облікових записів за різницею у часі обробки запиту сервером RD Web	Початкові брокери доступу (IAB)

Основним принципом безпеки T-Pot є жорсткий розподіл публічної поверхні атак та інтерфейсу управління. Всі контейнери-пастки слухають на зовнішній мережевій IP-адресі, де правила iptables перенаправляють (DNAT) вхідний трафік з діапазону портів 1–64000 до відповідних Docker-контейнерів. Разом з тим, веб-інтерфейс управління, стек Elastic (Elasticsearch, Kibana), консоль Cockpit та SSH-доступ прив'язані до захищеного мережевого інтерфейсу (наприклад, WireGuard) і використовують нестандартні порти (зокрема SSH на порту 64295), що виключає перетин публічної та адміністративної поверхонь.

У складі T-Pot функціонує декілька спеціалізованих контейнерів для емуляції та фіксації RDP-атак. Модуль Heralding є хоніпотом низького рівня взаємодії (Low-Interaction), призначеним для збору облікових даних під час атак методом brute-force. Він підтримує емуляцію RDP разом із протоколами POP3, IMAP, SMTP, PostgreSQL та VNC, фіксуючи пари «логін-пароль». Модуль RDPY є Python-реалізацією протоколу RDP, яка емулює первинні етапи рукостискання (Handshake), узгодження режимів безпеки (RDPSec, SSL, Hybrid) та збирає інформацію про параметри клієнтського підключення. Контейнер rdphoneypot реалізує спеціалізовану емуляцію RDP-сервера, відтворюючи інтерфейс входу Windows, фіксуючи спроби підключення, збираючи згенеровані TLS-сертифікати та аналізуючи RDP-пакети.

На рис. 1 наведено архітектуру дослідницького стенду, побудованого для збору даних про атаки на віддалені робочі місця малого бізнесу. Атакуючий із зовнішньої мережі (інтернету) взаємодіє з маршрутизатором, на якому налаштовано проброс порту 3389 (стандартний порт протоколу RDP). Замість реального робочого місця цей порт спрямовано на пастку T-Pot – ізольовану віртуальну машину, що емулює вразливі служби за допомогою кількох пасток-приманок (Cowrie, Dionaea, RDPY). Усі спроби підключення, автентифікації та подальші дії атакуючого фіксуються та передаються до модуля аналізу, який агрегує журнали подій і формує панель спостереження. Доступ до результатів аналізу здійснюється виключно через захищений канал. Ключовим елементом схеми є ізоляція робочої мережі підприємства: вона не має прямого маршруту з інтернету і фізично/логічно відокремлена від сегмента з пасткою, що унеможливлює компрометацію реальної інфраструктури в разі успішної атаки на приманку.

На рис. 2 представлено інтерфейс панелі моніторингу T-Pot Attack Map одразу після розгортання стенду. Вже за першу годину після публікації порту 3389 в мережі зафіксовано 1082 спроби підключення – така швидкість реакції вказує не на випадкове сканування адресного простору, а на цілеспрямоване звернення до вже відомого (скомпрометованого) хоста: IP-адреса, ймовірно, потрапила до баз даних сканерів на кшталт Shodan або Censys ще до розгортання пастки, тож атакуючі зверталися саме до неї, а не перебирали діапазон навмання. У блоці "Live Feed" відображається журнал підключень із зазначенням часу, IP-адреси джерела, країни походження, типу пастки (RDPHoneypot), протоколу (RDP) та цільового порту (3389). Наведені дані ілюструють лише початковий зріз.

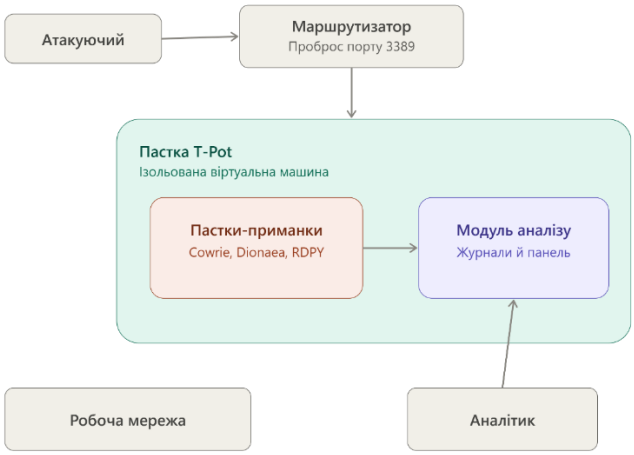


Рисунок 1 – Схема стенду для аналізу атак на службу віддаленого робочого стола (RDP) з використанням системи-пастки T-Pot

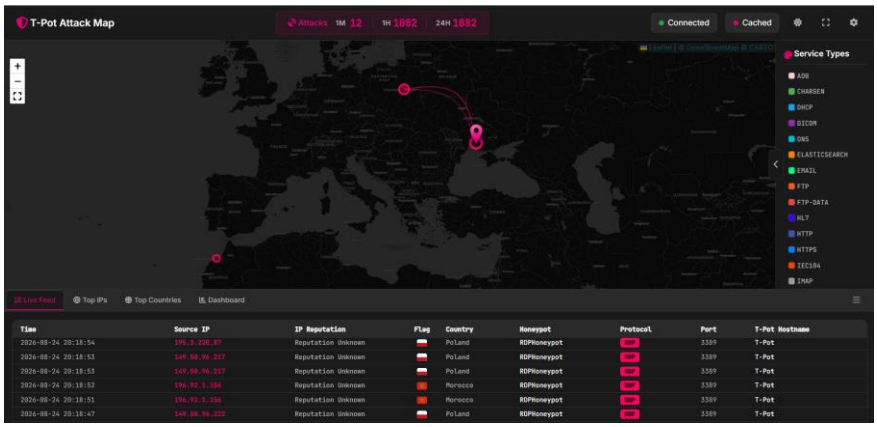


Рисунок 2 – Панель моніторингу T-Pot Attack Map

На рисунку 3 наведено стовпчикову діаграму з панелі Kibana, що відображає розподіл кількості зафіксованих записів (спроб підключення) за країнами походження джерел атак з моменту запуску стенду. Абсолютну більшість трафіку – близько 7, млн записів – згенеровано з боку Болгарії, що на порядок перевищує показники Польщі (близько 1, млн) та інших країн. Панама та решта країн (“Other”) формують незначну частку загального обсягу. Кожен стовпець додатково розбито за кольором на окремі IP-адреси джерел у межах відповідної країни, що дозволяє побачити внесок конкретних хостів у загальну картину: зокрема, значна частина трафіку з Болгарії припадає на кілька суміжних адрес підмережі 94.26.68.0/94.26.88.0, що може свідчити про використання одного й того самого пулу серверів (наприклад, орендованого VPS-провайдера чи ботнету) для масованого сканування.

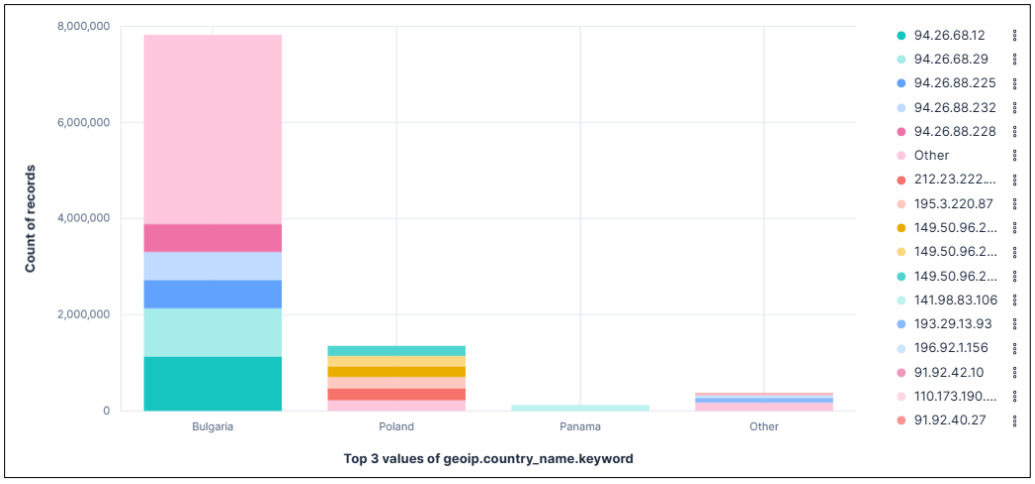


Рисунок 3 – Розподіл кількості зафіксованих подій за країнами походження та IP-адресами джерел (з моменту запуску стенду)

Висновки. Протокол RDP залишається найбільш критичним вектором початкового проникнення в інфраструктуру малого бізнесу, виступаючи головним каталізатором епідемії шифрувальників Ransomware. Доступність автоматизованих інструментів підбору паролів, активність брокерів початкового доступу та наявність систем з відсутніми оновленнями безпеки створюють постійну загрозу для підприємств, що не мають суворих конфігурацій захисту.

Фіксація спроб компрометації через модулі Heralding та rdphoneypot надає службам безпеки випереджувальні дані щодо використовуваних словників паролів, IP-адрес атакційних ботнетів та методів зловмисників. Інтеграція виявлених індикаторів компрометації з заходами превентивного захисту – усуненням прямого доступу до 3389 порту, впровадженням MFA, NLA та мережевою сегментацією – дозволяє сформувати стійкий бар'єр проти сучасних кіберзагроз.

Література

[1] Diagnosing the Ransomware Deployment Protocol (RDP), https://www.paloaltonetworks.com/blog/2021/07/diagnosing-the-ransomware-deployment-protocol/

[2] Why RDP remains a top initial access vector – Field Effect, https://fieldeffect.com/blog/rdp-top-initial-access-vector

[3] Looking for Honey Once Again: Detecting RDP and SMB Honeypots on the Internet – Johannes Zirngibl, https://zirngibl.github.io/files/wtmc2022lookingforhoney.pdf

[4] The best honeypot solutions in 2026: comparison and hands-on test results – Trapster, https://trapster.cloud/en/blog/best-honeypots

[5] T-Pot Version 17.10 released – Telekom Security, https://github.security.telekom.com/2017/11/honeypot-tpot-17.10-released.html

[6] GitHub – telekom-security/tpotce: T-Pot – The All In One Multi Honeypot Platform, https://github.com/telekom-security/tpotce

[7] What happens without RDP protection after 24+ hours in Microsoft Sentinel & Microsoft security products – Jeffrey Appel, https://jeffreyappel.nl/rdp-brute-force-detection-in-microsoft-sentinel-and-other-defender-products/

VULNERABILITY ANALYSIS OF RDP-BASED REMOTE WORKPLACES

Andrii Sirivchuk, Serhii Trybulkevych, Viktoriia Trybulkevych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Keywords. Remote Desktop Protocol (RDP), Small and Medium Businesses (SMB), vulnerabilities, cybersecurity, Ransomware, deceptive technologies, Honeypot, T-Pot, brute-force, NLA, MFA.

Abstract. This paper analyzes the cybersecurity challenges of remote workplaces in small and medium-sized businesses (SMBs) amidst an expanding attack perimeter and the transition to a hybrid work model. It is identified that the Remote Desktop Protocol (RDP) remains the primary remote access tool and simultaneously the leading initial access vector during Ransomware deployment. Key technical mechanisms of RDP compromise are considered in detail, including password guessing (brute-force), exploitation of legacy vulnerabilities, Pass-the-Hash attacks, and active session hijacking. The application of the T-Pot platform (utilizing Heralding, RDPY, and rdphoneypot modules) for constructing an isolated research and analytical testbed is investigated. Empirical data on attack intensity immediately following the public exposure of port 3389 is presented, along with the distribution of threat sources by geographic origin and IP addresses. Preventive cybersecurity measures are substantiated, including the removal of direct port 3389 exposure, implementation of MFA and NLA, use of VPNs, and network segmentation.

УДК 621.865.8.001.66:629.5.004.67.002.5

ІНТЕРАКТИВНИЙ ПРОГРАМНИЙ ІНТЕРФЕЙС ДЛЯ КІНЕМАТИЧНОГО І ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МОБІЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СУДНОВОЇ ФЕРОМАГНІТНОЇ ПОВЕРХНІ

Недо А.О.,
аспірант кафедри комп'ютеризованих систем управління,
antoxa1081@gmail.com
Мельникова О.Є.,
студентка групи 5341м кафедри комп'ютеризованих систем управління,
dvas1848@gmail.com
Герасін О.С.,
к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління,
oleksandr.gerasin@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Робота присвячена розробці інтерактивного програмного інтерфейсу для кінематичного і динамічного моделювання руху суднового мобільного робота на феромагнітній поверхні корпусу судна. Розглянуто проблему низької оперативності дослідження моделі в MATLAB Simulink, математичні основи траєкторного руху, контур керування курсовим кутом на базі ПІД-регулятора та структуру розробленого в MATLAB App Designer додатку.

Ключові слова: судновий мобільний робот; колісний рушій; математична модель; графічний інтерфейс користувача; комп'ютерне моделювання; Simulink; MatLab; App Designer; феромагнітна поверхня судна; регулятор.

Постановка проблеми. Обслуговування великогабаритного обладнання, зокрема корпусів суден, нафтових резервуарів та інших металевих конструкцій, є критично важливою задачею, оскільки біологічне обростання та зношення металу призводять до серйозних економічних та екологічних наслідків, а традиційні методи, що потребують ручної праці в небезпечному середовищі, є економічно невигідними [1]. Для вирішення цієї проблеми впроваджуються мобільні робототехнічні комплекси, здатні пересуватися вертикальними та похилими поверхнями для виконання автономних очисних чи зварювальних робіт, проте поєднання маневреності з несенням корисного навантаження ускладнює конструкцію робота, а динамічні взаємодії між робочими органами та базою створюють загрозу втрати стійкості й відриву від поверхні [2]. За таких умов налаштування систем керування на фізичних прототипах є недоцільним, тому необхідним етапом проєктування стає імітаційне моделювання [3]. Однак математичні моделі, реалізовані у MATLAB Simulink, потребують ручного налаштування параметрів для аналізу кожного результату, знижуючи оперативність дослідження. Тому актуальним є розроблення інтерактивного інтерфейсу, що забезпечує зміну параметрів моделі в реальному часі без повторного запуску розрахунку.

Мета роботи. Метою роботи є створення інтерактивного програмного інтерфейсу для кінематичного і динамічного моделювання руху повноприводного суднового мобільного робота колісного типу з безповітряними шинами змінного діаметра та електромагнітними притискними пристроями.

Траєкторія руху мобільного робота (МР) задається зміною його положення та кута курсу в глобальній системі координат. Зміна положення робота в часі в інерціальній системі відліку, що орієнтована відносно феромагнітної поверхні, повністю описується вектором $\boldsymbol{Q}$ [4]:

$$\boldsymbol{Q}(t) = \begin{bmatrix} x(t) & y(t) & \varphi(t) \end{bmatrix}^T, \tag{1}$$

де $x(t)$, $y(t)$ – координати робота, $\varphi(t)$ – кут курсу.

Досліджуваний чотириколісний робот представлено як стандартну неголономну модель, де зв'язок між лінійною V та кутовою ω швидкостями платформи й похідними її координат у глобальній системі відліку описується наступними кінематичними рівняннями [5]:

$$\dot{x} = V\cos\theta, \tag{2}$$

$$\dot{y} = V\sin\theta, \tag{3}$$

$$\dot{\varphi} = \omega, \tag{4}$$

де V – лінійна швидкість центру мас робота, ω – кутова швидкість повороту навколо вертикальної осі.

Положення і орієнтація робота в просторі, тобто значення його курсового кута φ та поточних координат (*x*, *y*), в кожен момент часу *t* визначається шляхом інтегрування його кутової ω та лінійної *V* швидкостей за відповідними осями [3]:

$$x(t) = x_0 + \int_0^t \dot{x}(t)\,dt, \tag{5}$$

$$y(t) = y_0 + \int_0^t \dot{y}(t)\,dt, \tag{6}$$

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \int_0^t \omega(t)\,dt, \tag{7}$$

де x_0, y_0, φ_0 – нульові початкові умови положення і орієнтації робота.

У математичній моделі МР, реалізованій у MATLAB Simulink, лінійна швидкість *V* задається як стале значення й безпосередньо використовується у формулах (5)–(6), тоді як кутова швидкість ω формується в замкненому контурі керування курсовим кутом φ.

Плавність зміни траєкторії забезпечується законом управління, який реалізовано шляхом регулювання кутової швидкості ω через ПІД-регулятор [5]:

$$\omega(t) = K_p e_\varphi + K_i \int_0^t e_\varphi\,dt + K_d \frac{de_\varphi}{dt}, \tag{8}$$

де K_p, K_i, K_d – коефіцієнти ПІД-регулятора, e_φ – кутова помилка.

Отримане значення ω(t) інтегрується за формулою (7), забезпечуючи безпосередній зворотний зв'язок за курсовим кутом і формуючи замкнений контур стабілізації орієнтації робота відносно бажаного та поточного напрямку.

Розглянутий контур керування, а також можливість зміни параметрів математичної моделі реалізовано в інтерактивному інтерфейсі за допомогою програмного пакету MATLAB App Designer. Його зовнішній вигляд представлено на рис. 1. Головне вікно містить поля введення масогабаритних параметрів МР (m_MP, L, B, h), а також окремі вкладки для задання швидкості V_MP, кута нахилу поверхні γ, зусилля технологічної операції F_TO та параметрів маневрування. Курсовий кут φ (0°–360°) змінюється оператором динамічно через повзунок безпосередньо під час симуляції, запуск якої ініціюється кнопкою «Запуск симуляції». Результати відображаються у шести вікнах графічної візуалізації: нормальних реакцій опор N_i, крутних моментів M_Ді, тягових зусиль X_Ki та радіусів коліс R_Ki для кожного з чотирьох коліс, сили магнітного притискання F, а також траєкторії переміщення робота (X, Y).

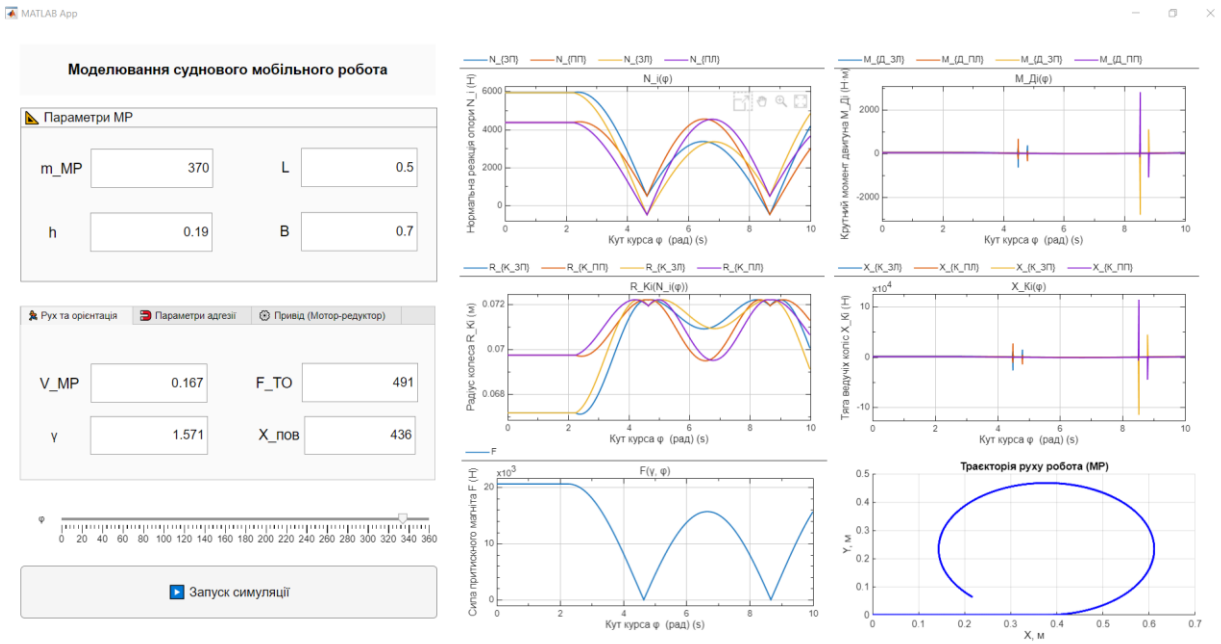


Рисунок 1 – Розроблений інтерактивний програмний інтерфейс

Перевагою запропонованого програмного забезпечення є можливість оперативної зміни параметрів моделі в режимі реального часу без зупинки симуляції. Будь-яка зміна вхідних параметрів робота (маси, геометричних характеристик, швидкості, кута нахилу поверхні тощо) миттєво відображається на графіках

вихідних характеристик, що дозволяє оперативно оцінювати вплив кожного параметра на динамічну поведінку системи без повторного запуску розрахунку.

Висновки. У роботі створено інтерактивний програмний інтерфейс, який дозволяє з високим рівнем наочності досліджувати кінематику та динаміку руху повноприводного суднового мобільного робота на феромагнітній поверхні шляхом оперативної зміни вхідних параметрів моделі та регулювання курсового кута через ПІД-регулятор кутової швидкості, без необхідності безпосереднього втручання у структуру Simulink-моделі.

Література

[1] The Mechanism Design of a Wheeled Climbing Welding Robot with Passing Obstacles Capability / M. Wu et al. *Robotic Welding, Intelligence and Automation* / ed. by T. J. Tarn, S. B. Chen, G. Fang. Berlin, Heidelberg, 2011. Vol. 88.

[2] Innovative design of an underwater cleaning robot with a two arm manipulator for hull cleaning / S. Hachicha et al. Ocean Engineering. 2019. Vol. 181. P. 303–313.

[3] Myint W. M., Win W. PID Based Circular Path Trajectory Tracking Control of Differential Drive Mobile Robot. *International Journal of Engineering and Techniques*. 2025. Vol. 11, no. 2. P. 110.

[4] Gîlcă G., Lupulescu (Machidon) A. Trajectory Control for a Mobile Robot Using a PID Algorithm. Annals of the "Constantin Brâncuși" University of Târgu Jiu, Engineering Series. 2024. No. 2.

[5] Kinematics Model Estimation of 4W Skid-Steering Mobile Robots Using Visual Terrain Classification / Y. Chen et al. *Journal of Robotics*. 2023. Vol. 2023. P. 1–12.

INTERACTIVE SOFTWARE INTERFACE FOR KINEMATIC AND DYNAMIC MOTION SIMULATION OF A MOBILE ROBOT FOR CLEANING SHIP FERROMAGNETIC SURFACES

Nedo A. O., Melnykova O. Y., Gerasin O. S.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The work focuses on the development of an interactive software interface for the kinematic and dynamic modeling of a mobile marine robot moving on a hull ferromagnetic surface. It addresses the issue of slow model analysis in MATLAB Simulink and examines the mathematical foundations of trajectory motion, a heading control loop based on a PID controller, and the structure of the application developed in MATLAB App Designer.

Keywords: ship mobile robot; wheeled mover; mathematical model; graphical user interface; computer simulation; Simulink; MatLab; App Designer; ferromagnetic surface; controller.

УДК 621.988:620.1:62-414.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОКОМПОНЕНТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ FDM-3D-ДРУКУ

Тарасов І.В.,
к.х.н., доцент, доцент,
Первомайський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна
tarasov.i.vad@gmail.com

Анотація. Розглянуто можливості адитивного виготовлення функціональних полімерних деталей методом FDM-3D-друку з позицій точності виготовлення, механічної міцності та практичної доцільності застосування. На прикладі деталей із PETG виконано оцінювання геометричної точності, напружено-деформованого стану, впливу параметрів друку та економічних характеристик виготовлення. Отримані результати розглядаються як методична основа для подальшого використання FDM-технології під час виготовлення допоміжних елементів, кріпильних деталей, технологічного оснащення та інших полімерних компонентів у суднобудуванні.

Ключові слова: адитивне виробництво, FDM, 3D-друк, PETG, механічна міцність, CAD/CAE, машинобудування, технологічне оснащення.

Вступ. Адитивні технології активно інтегруються у виробничі процеси машинобудування, забезпечуючи гнучкість у виготовленні деталей, які потребують швидкої розробки або дрібносерійного випуску [1, 2]. Метод FDM-3D-друку (Fused Deposition Modeling) дозволяє створювати функціональні вироби з полімерних

матеріалів, що робить його особливо актуальним для відновлення автокомпонентів, знятих з виробництва, а також для економічно вигідного створення малих партій конструктивних елементів [3].

У дослідженні виконано повний цикл інженерної роботи: аналіз геометрії, CAD-моделювання, визначення параметрів друку, розробка експериментальної методики, метрологічна оцінка точності, аналіз механічних характеристик та оцінка економічної доцільності FDM-виробництва автокомпонентів.

Метою роботи є комплексний технічний аналіз можливості застосування FDM-3D-друку для виготовлення функціональних автокомпонентів шляхом дослідження точності, параметрів друку, механічних властивостей та економічної ефективності процесу.

Матеріали та методи.

Об'єктами дослідження були дві конструктивно різні деталі автомобілей:

1. Ручка підйому скла Volkswagen: призначена для механічного керування підйомним механізмом скла, містить шліцьове з'єднання, рукоятку та декоративні елементи.
2. Фіксатор типу «заклепка-замок» Honda/Subaru: служить для утримання панелей салону і декоративних елементів, Працює на основі пружної деформації «пелюсток».

CAD-моделі [4, 5] створено у Autodesk Inventor, використовуючи параметричний підхід. Вимірювання проводилися штангенциркулем (0,0 мм) і мікрометром (0,00 мм).

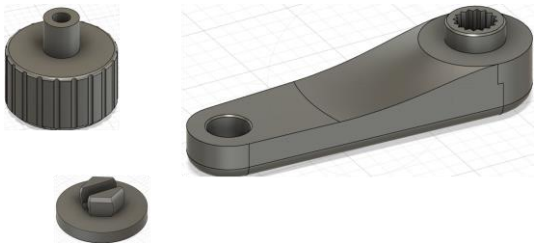


Рисунок 1 – CAD-модель ручки підйому скла

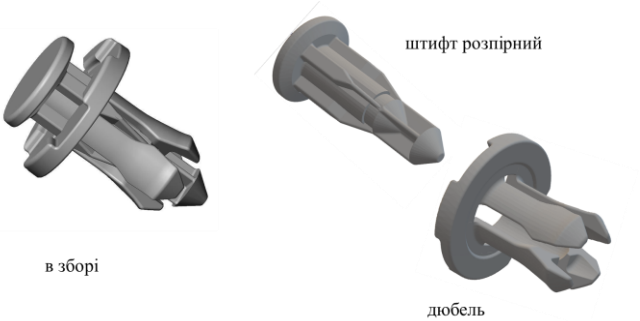


Рисунок 2 – CAD-модель фіксатора типу «заклепка-замок»

Матеріал. В якості матеріали обрано PETG [6], який характеризується:

- міцністю при розтягу 50–55 МПа;
- ударною в'язкістю 15–25 кДж/м²;
- низькою усадкою (~0,2 %);
- хімічною стійкістю до мастил, омивачів, ПММ;
- термостійкістю до 80°C.

PETG обрано через оптимальне співвідношення міцності, жорсткості та технологічності.

FDM-друк виробів виконувався на принтері Creality Ender-3 V3 SE [7].

Основні параметри друку:

- товщина шару – 0,12–0,1 мм;
- температура сопла – 235–245°C;
- температура стола – 75–80°C;
- заповнення – 25–30 %;
- структура – гексагональна;

Методика дослідження включала в себе:

1. Метрологічний аналіз (електронний штангенциркуль, мікрометр).
2. CAE-аналіз напружень під час прикладання реальних експлуатаційних навантажень.
3. Оцінка монтажних циклів (від 20 до 50 встановлень).
4. Вимірювання теплових деформацій при нагріванні.
5. Економічний аналіз собівартості виробництва.

Результати та обговорення. Одними із найважливіших характеристик є оцінки геометричної точності друку зразків (табл. 1) та визначення критичних зон [8] механічної напруги (табл. 2), які виявились достатніми для даної задачі.

При цьому не виявили критичні зони концентрації напружень у фіксаторі.

Вплив параметрів друку виявився відносно суттєвим для цих деталей:

- зменшення шару до 0,1 мм покращує міцність на 8–10 %;
- підвищення температури сопла підвищує адгезію шарів [9];
- орієнтація горизонтально підвищує витривалість до згину;
- гексагональне заповнення забезпечує найкращу жорсткість.

Економічна ефективність друку була оцінена в залежності від кількості принтерів, що одночасно обслуговуються, в рамках поточних цін на філамент з урахуванням технічних характеристик принтера.

Таблиця 1 – Аналіз геометричної точності друку зразків

Параметр	**Зразок А**	**Зразок Б**	**Зразок В**
Діаметр (Δ мм)	+0.12	+0.08	+0.05
Висота (Δ мм)	-0.18	-0.10	-0.05
Відхилення форми	0.15	0.08	0.03

Таблиця 2 – Результати аналізу для визначення критичних зон

Параметр	**Значення**
Макс. напруження	38.5 МПа
Коеф. безпеки	2.1
Критичні зони	Основа замка

Висновки

1. Технологія FDM-друку дозволяє виготовляти функціональні автокомпоненти з достатньою точністю.
2. Оптимальні параметри – товщина шару 0,12–0,1 мм, температура сопла 240°C, заповнення 25–30 %.
3. Виготовлені деталі витримують експлуатаційні навантаження та монтажні цикли.
4. PETG є оптимальним матеріалом для деталей цього типу.
5. Дрібносерійне виробництво методом FDM є економічно вигідним і перспективним.
6. CAD/CAE-підхід дозволяє підвищити якість проєктування та оптимізувати конструкції.

Література

[1] Петренко В.М. «3D-друк інженерними пластиками: матеріалознавство та технології». – Харків: Фоліо, 2022. – 18 с.

[2] Білецький В.С. Основи 3D-моделювання та прототипування. – Київ: Наукова думка, 2022. – 41 с.

[3] Smith J. FDM-printing parameters optimization for automotive parts // Journal of Manufacturing Science. – 2023. – Vol. 15 (2). – P. 45-52.

[4] Іваненко О.С. «Автоматизація проєктування в Autodesk Inventor". – Львів: Новий Світ, 2023. – 15 с.

[5] Денисенко А.В. Використання програмного забезпечення Autodesk для моделювання 3D-об'єктів // Вісник НУПВС. – 2023. – № 2. – С. 12-18.

[6] 6. Johnson A. Thermal analysis of PETG in FDM // Polymer Testing. – 2023. – Vol. 115. – P. 107765.

[7] Офіційний сайт Creality: https://www.creality.com (дата звернення: 08.05.2026).

[8] Wang X. et al. Mechanical characterization of 3D printed polymers // Additive Manufacturing. – 2023. – Vol. 47. – P. 102345

[9] Smith J. Optimization of FDM process parameters // Journal of Manufacturing Processes. – 2022. – Vol. 84. – P. 125-136.

INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF AUTOMOTIVE COMPONENTS MANUFACTURED VIA FDM 3D PRINTING

Ihor Vadymovych Tarasov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. The paper examines the potential of additive manufacturing for functional polymer parts using FDM 3D printing, focusing on manufacturing accuracy, mechanical strength, and practical applicability. Using PETG parts as a case study, the authors evaluate geometric accuracy, the stress-strain state, the influence of printing parameters, and production economics. The results serve as a methodological basis for the future application of FDM technology in the shipbuilding industry for the production of auxiliary elements, fasteners, tooling, and other polymer components.

Keywords: additive manufacturing, FDM, 3D printing, PETG, mechanical strength, CAD/CAE, mechanical engineering, manufacturing tooling.

УДК 004.03+681.5

РОЗВИТОК ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ В КОНЦЕПЦІЇ INDUSTRY 4.0

Топалов А.М.,
к.т.н., доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
topalov_ua@ukr.net

Анотація. Розглянуто сучасні підходи до цифровізації та автоматизації технологічних процесів у контексті Industry 4.0., що загалом об'єднує Інтернет речей, штучний інтелект, хмарні обчислення, автономну робототехніку, великі дані та аналітику, штучний інтелект, кіберфізичні системи, кібербезпеку, адитивне виробництво, доповненута віртуальну реальність. Головна мета полягає в максимальній автоматизації процесів, обміні даними та прийнятті рішень у режимі реального часу для підвищення ефективності, оптимізації витрат і мінімізації людського фактора.

Ключові слова: Industry 4.0, автоматизація, технологічний процес, виробнича інфраструктура, комп'ютерна система.

Вступна частина. Сучасний розвиток промисловості визначається системним переходом від жорстко детермінованих систем керування до високоадаптивних інтелектуальних виробництв концепції Industry 4.0 [1, 2]. Якщо традиційна автоматизація, спираючись на визначені алгоритми та дані локальних вимірювальних приладів, здатна лише підтримувати задані технологічні параметри без можливості прогнозування та гнучкої адаптації до змін середовища, то інтеграція кіберфізичних систем, IIoT, штучного інтелекту та інших сучасних підходів повністю долає ці обмеження. Покоління індустрії в контексті автоматизації технологічних процесів розглянуті на рис. 1.

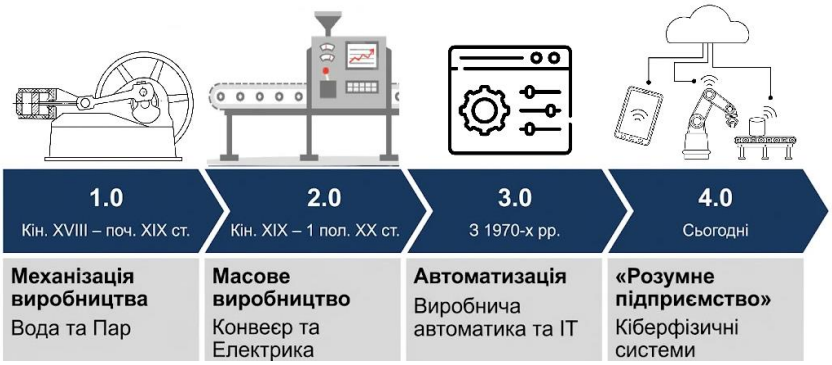


Рисунок 1 – Покоління індустрії в контексті автоматизації технологічних процесів

Фундаментальним підґрунтям концепції Industry 4.0 є глибока інтеграція фізичних технологічних об'єктів з передовими інформаційно-комунікаційними мережами та алгоритмами інтелектуального аналізу даних [3, 4]. Ключовим елементом такої трансформації виступають кіберфізичні системи (CPS), що формують безперервний двосторонній зв'язок і синхронізацію між матеріальним виробничим середовищем та віртуальним обчислювальним простором.

З огляду на актуальність переходу до таких інтелектуальних рішень, **метою даної роботи** є дослідження принципів модернізації систем автоматизації технологічних процесів у парадигмі Industry 4.0, а також обґрунтування шляхів інтеграції методів машинного навчання у багаторівневу структуру промислової автоматизації.

Основна частина. Архітектура традиційної промислової автоматизації спирається на жорстку ієрархічну модель, фундаментом якої слугують прилади та сенсори. Згенеровані ними первинні потоки інформації опрацьовуються на контролерному рівні (ПЛК) для забезпечення миттєвого реагування, регулювання процесів та протиаварійного захисту. За візуальний моніторинг, людино-машинну взаємодію та створення локальних архівів традиційно відповідають диспетчерські системи SCADA. Однак перехід до Industry 4.0 докорінно змінює цю концепцію, руйнуючи інформаційну ізольованість рівнів управління. Основні технологічні компоненти, з яких складається Індустрія 4.0:

1. Промисловий інтернет речей (IIoT). Мережа датчиків, сенсорів та обладнання, підключених до інтернету. Вони безперервно збирають дані про стан виробництва та передають їх для аналізу (саме це символізують значки бездротового зв'язку на вашому попередньому зображенні).

2. Хмарні обчислення (Cloud Computing). Зберігання та обробка величезних масивів інформації на віддалених серверах. Це дозволяє об'єднати дані з різних підприємств чи цехів у єдину систему, доступну з будь-якого пристрою.

3. Автономна робототехніка. Розумні роботизовані системи, які здатні самостійно виконувати складні завдання, навчатися та безпечно взаємодіяти з людьми (так звані колаборативні роботи, або коботи).

4. Великі дані та аналітика (Big Data). Процес обробки гігантських обсягів інформації, зібраної з датчиків. Аналітика дозволяє знаходити закономірності, виявляти неефективність та оптимізувати витрати.

5. Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання. Програмні алгоритми, які аналізують дані для прийняття рішень. Наприклад, ШІ може спрогнозувати, коли певна деталь верстата зламається (предиктивне обслуговування), і замовити її заміну ще до зупинки конвеєра.

6. Кіберфізичні системи (CPS). Тісна інтеграція обчислювальних ресурсів у фізичні процеси. Механізми не просто виконують закладену програму, а контролюються комп'ютерними алгоритмами, які адаптуються до змін у реальному часі.

7. Кібербезпека. Оскільки всі елементи виробництва об'єднані в єдину мережу, критично важливим стає надійний захист IT-інфраструктури підприємства від хакерських атак та витоку даних.

8. Адитивне виробництво (3D-друк). Технології пошарового створення об'єктів. Замість традиційного відливання чи виточування деталей, 3D-друк дозволяє створювати складні конструкції швидше, з меншими витратами матеріалів та можливістю миттєво змінювати дизайн.

9. Доповнена (AR) та віртуальна (VR) реальність. Використання розумних окулярів або екранів для навчання персоналу, допомоги в ремонті обладнання (наприклад, виведення інструкцій поверх реального верстата) або проєктування нових цехів.

Впровадження таких підходів потребує достовірних технологічних даних, сумісності апаратних і програмних компонентів, надійного інформаційного обміну та належного рівня кібербезпеки. Важливим є також забезпечення цілісності даних і стабільної роботи системи в умовах динамічної зміни технологічних параметрів [5].

Висновки. Еволюція промислової автоматизації в напрямку Industry 4.0 знаменує собою фундаментальний перехід від локалізованих, жорстко ієрархічних систем управління до глобально інтегрованих кіберфізичних екосистем. Базовим рушієм цієї трансформації є руйнування традиційних інформаційних бар'єрів між польовим, контролерним та диспетчерським рівнями завдяки синергетичному поєднанню різних цифрових технологій. Як наслідок, сучасні виробничі комплекси набувають здатності не лише до точного виконання закладених алгоритмів, але й до предиктивного аналізу, безперервної автономної самооптимізації та гнучкого реагування на зміни середовища в режимі реального часу.

Література

[1] Брюховецька Н. Ю., Черних, О. В. Індустрія 4.0 та цифровізація економіки: можливості використання зарубіжного досвіду на промислових підприємствах України. Економіка промисловості, № 2 (90), 2020, СС. 116–132. DOI: 10.15407/econindustry2020.02.116.

[2] Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. – Frankfurt/Main: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013. 82 p.

[3] Смоляр Л. Г., Іляш О. І., Трофименко О. О. Трансформаційні ефекти цифровізації у забезпеченні розвитку промислового виробництва в умовах Індустрії 4.0. Підприємництво та інновації. 2021, С. 24–30. DOI: 10.37320/2415-3583/21.4.

[4] Кириченко, О. С. Практичні аспекти впровадження модернізації промисловості на засадах Індустрії 4.0 в Україні. Вчені записки Університету «КРОК», № 4 (60), 2020, С. 210–218. DOI: 10.31732/2663-2209-2020-60-210-218.

[5] Чайкіна, А. О. Індустрія 4.0: особливості цифрової трансформації України. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління, 32 (71), № 3, 2021, С. 24–31. DOI: 10.32838/2523-4803/71-3-5.

DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND AUTOMATION TOOLS WITHIN THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT

Topalov A. M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Modern approaches to the digitalization and automation of technological processes within the context of Industry 4.0 are examined; this framework encompasses the Internet of Things, artificial intelligence, cloud computing, autonomous robotics, big data and analytics, cyber-physical systems, cybersecurity, additive manufacturing, and augmented and virtual reality. The primary goal is to maximize process automation, data exchange, and real-time decision-making in order to enhance efficiency, optimize costs, and minimize the human factor.

Keywords: Industry 4.0, automation, technological process, production infrastructure, computer system.

УДК 621.865.8

РОЗРАХУНОК ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДОСТУПНОГО РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ПІДВІСНОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СУДНОБУДУВАННІ

Угольніков Г.Г.,
аспірант кафедри комп'ютеризованих систем управління,
genchik98@gmail.com
Герасін О.С.,
к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління,
oleksandr.gerasin@nuos.edu.ua
Махнова І.В.,
методист, iryna.makhnova@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто методику розрахунку та тривимірної візуалізації доступного робочого простору підвісного кабельного робота-маніпулятора для суднобудівних технологічних процесів. Запропонований підхід враховує геометричну досяжність і можливість підтримання натягу всіх кабелів у заданому діапазоні для довільного, зокрема несиметричного, розташування опор. Отримана карта робочої зони може застосовуватися для планування безпечних траєкторій та адаптації системи до фактичної геометрії встановлення опор.

Ключові слова: підвісний робот-маніпулятор; кабельний паралельний робот; робочий простір; гарантований натяг; матриця Якобі; суднобудування; судноремонт; автоматизація.

Великі габарити суднобудівних об'єктів і складна геометрія виробничих зон зумовлюють доцільність застосування підвісних роботів для складання, інспекції та обслуговування конструкцій [1]. Їх рухома платформа утримується кабелями, а переміщення здійснюється зміною їх довжин, що забезпечує значну робочу зону [2].

Для практичного використання підвісного робота недостатньо визначити лише геометрично досяжні координати платформи, оскільки кабелі можуть передавати тільки зусилля розтягу [3]. Тому доцільно визначати простір із гарантованим натягом – множину положень платформи, для яких існує такий розподіл натягів, що забезпечує рівновагу системи та не виходить за встановлені межі.

Розглядається підвісний кабельний робот паралельної кінематики з чотирма кабелями. Координати точок підвісу задаються довільно, тому модель придатна для несиметричних конфігурацій, характерних для суднобудівних виробничих зон.

Для заданого положення платформи довжина і-го кабелю визначається евклідовою відстанню між точкою його кріплення на нерухомій конструкції A_i та відповідною точкою B_i на рухомій платформі:

$$L_i = \|B_i - A_i\|, \quad (1)$$

де L_i – довжина і-го кабелю. З одиничних векторів напрямів кабелів формується матриця Якобі **J**. Вона пов'язує рух платформи зі зміною довжин кабелів, дає змогу аналізувати сингулярні конфігурації та визначає статичний зв'язок між натягами й силовою дією на платформу [4].

Для статичної рівноваги платформи має існувати вектор натягів **T**, що задовольняє співвідношенню:

$$\mathbf{J}^T \cdot \mathbf{T} = \mathbf{F}_{ext}, \quad (2)$$

де $\mathbf{F}_{ext}$ – вектор зовнішніх сил, що діють на платформу. Одночасно для кожного кабелю (i = 1, …, 4) повинні виконуватися обмеження:

$$T_{min} \le T_i \le T_{max}. \quad (3)$$

У досліджуваній конфігурації прийнято T_{min} = 5 Н та T_{max} = 500 Н. Нижня межа запобігає провисанню кабелів, а верхня обмежує навантаження відповідно до їх міцності та можливостей приводів. Отже, точка належить до простору з гарантованим натягом лише тоді, коли існує вектор **T**, що одночасно задовольняє рівняння (2) та обмеження (3).

Робочий простір розраховується дискретним скануванням області x ∈ [−8; 8] м, y ∈ [−8; 8] м, z ∈ [0; 6] м із кроком 0, м. У кожній точці обчислюються довжини та напрями кабелів, формується матриця Якобі й методом лінійного програмування перевіряється існування допустимого набору натягів; у MATLAB використано функцію linprog.

Алгоритм перевірено для несиметричної конфігурації опор A_1 = (−7; −5; 4), A_2 = (8; −8; 6), A_3 = (5; 7; 2), A_4 = (−8; 6; 3) м із перепадом висот до м та масою платформи з вантажем 15 кг. Отримана робоча зона є несиметричною й неопуклою, оскільки залежить від геометрії опор і напрямів сил натягу.

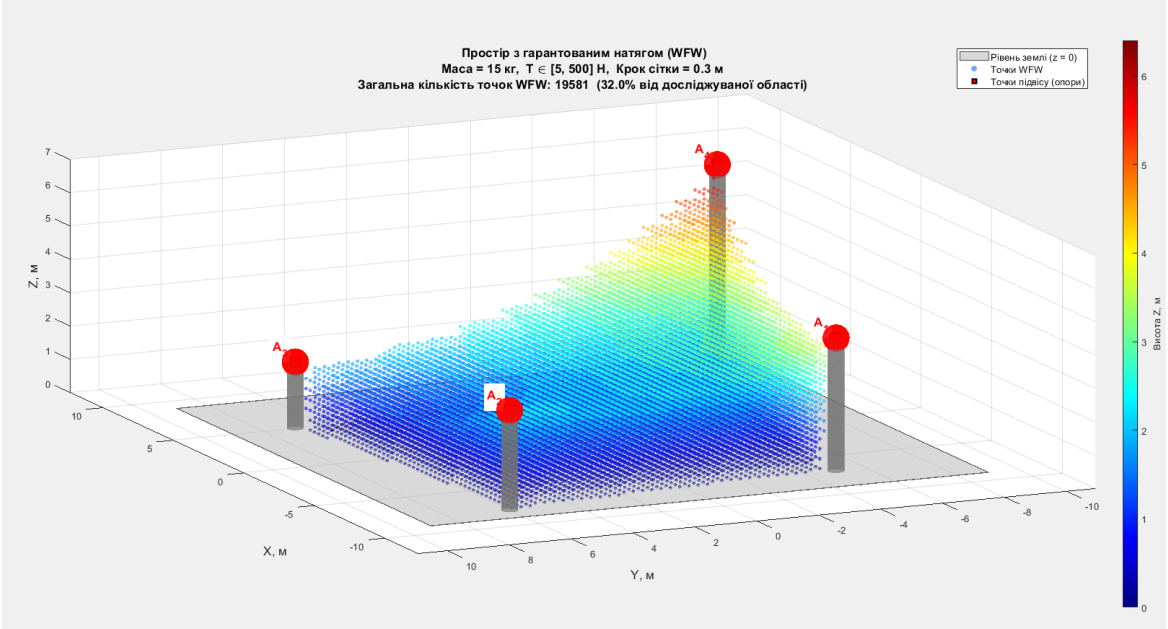


Рисунок 1 – Тривимірна візуалізація робочої зони робота з гарантованим натягом кабелів (вид збоку)

Бічний вигляд (рис. 1) демонструє вплив висоти платформи на доступну робочу зону. Для досліджуваної конфігурації при z > 3, м вона звужується до області поблизу геометричного центра, а при z > 5, м практично зникає. Причиною є зменшення вертикальних складових сил натягу, необхідних для врівноваження ваги платформи.

У суднобудуванні точки кріплення кабелів біля корпусу судна, у доку або на стапелі можуть знаходитися на різних рівнях і в різних площинах. За їх фактичними координатами модель формує актуальну карту доступного простору та дає змогу перевірити досяжність технологічних точок без порушення умов натягу.

Отже, підхід поєднує кінематичний і силовий аналіз: матриця Якобі враховує фактичні напрями кабелів, а перевірка натягів відокремлює геометрично досяжні положення від реально працездатних. Отриману карту доцільно використовувати як просторове обмеження під час планування траєкторій і автоматизованого керування роботом.

Література

[1] Герасін О.С., Топалов А.М. Застосування робототехніки для автоматизації технологічних процесів суднобудування та судноремонту // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – С. 401–403.

[2] Угольніков Г.Г., Недо А.О., Герасін О.С. Аналіз особливостей сучасних роботів-маніпуляторів // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. – 2024. – № 2 (495). – С. 85–94.

[3] Qian S., Zi B., Shang W. W., Xu Q. S. A review on cable-driven parallel robots // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2018. – Vol. 31, No. 1. – P. 1–11.

[4] Pott A. Geometric and static foundations // Cable-Driven Parallel Robots: Theory and Application. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – P. 45–117.

CALCULATION AND VISUALIZATION OF THE AVAILABLE WORKSPACE OF A SUSPENDED ROBOT-MANIPULATOR FOR SHIPBUILDING APPLICATIONS

Uholnikov Hennadiy Hennadiiovych, Gerasin Oleksandr Serhiyovych, Iryna Makhnova
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A method for calculating and three-dimensional visualization of the available workspace of a cable-suspended robot-manipulator for shipbuilding applications is considered. The proposed approach accounts for geometric reachability and the requirement to maintain cable tensions within specified limits. The cable-direction Jacobian matrix and linear programming are used to test force feasibility for arbitrary, including asymmetric, anchor configurations. The resulting workspace map can be used for safe trajectory planning and adaptation of the robot to actual installation conditions of the supports.

Keywords: cable-suspended robot; workspace; cable tension; Jacobian matrix; shipbuilding; ship repair; automation; asymmetric anchors.

УДК 629.5:658.5:004

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА СУДНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Щедролосєв О.В.,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Суднобудування та ремонту суден
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
Баліцька А.В.,
магістрантка кафедри Суднобудування та ремонту суден
albalitskaya@gmail.com
Губка О.В.,
магістрант кафедри Суднобудування та ремонту суден
a.v.g.7691@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто сучасні підходи до технологічної підготовки виробництва (ТПВ) у суднобудуванні та обґрунтовано напрями її цифрової трансформації. Проаналізовано традиційні, автоматизовані, математичні та оптимізаційні методи проєктування технологічних процесів, а також можливості інтеграції CAD/CAM/CAE, PDM/PLM та ERP/MES у єдине цифрове середовище. Запропоновано структурну модель цифрової ТПВ, що забезпечує наскрізний зв'язок даних «виріб–процес–ресурс» і перехід від послідовної до паралельної організації підготовки виробництва. Обґрунтовано доцільність використання цифрового двійника, дискретно-подієвого моделювання, багатокритеріальної оптимізації та інструментів штучного інтелекту для підвищення адаптивності й ефективності суднобудівного виробництва.

Ключові слова: суднобудування, технологічна підготовка виробництва, цифровізація, цифрова верф, Shipbuilding 4.0, CAD/CAM/CAE, PDM/PLM, ERP/MES, цифровий двійник, моделювання, оптимізація, штучний інтелект.

Вступ. Суднобудування належить до складних дискретних виробництв, для яких характерні індивідуальний або дрібносерійний характер замовлень, значна конструктивна складність продукції, велика кількість технологічних операцій та необхідність координації значної кількості виробничих ресурсів. За цих умов якість технологічної підготовки виробництва безпосередньо впливає на тривалість виробничого циклу, трудомісткість, витрати матеріалів і використання виробничих потужностей. Для сучасної судноверфі додаткового значення набуває здатність швидко перебудовувати виробничі процеси на основі актуальних даних та прогнозних моделей.

У роботі ТПВ розглядається як комплекс заходів з проєктування технологічних процесів на основі конструкторської документації, програми випуску, стандартів і класифікаторів. Основними методами визначено традиційні, автоматизовані, математичні та оптимізаційні підходи [1]. Сучасний розвиток інформаційних технологій створює передумови для переходу від автоматизації окремих операцій до інтегрованого цифрового середовища, у якому конструкторські, технологічні, виробничі та ресурсні дані використовуються узгоджено протягом життєвого циклу виробу.

Актуальність такого переходу підтверджується сучасними дослідженнями. Публікації 2023–2026 рр. характеризують Shipbuilding 4.0 як комплексну цифрову трансформацію, що охоплює проєктування, виробництво, планування, контроль, логістику та управління даними. Особливо активно розвиваються цифрові двійники, дискретно-подієве моделювання, багатокритеріальна оптимізація, машинне навчання та кіберфізичні виробничі системи [2–7].

Мета роботи. Метою роботи є визначення та систематизація напрямів удосконалення технологічної підготовки виробництва суднобудівного підприємства на основі цифровізації, автоматизації та інтеграції інформаційних систем, а також розроблення концептуальної структури цифрової ТПВ, яка забезпечує наскрізний зв'язок даних «виріб–процес–ресурс» і створює умови для паралельного виконання конструкторських та технологічних робіт.

Основна частина. Проєктування технологічних процесів у суднобудуванні базується на аналізі вихідних даних, до яких належать конструкторська документація та програма випуску, а також керівні матеріали – стандарти, класифікатори та нормативна документація.

У традиційній організації ТПВ використовуються технологічні графіки побудови судна, каскадні графіки, маршрутно-технологічні карти корпусних деталей, техніко-нормувальні карти вузлів і секцій, а

також документація щодо вибору технологічного обладнання та суднопідіймальних споруд. Важливе значення має типізація технологічних процесів – застосування одиничних, типових і групових процесів.

Загальна послідовність проєктування технологічного процесу включає: аналіз вихідних даних → вибір аналога або типового процесу → вибір заготовки та технологічних баз → формування маршруту → визначення операцій → нормування → розроблення технологічної документації.

У судноремонті ця послідовність доповнюється результатами дефектації, на основі яких формується маршрутна технологія виконання ремонтних робіт.

Цифрова трансформація ТПВ. Наступним етапом розвитку ТПВ є її цифровізація. Вона передбачає не лише автоматизацію підготовки окремих документів, а створення інтегрованого інформаційного середовища, у якому конструкторські, технологічні, виробничі та ресурсні дані пов'язані між собою. Сучасна концепція Shipbuilding 4.0 передбачає поєднання цифрових моделей виробу та виробництва з даними реального виробничого процесу [4; 6].

Основу такого середовища можуть формувати: CAD/CAE – цифрове проєктування та інженерний аналіз; CAM – автоматизоване формування технологічних операцій та керуючих програм; PDM – управління конструкторськими та технологічними даними; PLM – управління життєвим циклом судна та виробу; ERP – планування ресурсів підприємства; MES – оперативне управління виробничими процесами; системи моделювання та оптимізації; Digital Twin – цифровий двійник виробничої системи.

Застосування CAD/CAM/CAE/PLM забезпечує цифрове подання виробу, формування технологічної документації, моделювання секцій, оптимізацію розкрою та зварювання, а інтеграція з PDM дає змогу керувати версіями та взаємозв'язками конструкторських і технологічних даних. На рівні виробничої системи ці дані доцільно поєднувати з ERP/MES та засобами оперативного планування.

Таким чином, принциповою зміною є перехід від «документ-орієнтованої» ТПВ до «дані-орієнтованої» моделі, у якій один узгоджений набір цифрових даних може використовуватися різними підрозділами підприємства. Саме якість відображення та синхронізації даних «виріб–процес–ресурс» визначає можливість ефективного моделювання і оперативного коригування виробничих рішень [3; 7].

Паралельна організація підготовки виробництва. Одним із важливих напрямів підвищення ефективності ТПВ є перехід від послідовної до паралельної організації робіт. При послідовній схемі окремі етапи конструкторської та технологічної підготовки значною мірою виконуються один після одного. Це збільшує загальну тривалість підготовчого періоду.

Паралельна схема передбачає одночасне виконання взаємопов'язаних робіт за умови інформаційної інтеграції між учасниками процесу. Відповідно, технологічні рішення можуть формуватися ще на етапі конструкторського опрацювання виробу.

Цей підхід узгоджується із сучасними дослідженнями виробничого планування суднобудівних підприємств, де для врахування складної структури замовлень, ресурсних обмежень та взаємозв'язків між процесами застосовуються дискретно-подієве моделювання (метод імітаційного моделювання, у якому роботу системи подають як хронологічну послідовність окремих подій, що відбуваються в дискретні моменти часу), багатокритеріальна оптимізація та методи машинного навчання [7].

Інтеграція цифрових технологій. Особливе значення для розвитку цифрової ТПВ має інтеграція систем управління виробництвом. У наданому матеріалі як приклад наведено рішення SAP, що застосовуються для управління проєктами, ланцюгами постачання, виробництвом, якістю та фінансами. Зокрема, зазначено SAP S/4HANA, SAP Ariba, SAP Engineering Control Center та SAP Business Technology Platform.

Узагальнену структуру цифрової ТПВ можна представити таким чином:

Конструкторська модель → PDM/PLM → технологічна підготовка CAD/CAM → планування ERP/MES → моделювання та оптимізація → виробництво → контроль → зворотний зв'язок.

Таке інформаційне середовище дозволяє забезпечити наскрізну простежуваність інформації від проєктування до виготовлення та контролю продукції.

Цифровий двійник суднобудівного виробництва. Перспективним напрямом розвитку цифрової ТПВ є застосування цифрового двійника виробничої системи. У сучасних дослідженнях цифровий двійник суднобудування розглядається як цифрова модель фізичної виробничої системи, яка поєднує дані про виріб, процеси, ресурси та результати виробництва і може використовуватися для планування, моніторингу, аналізу та підтримки рішень [2; 3; 5].

Для суднобудівного підприємства цифровий двійник може охоплювати технологічні процеси, виробниче обладнання, транспортні та логістичні операції, рух матеріалів і секцій, виробничі ресурси, календарне планування, контроль якості та показники завантаження виробничих потужностей.

Застосування такого підходу створює можливість перевіряти альтернативні варіанти організації виробництва без безпосереднього втручання у фізичний процес, оцінювати вузькі місця та прогнозувати наслідки зміни календарного плану, ресурсного забезпечення або послідовності операцій. Дослідження виробничих дільниць судноверфей показують, що синхронізація фізичних і віртуальних даних може підвищувати оперативність динамічного планування та гнучкість виробництва [3].

Огляд досліджень 2010–2025 рр., опублікований у 2026 р., показує розвиток суднобудівної цифровізації від локального моделювання окремих виробничих ділянок до інтегрованих кіберфізичних систем, що поєднують дискретно-подієве моделювання, оптимізацію, машинне навчання, цифрові двійники та засоби підтримки виробничих рішень [7]. Це підтверджує доцільність переходу від ізольованої автоматизації до інтегрованої цифрової ТПВ.

Основні напрями вдосконалення ТПВ

1. Цифровізація документації. Перехід до електронного управління конструкторськими й технологічними даними та скорочення дублювання інформації.
2. Інтеграція CAD/CAM/PDM/PLM/ERP/MES. Формування єдиного інформаційного середовища замість автономного використання окремих програмних систем.
3. Паралельна організація ТПВ. Виконання взаємопов’язаних конструкторських і технологічних робіт із використанням єдиної цифрової моделі.
4. Оптимізація технологічних процесів. Застосування математичних методів, дискретно-подієвого моделювання та багатокритеріальної оптимізації для вибору раціональних варіантів виробництва.
5. Цифровий двійник. Створення цифрової моделі виробничої системи для оперативного аналізу її стану та прогнозування результатів управлінських рішень.
6. Уніфікація та типізація. Застосування групових технологій, уніфікованої оснастки та стандартизованих технологічних рішень.
7. Автоматизація виробництва. Розширення використання роботизованих технологій, автоматизованого розкрою, зварювання та контролю.

Висновки

1. Технологічна підготовка виробництва є одним із ключових елементів забезпечення ефективності суднобудівного виробництва, оскільки визначає послідовність технологічних операцій, потребу в ресурсах, трудомісткість і тривалість виробничого циклу.
2. Сучасний розвиток ТПВ передбачає перехід від переважно традиційних методів до інтегрованого використання CAD/CAM/CAE, PDM/PLM, ERP/MES, математичного моделювання, оптимізації та інструментів штучного інтелекту, що відповідає тенденціям Shipbuilding 4.0.
3. Перехід від послідовної до паралельної організації технологічної підготовки виробництва забезпечує можливість раннього формування технологічних рішень ще на етапі конструкторського опрацювання та скорочення часових розривів між проєктуванням і виробництвом.
4. Цифровий двійник суднобудівного виробництва доцільно розглядати не лише як візуальну цифрову модель, а як інструмент синхронізації даних, моделювання альтернатив, динамічного планування та підтримки виробничих рішень.
5. Практичним результатом роботи є запропонований напрям побудови інтегрованої цифрової ТПВ суднобудівного підприємства, який може бути покладений в основу подальшої розробки алгоритмів моделювання, оптимізації та цифрового двійника виробничої системи. Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісну оцінку ефекту від інтеграції цифрових систем за показниками тривалості ТПВ, завантаження ресурсів, виробничого циклу та гнучкості планування.

Література

[1] Кошкін К. В. Організація комп’ютерних інтегрованих виробництв у суднобудуванні: монографія. – Миколаїв: УДМТУ, 1999. – 22 с.

[2] Iwańkowicz R., Rutkowski R. Digital Twin of Shipbuilding Process in Shipyard 4.0. Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 12. Article 9733. DOI: 10.3390/su15129733.

[3] Wang L., Chen J., Zhang Y., Tian Y., Li Z., Wang C. Research on data mapping and fusion method of ship production workshop based on digital twins. Measurement and Control. 2024. Vol. 57, No. 9. P. 1255–1267. DOI: 10.1177/00202940241236088.

[4] Zhang X., Chen D. Shipbuilding 4.0: A Systematic References Review. Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 14. Article 6363. DOI: 10.3390/app14146363.

[5] Verseckaitė I., Jakubavičius A. Shipbuilding tendencies in the context of digitalization. Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania. 2024. Vol. 16. DOI: 10.3846/mla.2024.19945.

[6] Watson S. A., Masood T. Industry 4.0 applications in shipbuilding: current state of the art, technological enablers, challenges, and opportunities. 2025. DOI: 10.31224/4673.

[7] Bordbar A., Tadros M., Nazemian A., Aung M. Z., Georgoulas K., Louvros P., Boulougouris E. Digitalisation of Shipyard Production Planning: A Review of Simulation, Optimisation, AI, and Digital Twin Methods (2010–2025). Journal of Marine Science and Engineering. 2026. Vol. 14, No. 4. Article 396. DOI: 10.3390/jmse14040396.

DIGITALIZATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION IN A SHIPBUILDING ENTERPRISE

Shchedrolosiev Oleksandr Viktorovych, Balitska Alla Volodymyrivna, Hubka Oleksandr Vitaliiovych
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Modern approaches to technological preparation of production (TPP) in shipbuilding and the main directions of its digital transformation are considered. Traditional, automated, mathematical and optimization methods of technological process design are analyzed, together with the integration of CAD/CAM/CAE, PDM/PLM and ERP/MES into a unified digital environment. A conceptual structure of digital TPP is proposed, based on end-to-end data integration across product, process and resource domains and on the transition from sequential to parallel production preparation. Particular attention is paid to digital twins, discrete-event simulation, multi-objective optimization and artificial intelligence as tools for production planning and decision support.

Keywords: shipbuilding, technological preparation of production, digitalization, Shipbuilding 4.0, digital shipyard, CAD/CAM/CAE, PDM/PLM, ERP/MES, digital twin, simulation, optimization, artificial intelligence.

УДК 681.5

ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВПЛИВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Яценко С.П.,
аспірант
Національний університет кораблебудування імені, адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ls.automation@ukr.net

Анотація. Розглянуто сучасні підходи до застосування машинного навчання в автоматизації технологічних процесів. Проаналізовано місце алгоритмів машинного навчання у структурі автоматизованих систем керування, їх взаємодію з програмованими логічними контролерами, SCADA/HMI та системами збору технологічних даних. Визначено основні напрями використання машинного навчання: прогнозування технологічних параметрів, виявлення аномалій, контроль якості та оптимізація режимів роботи обладнання.

Ключові слова: машинне навчання, автоматизація, технологічний процес, штучний інтелект, PLC, SCADA, прогнозування, виявлення аномалій.

Вступна частина. Сучасні автоматизовані системи керування технологічними процесами характеризуються постійним зростанням кількості вимірюваних параметрів і обсягів даних. Традиційні алгоритми на базі PLC забезпечують надійне логічне керування, регулювання, блокування та захист, однак їх можливості обмежені, коли необхідно виявляти складні нелінійні залежності, прогнозувати майбутній стан об’єкта або адаптувати рішення до змінних умов виробництва. У таких задачах перспективним доповненням до класичної автоматизації є машинне навчання – сукупність методів, що дають змогу будувати моделі на основі накопичених даних і використовувати їх для прогнозування, класифікації та підтримки прийняття рішень [1].

Інтеграція машинного навчання та засобів промислової автоматизації формує передумови для переходу від реактивного керування до прогнозного й адаптивного. У сучасних автоматизованих системах штучний інтелект і машинне навчання можуть застосовуватися для аналізу багатовимірних технологічних даних, пошуку прихованих закономірностей та формування прогнозної інформації [2]. Розвиток промислової автоматизації також пов’язується з використанням систем моніторингу, обробки даних у реальному часі, машинного навчання та прогнозування [3]. Таким чином, машинне навчання доцільно розглядати не як заміну традиційним алгоритмам автоматизації, а як додатковий інтелектуальний рівень системи керування.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження застосування та впливу машинного навчання в автоматизації технологічних процесів, визначення основних задач, які можуть вирішуватися за допомогою моделей машинного навчання, а також оцінювання перспектив їх інтеграції з традиційними засобами промислової автоматизації для підвищення ефективності, надійності та адаптивності керування.

Основна частина. Основою автоматизації технологічного процесу залишається польовий рівень, до якого належать датчики, вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми. Сигнали від них надходять до PLC або інших промислових контролерів, де реалізуються алгоритми логічного керування,

регулювання, технологічні блокування та захисти. Системи HMI/SCADA забезпечують візуалізацію, архівування параметрів, реєстрацію подій та взаємодію оператора з технологічним об'єктом. Саме накопичені історичні та поточні дані створюють інформаційну основу для навчання й подальшого використання моделей машинного навчання. Якість таких даних безпосередньо впливає на достовірність результатів інтелектуального аналізу.

Узагальнену структуру автоматизованої системи з машинним навчанням можна представити таким чином: технологічний об'єкт → датчики та виконавчі механізми → PLC → SCADA/HMI та система збору даних → модуль підготовки даних → модель машинного навчання → прогнозна або діагностична інформація → оператор або система керування. Подібна інтеграція дозволяє використовувати вже наявну інформаційну інфраструктуру підприємства та доповнювати її функціями інтелектуального аналізу. У сучасних автоматизованих системах особливого значення набувають методи обробки великих потоків даних і машинного навчання [4].

Одним із головних напрямів застосування машинного навчання є прогнозування технологічних параметрів. На основі історичних вибірок модель може встановлювати залежності між вхідними та вихідними змінними й оцінювати майбутні значення температури, тиску, витрати, рівня, енергоспоживання, показників якості та інших параметрів. Для таких задач можуть застосовуватися регресійні моделі, дерева рішень, ансамблеві методи, штучні нейронні мережі та моделі часових рядів. Отриманий прогноз може використовуватися для раннього виявлення тенденцій, підтримки оператора та оптимізації режиму роботи технологічного обладнання. Українські дослідження відзначають машинне навчання як важливу складову сучасних підходів до автоматизації та інтелектуального керування [1, 3].

Другим важливим напрямом є виявлення аномалій і подальше технічне обслуговування. Замість формування аварійного повідомлення лише після перевищення встановленої межі модель може аналізувати одночасну зміну декількох параметрів і виявляти нетипову поведінку обладнання на ранній стадії. Дослідження систем керування технічними об'єктами показують перспективність використання штучного інтелекту та машинного навчання для технічного обслуговування й підвищення точності керування [5]. Практичні системи технічного обслуговування можуть використовувати дані вібрації, температури, тиску, навантаження та інші сигнали для прогнозування відмов і оцінювання технічного стану обладнання [6].

Машинне навчання також впливає на автоматизацію контролю якості та оптимізацію технологічних режимів. Моделі можуть класифікувати стани процесу, виявляти дефекти, оцінювати ризик відхилення показників якості та визначати комбінації параметрів, за яких процес працює ефективніше. У машинобудуванні застосування штучного інтелекту розглядається як засіб автоматизації, діагностики, прогнозного обслуговування та оптимізації протягом життєвого циклу виробів. Це розширює функції автоматизованої системи від простого виконання заданого алгоритму до інформаційної підтримки вибору оптимального режиму.

Разом із перевагами застосування машинного навчання створює нові вимоги до побудови автоматизованої системи. Необхідні репрезентативні та достовірні дані, попередня обробка сигналів, контроль пропущених і помилкових значень, перевірка точності моделі та періодичне її перенавчання. Важливо враховувати зміну характеристик технологічного процесу з часом, оскільки модель, навчена на застарілих даних, може втрачати точність. Тому доцільно організовувати моніторинг якості прогнозу та порівнювати результати моделі з фактичними значеннями параметрів.

З погляду функціональної безпеки машинне навчання не повинно безконтрольно замінювати детерміновані алгоритми PLC. Критичні захисти, аварійні блокування та базові контури регулювання доцільно реалізовувати традиційними засобами промислової автоматики, тоді як модель машинного навчання може працювати на рівні прогнозування, діагностики, оптимізації та підтримки прийняття рішень. За умови підтвердженої точності й надійності результати моделі можуть використовуватися для формування коригувальних впливів. Така архітектура поєднує передбачуваність класичної автоматизації з адаптивними можливостями аналізу даних.

Висновки. Застосування машинного навчання в автоматизації технологічних процесів розширює функціональні можливості традиційних систем керування. Найбільш перспективними напрямами є прогнозування технологічних параметрів, виявлення аномалій, прогнозованого технічного обслуговування, автоматизований контроль якості та оптимізація режимів роботи обладнання. Вплив машинного навчання проявляється у можливості переходу від реактивного реагування на відхилення до прогнозного керування, підвищенні інформативності системи та використанні накопичених технологічних даних для підтримки рішень. Водночас ефективність таких рішень залежить від якості даних, коректного вибору та валідації моделі, надійної інтеграції з PLC і SCADA/HMI та збереження детермінованих захисних функцій. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення архітектур інтеграції моделей машинного навчання з промисловими системами автоматизації в режимі реального часу та оцінювання їх ефективності на реальних технологічних об'єктах.

Література

[1] Григоров О. В., Аніщенко Г. О., Стрижак В. В., Петренко Н. О., Турчин О. В., Окунь А. О., Пономарьов О. Е. Штучний інтелект. Машинне навчання // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2019. – № 15. – С. 17–27. – DOI: 10.30977/VEIT.2226-9266.2019.15.0.17.

[2] Антоненко А., Пахомов М., Калита Т., Галета В. Використання штучного інтелекту в автоматизованих системах // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2023. – № 4 (323). – С. 11–20. – DOI: 10.31891/2307-5732-2023-323-4-11-20.

[3] Чанкветадзе Д., Фешанич Л. Перспективи розвитку систем промислової автоматизації в контексті Індустрії 4.0 // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2023. – № 4. – С. 234–239. – DOI: 10.31891/2219-9365-2023-76-31.

[4] Смик Д. Д., Бурак Н. Є. Методи та засоби обробки даних в сучасних автоматизованих системах // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2025. – № 31. – DOI: 10.32447/20784643.31.2025.05.

[5] Ярошенко О. А., Гасюк О. І. Дослідження поточного стану розвитку систем керування та автоматизації гідравлічних машин // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – 2023. – № 2. – DOI: 10.20998/2411-3441.2023.2.14.

[6] Пащенко О. А., Расцвєтаєв В. О., Яворська В. В., Шумов А. С., Зибалов Д. С. Розробка систем прогнозного технічного обслуговування бурового обладнання на основі штучного інтелекту // Технічна інженерія. – 2025. – № 2 (96). – С. 313–321. – DOI: 10.26642/10-2025-2 (96)-313-321.

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN SHIPBUILDING WITHIN THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT

Yatsenko Serhii Pavlovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Modern approaches to the application of machine learning in the automation of technological processes are examined. The role of machine learning algorithms within the structure of automated control systems is analyzed, along with their interaction with programmable logic controllers (PLCs), SCADA/HMI systems, and process data acquisition systems. Key areas of machine learning application are identified: forecasting process parameters, anomaly detection, predictive maintenance, quality control, and the optimization of equipment operating modes. The positive impact of intelligent data analysis on the efficiency, reliability, and adaptability of automated systems is discussed, as are the primary limitations and requirements for the practical implementation of such solutions.

Keywords: machine learning, automation, technological process, artificial intelligence, PLC, SCADA, forecasting, anomaly detection, predictive maintenance.

УДК 629.5.05:004.896

ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КООПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ USV–ROV–UAV

Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
tasman.leh.85@gmail.com
Надточій В.А.,
кандидат технічних наук, доцент,
nva074@gmail.com
Бурунін А.П.,
PhD, доцент (посада, без вченого звання)
splashbox98@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. Розглянуто принцип функціонування системи автоматизованого кооперативного управління безекіпажним надводним апаратом (USV), дистанційно керованим підводним апаратом (ROV) і безпілотним літальним апаратом (UAV). Запропоновано узгодження завдань пошуку, підводного обстеження та спостереження через спільну модель місії й обмін даними про стан апаратів. Сформульовано

умови переходу між етапами місії з урахуванням зв'язку, енергетичних обмежень і безпечних відстаней. Наведено показники, за якими можна оцінювати якість кооперативного управління.

Ключові слова: безекіпажний надводний апарат, підводний апарат, БПЛА, кооперативне управління, морська робототехніка.

Вступ. Застосування надводного, підводного й повітряного апаратів у спільній місії дає змогу поєднати огляд поверхні та берегової зони з детальним підводним обстеженням. Водночас окреме планування траєкторій не забезпечує узгодження зон спостереження, своєчасної передачі результатів і безпечного зближення апаратів. Для надводних та підводних платформ математичний опис руху ґрунтується на кінематичних і динамічних моделях морських апаратів [1]; кооперація в підводних роботизованих системах потребує врахування обмеженого та переривчастого інформаційного обміну [2].

Мета роботи – сформувати принцип функціонування системи автоматизованого кооперативного управління USV–ROV–UAV, який пов'язує призначення завдань, синхронізацію руху, обмін спостереженнями й контроль обмежень під час спільної місії.

Основна частина. У запропонованій структурі USV виконує роль мобільної надводної платформи: доставляє ROV до району робіт, підтримує його роботу та координує виконання місії. ROV проводить підводний огляд і передає результати через кабельний канал до USV. UAV забезпечує огляд доступної повітряної зони, уточнює обстановку на поверхні й передає дані до надводної платформи. Ці ролі описують функціональну архітектуру; конкретний склад датчиків і каналів зв'язку визначають окремо для обраних апаратів.

Стан системи в момент часу t подано вектором $X(t) = [xS(t), xR(t), xA(t), m(t), c(t)]$, де xS, xR, xA – координати, швидкості, орієнтація та доступний енергетичний ресурс відповідних апаратів; m – стан місії; c – стан інформаційних каналів. Еволюція кожного апарата описується рівняннями $\dot{x}_i = f_i(x_i, u_i, wi)$, $i \in \{S, R, A\}$, де u_i – керувальні дії, w_i – збурення. Для USV і ROV у функціях f_i враховують гідродинаміку, течію та обмеження рушіїв, для UAV – аеродинамічні збурення й тривалість польоту [1].

На рівні місії розв'язують задачу розподілу робіт: $Z^* = \arg\min Z \{\alpha T(Z) + \beta E(Z) + \gamma R(Z) + \delta U(Z)\}$, де T – тривалість, E – витрати енергії, R – ризик порушення безпеки, U – частка невизначеності у спостережуваній зоні; α, β, γ, δ – ваги, що залежать від пріоритетів місії. Розв'язок обмежують доступними ресурсами апаратів, допустимою відстанню ROV від USV, тривалістю польоту UAV та умовами зв'язку. Запис є постановкою оптимізаційної задачі й не передбачає, що її параметри вже оцінено експериментально.

Робочий цикл включає формування спільного плану, висування USV у район робіт, повітряне уточнення обстановки, спуск ROV, підводне обстеження та об'єднання спостережень. Після кожного етапу система оновлює карту району й оцінки стану апаратів. Якщо зв'язок із UAV переривається, його маршрут виконується за заздалегідь визначеним правилом повернення; якщо порушується канал ROV–USV або досягається граничний натяг кабелю, підводне обстеження призупиняється. Команди, пов'язані з небезпечним зближенням або виходом за межі району, блокуються контролером безпеки.

Кооперативність забезпечується двома зворотними зв'язками: дані UAV коригують маршрут USV і вибір точок спуску ROV, а результати ROV уточнюють пріоритети повторного огляду. Обмін відбувається із часовими мітками й ознаками достовірності, щоб прострочені повідомлення не змінювали поточний план. Практична реалізація потребує окремого визначення частот обміну та допустимих затримок для вибраного обладнання.

Для перевірки запропонованого принципу доцільно порівняти кооперативне й незалежне виконання однакової місії за повнотою покриття, часом обстеження, витратами енергії, кількістю порушень обмежень і стійкістю до тимчасової втрати зв'язку. Умови порівняння мають містити однакові геометрію району, збурення та ресурс апаратів; числові оцінки можуть бути отримані лише після моделювання або натурних випробувань.

Висновки. Сформовано функціональну схему взаємодії USV, ROV і UAV та математичну постановку спільного планування місії з урахуванням часу, енергії, невизначеності й безпеки. Запропоновано послідовність оновлення плану та правила реагування на втрату зв'язку. Наступним етапом є параметризація моделей конкретних апаратів і перевірка ефективності кооперативного управління в імітаційних сценаріях.

Література

[1] Fossen T. I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. 2nd ed. Wiley, 2021. DOI: 10.1002/9781119575016.

[2] A Survey of Underwater Multi-Robot Systems. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2021. DOI: 10.1109/JAS.2021.1004269.

[3] Liu M., Li Y., Guo Y., Liu B. Formation Control for Mixed-Order UAVs–USVs–UUVs Systems under Cooperative and Optimal Control. Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, no. 4. Art. 704. DOI: 10.3390/jmse11040704.

[4] Cheng C. et al. Research on Visual Perception for Coordinated Air–Sea through a Cooperative USV-UAV System. Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, no. 10. Art. 1978. DOI: 10.3390/jmse11101978.

[5] Zhang H. et al. Unmanned Surface Vessel–Unmanned Aerial Vehicle Cooperative Path Following Based on a Predictive Line of Sight Guidance Law. Journal of Marine Science and Engineering. 2024. Vol. 12, no. 10. Art. 1818. DOI: 10.3390/jmse12101818.

[6] Li W., Ge Y., Guan Z., Ye G. Synchronized Motion-Based UAV–USV Cooperative Autonomous Landing. Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10, no. 9. Art. 1214. DOI: 10.3390/jmse10091214.

[7] Li Y. et al. Deformable USV and Lightweight ROV Collaboration for Underwater Object Detection in Complex Harbor Environments: From Acoustic Survey to Optical Verification. Journal of Marine Science and Engineering. 2025. Vol. 13, no. 10. Art. 1862. DOI: 10.3390/jmse13101862.

[8] Wang Q. et al. HAUV-USV Collaborative Operation System for Hydrological Monitoring. Journal of Marine Science and Engineering. 2025. Vol. 13, no. 8. Art. 1540. DOI: 10.3390/jmse13081540.

[9] Dong P. et al. Long-Endurance Collaborative Search and Rescue Based on Maritime Unmanned Systems and Deep-Reinforcement Learning. Sensors. 2025. Vol. 25, no. 13. Art. 4025. DOI: 10.3390/s25134025.

[10] Yan J. et al. Cooperation Detection and Tracking of Underwater Target via Aerial–Surface–Underwater Vehicles. IEEE Transactions on Automatic Control. 2024. DOI: 10.1109/TAC.2024.3447976.

[11] Optimal Coverage Path Planning for UAV-Assisted Multiple USVs: Map Modeling and Solutions. Drones. 2025. Vol. 9, no. 1. Art. 30. DOI: 10.3390/drones9010030.

[12] Liu Y. et al. Cooperative Patrol Control of Multiple Unmanned Surface Vehicles for Global Coverage. Journal of Marine Science and Engineering. 2025. Vol. 13, no. 3. Art. 584. DOI: 10.3390/jmse13030584.

FUNCTIONING OF AN AUTOMATED COOPERATIVE CONTROL SYSTEM FOR USV–ROV–UAV

Nadtochiy Anatolii Viktorovych; Nadtochii Viktor Anatoliiovych; Burunin Andrii Pavlovych

Kherson Educational and Scientific Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The paper presents a functional architecture for cooperative control of an uncrewed surface vehicle, a remotely operated underwater vehicle and an unmanned aerial vehicle. A joint mission model coordinates task allocation, observation exchange and vehicle constraints. The operational sequence includes plan updates and responses to communication loss. Evaluation criteria are proposed for subsequent simulation and experimental verification.

Keywords: uncrewed surface vehicle, remotely operated underwater vehicle, unmanned aerial vehicle, cooperative control, marine robotics.

УДК 681.5:629.5

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПРИНЦИПУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА ГРУПИ КОМПЛЕКСІВ USV–ROV–UAV

Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
tasman.leh.85@gmail.com
Надточій В.А.,
кандидат технічних наук, доцент,
nva074@gmail.com
Бурунін А.П.,
PhD, доцент (посада, без вченого звання)
splashbox98@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна.

Анотація. Розглянуто модель групового функціонування п’яти безекіпажних надводних суден-носіїв, кожне з яких несе прив’язний підводний робот і безпілотний літальний апарат. Наведено математичний опис руху та обмежень трьох типів платформ і структурну схему їхньої взаємодії. За даними імітаційного моделювання зіставлено один комплекс і групу з п’яти комплексів за часом обстеження,

покриттям та ймовірністю виявлення. Модель може слугувати основою для синтезу алгоритмів кооперативного управління.

Ключові слова: група безекіпажних суден, прив'язний підводний робот, БПЛА, математична модель, структурна схема.

Вступ. Групове застосування безекіпажних суден-носіїв дозволяє паралельно обстежувати частини морської акваторії. Кожне судно транспортує ROV для підводного огляду та UAV для повітряного спостереження й ретрансляції даних. Математичне представлення такої системи має враховувати гідродинаміку, взаємні відстані між USV, просторові обмеження кабелів ROV та обмін інформацією [1–3].

Мета роботи – подати стислий математичний опис принципу групового функціонування комплексів USV–ROV–UAV і структурну схему взаємодії надводних, підводних і повітряних засобів.

Основна частина. Нехай група містить N суден-носіїв. Для i-го судна стан у горизонтальній площині описують вектори $\eta S_i = (x_i,\ y_i,\ \psi_i)^T$ та $\nu S_i = (u_i,\ v_i,\ r_i)^T$. Кінематика й динаміка судна мають вигляд $\dot{\eta} S_i = R(\psi_i)\nu S_i$; $MS_i \dot{\nu} S_i + CS_i(\nu S_i)\nu S_i + DS_i(\nu S_i)\nu S_i = \tau Si + wS_i$, де R – матриця повороту, MS_i – матриця інерції, CS_i – матриця коріолісових і відцентрових сил, DS_i – демпфування, τS_i – керувальні впливи, wS_i – зовнішні збурення [1]. Для збереження строю й безпечного розходження задають $d_{min} \le \|pS_i - pS_j\|$, а для визначених сусідніх суден контролюють відхилення від заданої відстані d_{ij}^* [2].

Прив'язний робот i-го комплексу описується просторовим станом $\eta R_i = (xR_i, yR_i, zR_i, \varphi R_i, \theta R_i, \psi R_i)^T$. Його динаміка враховує додаткові сили кабеля: $MR_i \dot{\nu} R_i + CR_i(\nu R_i)\nu R_i + DR_i(\nu R_i)\nu R_i + gR_i(\eta R_i) = \tau R_i + \tau cab,_i + wR_i$. Кабельне обмеження задають $\|pR_i - pS_i\| \le L_i$, де L_i – допустима довжина кабеля; під час групового використання необхідно також запобігати перетину кабельних ліній [1, 3].

Для UAV положення $pA_i = (xA_i, yA_i, zA_i)^T$ і режим польоту пов'язують із траєкторією судна-носія та районом огляду. У спрощеному описі $\dot{p}A_i = vA_i\ [\cos\theta_i\ \cos\psi A_i,\ \cos\theta_i\ \sin\psi A_i,\ \sin\theta_i]^T$. За радіуса спостереження R_i геометрична площа огляду одного UAV становить πR_i^2, але фактичне сумарне покриття групи потребує врахування перекриття зон та доступності даних [3].

Структурна схема на рис. 1 відображає N інтегрованих комплексів, пов'язаних груповим плануванням та обміном даними між USV. Кожний USV забезпечує локальне управління ROV через кабель і інформаційний зв'язок з UAV. Груповий рівень узгоджує маршрути суден і розподіл ділянок огляду; підводний та повітряний рівні передають результати спостережень через відповідні судна-носії.

Узагальнений стан групи $X = (\eta S1, \ldots, \eta SN, \eta R1, \ldots, \eta RN, pA1, \ldots, pAN)$ доповнюють даними про доступність каналів зв'язку. Показник якості можна визначити як $J = \alpha A_{cov} + \beta P_{det} - \gamma T - \delta E$, де A_{cov} – фактично покрита площа, P_{det} – імовірність виявлення, T – час місії, E – сумарні енерговитрати, а α, β, γ, δ – вагові коефіцієнти. Такий запис відображає критерії, та потребує узгодження одиниць й ваг перед оптимізацією.

Змодельовано район 25 км²: один комплекс обстежував його за 10,0 год, група з п'яти – за 6,2 год. Для цих сценаріїв наведено покриття 68 і 91 %, імовірність виявлення 0,72 і 0,89 та показник стійкості інформаційного обміну 76 і 93 % відповідно. Ці величини є результатами імітаційного сценарію, а не універсальними характеристиками будь-яких комплексів.

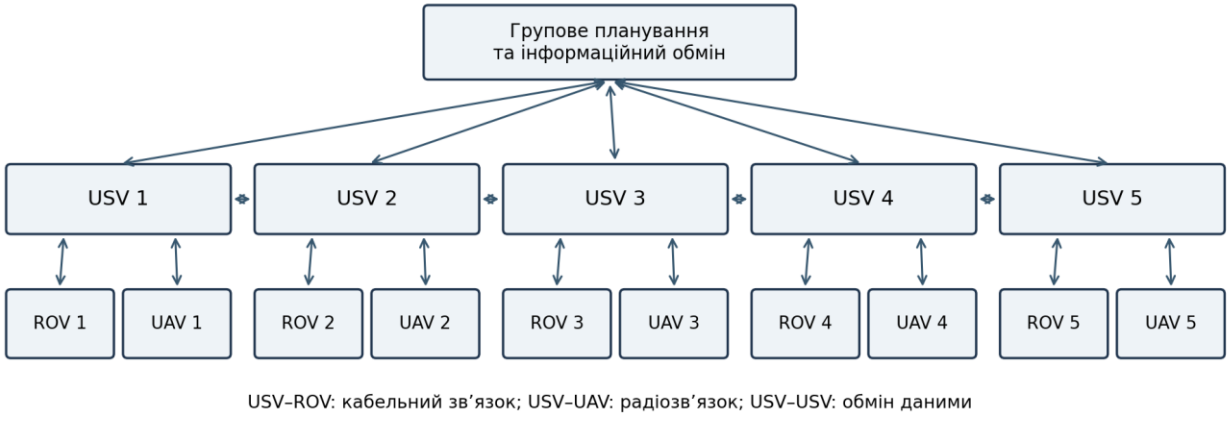


Рисунок 1 – Структурна схема групи з п'яти комплексів USV–ROV–UAV

Висновки. На основі моделі групового функціонування сформовано компактний опис руху USV, ROV та UAV, обмежень строю і кабелів та їхньої взаємодії на двох рівнях управління. Структурна схема показує п'ять суден-носіїв із прив'язними роботами й БПЛА та інформаційні зв'язки групи. Наведені результати моделювання характеризують виграш групового застосування в заданому сценарії; подальша робота потребує перевірки чутливості до параметрів акваторії, датчиків, зв'язку й збурень.

Література

[1] Fossen T. I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. 2nd ed. Wiley, 2021. DOI: 10.1002/9781119575016.

[2] Liu M., Li Y., Guo Y., Liu B. Formation Control for Mixed-Order UAVs–USVs–UUVs Systems under Cooperative and Optimal Control. Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, no. 4. Art. 704. DOI: 10.3390/jmse11040704.

[3] Li Y. et al. Deformable USV and Lightweight ROV Collaboration for Underwater Object Detection in Complex Harbor Environments: From Acoustic Survey to Optical Verification. Journal of Marine Science and Engineering. 2025. Vol. 13, no. 10. Art. 1862. DOI: 10.3390/jmse13101862.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE OPERATION AND STRUCTURAL DIAGRAM OF A GROUP OF USV–ROV–UAV COMPLEXES

Nadtochiy Anatolii Viktorovych; Nadtochii Viktor Anatoliiovych; Burunin Andrii Pavlovych

Kherson Educational and Scientific Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. A mathematical description of a group of five unmanned surface carriers, each equipped with a tethered ROV and a UAV, is presented. The structural diagram shows the connections within each complex and information exchange among the surface carriers. Surface motion, cable constraints, aerial observation and group performance criteria are summarized. The source article’s simulation results are reported for a specified 25 km² scenario.

Keywords: unmanned surface vessel, tethered ROV, UAV, group control, mathematical model, structural diagram.

СЕКЦІЯ 13. ОСВІТА ТА ПЕДАГОГІКА В 21 СТОЛІТТІ ВИКЛИКИ ТА ВІДПОВІДІ

УДК 378.6.147:7-042.3

МИСТЕЦЬКІ ПРАКТИКИ У КОНТЕКСТІ СУЧАСНОЇ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ

Мозговий В.Л.,
доктор педагогічних наук, професор,
в.о. заступника директора з навчально-наукової роботи
Навчально-наукового педагогічного інституту імені В. О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
viktor.mozgoviy@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглядається проблема запровадження мистецьких практик у систему вищої технічної освіти. Аналізується досвід європейських та американських закладів вищої освіти щодо реалізації синтезу мистецтва та технічної освіти. Наведено приклади реалізації означеної проблеми на практиці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Ключові слова: технічна освіта, синтез, мистецькі практики, підготовка фахівців технічного профілю.

Розвиток сучасного суспільства XXI століття остаточно визначив пріоритетом технологічну модернізацію усіх сфер виробництва на планеті, починаючи від побуту, та закінчуючи планами підкорення Всесвіту. Відтак цілком зрозумілими та виправданими є відповідні дії освітян, науковці у різних сферах виробництва щодо популяризації технічної творчості практично на всіх можливих рівнях суспільного розвитку, починаючи від професійного навчання особистості, професійної підготовки фахівців (профільні класи у межах загальної середньої освіти, допрофесійна технічна освіта, вища технічна освіта, науково-дослідні установи, лабораторії, технічні центри тощо), та закінчуючи творчим саморозвитком. Проте варто звернути увагу на суспільно-економічні висновки реалізації етапу індустріалізації суспільства та попередні результати переходу людства до постіндустріального (інформаційного) розвитку суспільства. У межах отриманих показників технологічного розвитку суспільства актуалізовано низку питань серед яких не останнє місце належить естетиці сучасного світу. Так, саме ідея розвитку прекрасного та вишуканого стала наріжним каменем і технологічної сфери виробництва. У результаті чого останнім часом почалося активне запровадження та реалізація синтезу мистецтва й технічної освіти, а в подальшому – перспектив естетизації технологій виробництва у різних сферах економічного розвитку суспільства. Для реалізації означеної проблеми сучасна освіта обґрунтувала певний науковий підхід, а саме: STEAM-підхід функціональність якого передбачає створення «…можливостей виховання творців нових знань, фахівців та новаторів, здатних на засадах сталого розвитку формувати вітчизняне громадянське суспільство, яке володіє різноманітними технологіями, зокрема цифровими, має сформовану наукову грамотність, комплексно розвинуту систему гнучких навичок, включаючи креативність, критичне мислення, адаптивність, здатність до співпраці, відкритої комунікації, інноваційність та ін.» [1, с. 4]. Проте реалізація означеного підходу потребує певних методично обґрунтованих та практично виважених кроків, які повинні сформувати мотивацію щодо реалізації на практиці синтезу мистецтва та технічної освіти.

Українська технічна освіта тривалий час (особливо за радянського періоду існування) залежала від тотальної плановості та суто номенклатурної системи управління науково-технічним прогресом країни. Це на довгий час призупинило активний творчий розвиток обдарованих у технічній сфері особистостей, і відкинуло назад певні сфери технічного виробництва країни. Ще гіршими наслідками такої ситуації став відтік висококваліфікованих, творчих технічних кадрів за кордон. Технічний занепад ключових сфер виробництва країни спричинив суттєві кризи у виробничій (машинобудування, кораблебудування, комп'ютерна інженерія, енергетика, хімічна промисловість тощо), військово-оборонній, екологічній, освітній та інших сферах соціально-економічного розвитку країни. Ті традиції в технічній освіті, що десятиліттями формували українську технічну освіту та науку на сьогодні не можуть певною мірою забезпечити виклики, які порушує сучасний, технічно-модернізований світ. У сучасних інженерів спостерігається брак абстрактного мислення, генерації креативних ідей та нестандартних підходів щодо вирішення суто технологічних завдань. Розвиток лишень технологічного мислення майбутніх фахівців технічного профілю уже не задовольняє сучасні сфери виробництва. Окрім того, варто звернути увагу на

той факт, що у сучасному світі щороку зникає певна кількість професій, які були пов'язані лишень із виконання певних операцій. Сучасні комп'ютери, роботизовані лінії, штучний інтелект успішно замінюють людину у досить складних, технологічних процесах. Але поряд навіть із цим фактом економічно-розвинені країни все рівно не полишають поза увагою проблему естетичного розвитку технічної науки. Сучасні роботи володіють загальновизнаною, міжнародною мовою комунікації (англійською), мають естетично-привабливий вигляд (біологічний дизайн, сучасний одяг тощо), володіють правилами етикету та ін. Сучасна вітрова генерація енергії вирішує не лишень суто виробничі завдання а шукає найбільш привабливі дизайнерські рішення щодо розробки зовнішнього вигляду установок, органічно вписуючись у природні ландшафти місцевості. Сучасні круїзні лайнери – це практично маленькі мегаполіси на воді, які створюють максимальний комфорт для відпочиваючих та мають привабливий естетичний формат. Таким чином, варто погодися із думкою, що сучасний світ на полишає ідеї гармонійного, естетичного розвитку людства у перспективних планах інформаційного розвитку.

У зв'язку із зазначеними вище позиціями цілком зрозумілим є факт усвідомленого програмового синтезу мистецтва і технічної освіти у контексті вирішення сучасних завдань поліпшення існування людства на планеті. Варто зазначити, що цю проблему взяла у теоретичну та практичну розробку значна кількість університетів Європи та США. Доцільно звернути увагу на досвід Європейської та Американської сучасної технічної освіти, яка упродовж багатьох десятиліть, а подекуди й століть, шукали шляхи об'єднання мистецтва та технічної освіти. Так, Технічний університет Берліна має у своїй структури кафедру історії модерногового мистецтва (Fachgebiet Kunstgeschichte der Moderne), що входить до складу Інституту мистецтвознавства та історичної урбаністики Факультету гуманітарних і освітніх наук. Одним із завдань роботи кафедри є дослідження естетичних, соціальних, політичних та інституційних аспектів культурної історії, матеріальності починаючи з XVIII століття [2, с. 1]. Окрім того, що технічні університети Європи шукають шляхи реалізації мистецького синтезу у більш-менш взаємодоповнюючих сферах (дизайн і архітектура, дизайн і кораблебудування, живопис і містобудування, скульптура і робототехніка, та ін.) – мають місце практики, що суто екстраполярні основному освітньому напряму. Так, у Оснабрюкському університеті прикладних наук (University of Applied Sciences Osnabrück) у Нижній Саксонії (Німеччина) успішно функціонують Факультет менеджменту, культури та технологій (кампус Лінген) та Інститут музичних мистецтв (кампус Капріві). Щодо першого, то варто зазначити, що у межах запропонованих спеціальностей студенти можуть опанувати напрям «Театральна педагогіка», а перелік спеціальностей Інституту музичних мистецтв пропонує вивчення джазу, сучасної музики, року та інших напрямів сучасного музичного мистецтва.

Заслуговує також на увагу досвід мистецьких практик Массачусетського технологічного інституту (м. Кембридж, штат Массачусетс, США), який успішно реалізував синтез технічної освіти та мистецтва у межах університетського музею витворів мистецтва. Виставки музею включають у себе: найповнішу у світі колекцію голографії; унікальну колекцію морського живопису; колекцію складання паперу; колекцію кінетичного мистецтва та колекцію візуальних досліджень. У суто технічному університеті функціонує школа гуманітарних наук, мистецтв та соціальних наук, яка пропонує освіту у сфері філології, історії, філософії, мистецтва, мов, економіки, політології та інших гуманітарних та соціальних наук [3, с. 1]. Наявність глибоко інтегрованих мистецьких практик і професійну освіту фахівців технічного профілю створює унікальні освітньо-творчі та науково-технічні можливості для професійного розвитку фахівців для різних сфер виробництва.

Узагальнюючи наведені факти, варто також зазначити, що у межах функціонування української технічної освіти є теж досить цікаві приклади запровадження мистецьких практик у систему підготовки фахівців технічного профілю. Так, у Національному університету кораблебудування упродовж багатьох років існує школа виготовлення моделей кораблів, які є важливою частиною експозицій університетських музеїв, зокрема Меморіального музею адмірала С. О. Макарова та Музею історії НУК. Такий формат мистецько-творчої реалізації ідей студентів і викладачів є досить важливою складовою всебічного розвитку майбутніх фахівців суднобудівної сфери. До того ж варто додати, що упродовж багатьох років у межах функціонування Гуманітарного інститут НУК імені адмірала Макарова успішно функціонує та проводить підготовку фахівців мистецького напряму кафедра дизайну. Роботи студентів та викладачів постійно виставляються в університетській виставковій залі «Арго», тим самим популяризуючи не лишень мистецькі здобутки кафедри, а й залучають співробітників університету до спілкування із образотворчим мистецтвом. Починаю з 2025 року до структури Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова було приєднано Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського у складі якого функціонує кафедра музичного мистецтва. Відтак, сучасний формат мистецьких практики НУК імені адмірала Макарова збагатився ще одним мистецьким напрямом – музичне мистецтво. Цілком зрозуміло, що наявність у технічному ЗВО значної мистецької складової сприятиме розширенню варіацій майбутніх спеціальностей, а варіативність міждисциплінарних зв'язків, формувати нові вектори

професійного саморозвитку майбутніх фахівців технічної сфери виробництва на основі сучасних мистецьких практик.

Література

[1] STEAM-освіта: від теорії до практики (методичний посібник) / Н. І. Поліхун, К. Г. Постова, Г. В. Онопченко, І. М. Шеченко. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 20023. 127 с.

[2] Технічний університет Берліна (TU Berlin). URL: https://simplex.ua/program-tekhnicheskij-yniversitet-berlina (дата звернення: 23.07.2026 р.)

[3] Массачусетський технологічний університет (MIT). URL: https://world-study.ua/uk/education/usa/universities/massachusetskyj-tehnologycheskyj-ynstytut/ (дата звернення: 27.07.2026 р.)

ARTISTIC PRACTICES IN THE CONTEXT OF MODERN TECHNICAL EDUCATION

Viktor Mozghovyi

V.O. Sukhomlinskyi Educational and Research Pedagogical Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The theses consider the problem of introducing artistic practices into the system of higher technical education. The experience of European and American higher education institutions in implementing the synthesis of art and technical education is analyzed. Examples of the implementation of the specified problem in the practice of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding are given.

Keywords: technical education, synthesis, artistic practices, training of technical specialists.

УДК 37.018(438+477)

ОСВІТНЯ СИСТЕМА УКРАЇНИ ТА ПОЛЬЩІ: КОМПАРАТИВНИЙ АНАЛІЗ

Буглай Н.М.,

доктор історичних наук, професор

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

e-mail: buglay@ukr.net

Анотація. Аналізуються українська та польська освітні системи на рівнях загальної середньої та вищої освіти. Порівняльний аналіз дає підстави констатувати, що досліджувані освітні системи мають спільне структурне підґрунтя, зумовлене історичною близькістю обох держав та їхньою участю в Болонському процесі, але, водночас, суттєво різняться. Окреслюються перспективи подальших досліджень у контексті реформування освітньої системи України, зважаючи на досвід Польщі.

Ключові слова: система освіти, загальна середня освіта, вища освіта, Україна, Польща, компаративний аналіз, заклади освіти.

Освіта як соціальний інститут виконує визначальну функцію у формуванні людського капіталу та забезпеченні суспільного прогресу, у зв’язку із чим компаративне дослідження освітніх систем сусідніх країн становить один із дієвих інструментів виявлення їхніх сильних і слабких сторін. Республіка Польща та Україна, попри спільність історичного розвитку, сформували системи освіти, яким притаманні як структурна подібність, так і принципові відмінності у змісті й організації навчального процесу, на всіх освітніх рівнях – від загальної середньої до вищої освіти.

Метою роботи є порівняльний аналіз української та польської систем освіти на рівнях загальної середньої та вищої освіти, встановлення спільних і відмінних структурних характеристик.

Слід констатувати, що конституційне право на освіту гарантується в обох державах усім особам, які проживають на їхній території. Загальна логіка побудови обов’язкової середньої освіти, кількість освітніх ступенів та послідовність їх проходження в Україні й Польщі значною мірою тотожні, водночас тривалість окремих освітніх етапів та підходи до оцінювання навчальних досягнень характеризуються істотними відмінностями. Етап початкової освіти в Польщі триває з першого до восьмого класу та є еквівалентним етапам початкової та базової середньої освіти в Україні. Він є коротшим за український відповідник на один рік, що зумовлює необхідність більш раннього професійного самовизначення польських учнів. Водночас, завершальний етап обов’язкової загальної середньої освіти в польських закладах здебільшого триває довше. Навчання у старшій школі становить чотири або п’ять років, у ліцеях та технікумах, відповідно. Отже, українські випускники отримують документ про здобуття середньої освіти раніше за польських. Відмінності спостерігаються й у системі оцінювання навчальних досягнень: в Україні застосовується дванадцятибальна шкала, тоді як у Польщі, шестибальна [1, с. 27–32, 5].

Аналіз змісту навчальних програм засвідчує, що значна частина дисциплін що вивчаються у середній школі є спільною для обох освітніх систем, а саме: рідна мова, іноземна мова, музичне мистецтво, образотворче мистецтво, історія, природознавство, географія, біологія, хімія, фізика, математика, інформатика та фізична культура. Водночас, українська освітня програма додатково передбачає, наприклад, вивчення основ правознавства, яке відсутнє в переліку польських навчальних дисциплін. Своєю чергою, польська освітня програма передбачає викладання, у старшій школі, такого обов'язкового предмета як профорієнтація. Крім того, вона охоплює такі предмети як підготовка до сімейного життя, етика або релігія (за вибором) які не представлені в українських програмах [4, 5].

Системи вищої освіти обох держав побудовані на засадах Болонського процесу, що передбачає уніфіковану структуру навчання, академічну мобільність та взаємне визнання кваліфікацій між сорока сімома державами-учасницями. Разом із тим, Польща долучилася до цього процесу раніше – у 1999 р., тоді як Україна – у 2005 р. Це частково пояснює певне випередження польської системи у розвитку окремих освітніх практик. Істотні відмінності спостерігаються й в організації навчального процесу в закладах вищої освіти обох країн. ЗВО у Республіці Польща поділяються на державні та приватні, академічні та професійні. Основними їх типами є: університети, технічні університети та політехніки, профільні університети та академії, вищі школи та колегії. В Україні існують наступні їх типи: університети (багатогалузеві або галузеві), академії та інститути (галузеві), коледжі (ЗВО або структурний підрозділ університету, академії чи інституту) які функціонують як державні, комунальні або ж, як приватні. Навчальний рік у Польщі починається 1 жовтня, тоді як в українських ЗВО, здебільшого, 1 вересня. Організація навчального процесу в Польщі передбачає розподіл дисциплін на лекційні та семінарські заняття, при цьому семінарські завершуються до початку сесії, а лекційні, тривають до сесії та завершуються підсумковою атестацією. У польських закладах вищої освіти домінує письмова форма контролю знань, тоді як в українських університетах усний іспит, під час сесії, залишається найбільш поширеною формою підсумкового контролю.

У польських ЗВО функціонує Університетська системи обслуговування процесу навчання (USOS) яка акумулює вичерпну інформацію для здобувача освіти, а саме: перелік навчальних дисциплін, контактні дані викладачів, розклад занять, поточну успішність та відомості про одногрупників. Дещо подібним до неї є український цифровий інструмент звітності «Деканат». Не дивлячись на схожість виконуваних функцій, названі системи мають значні відмінності щодо масштабів та прозорості процесів, автономії здобувачів освіти. Перш за все, «Деканат» є системою внутрішньої звітності деканатів, а здобувачу освіти доступний тільки готовий результат. USOS же, створений для вільної взаємодії, за якої студент має можливість самостійно керувати власним навчальним планом [2; 3; 6].

Компаративний аналіз переваг і недоліків обох систем засвідчує, що українська система вищої освіти приваблює, насамперед, забезпеченням більшої кількості бюджетних місць для громадян країни, ніж польська для іноземців. У той самий час, українські заклади вищої освіти функціонують в умовах недостатнього фінансування, що негативно позначається на якості навчально-методичного забезпечення. Обмеженими залишаються і можливості міжнародної академічної мобільності, які додатково звузилися з початком повномасштабного вторгнення. До переваг польської системи вищої освіти належать: можливість здобуття освіти англійською мовою, спрощений, на відміну від українських ЗВО, доступ до програм міжнародного обміну, зокрема Erasmus, і внутрішньопольської програми MOST [3; 6].

Проведений компаративний аналіз дає підстави констатувати, що освітні системи України та Польщі мають спільне структурне підґрунтя, зумовлене історичною близькістю обох держав та їхньою участю в Болонському процесі, але водночас, суттєво різняться тривалістю окремих освітніх етапів, змістом навчальних програм, організацією навчального року, форматом підсумкової атестації. Українська система вирізняється вищим рівнем фінансової доступності та можливістю здобуття освіти у звичному мовному й соціальному середовищі, тоді як польська система характеризується сучаснішою матеріально-технічною базою та ширшими можливостями міжнародної академічної мобільності. Перспективу подальших досліджень убачаємо в аналізі динаміки реформування вітчизняної системи вищої освіти з урахуванням польського досвіду.

Література

[1] Нова українська школа як складова інтеграції України в європейський освітній простір (індикатори успіху / за ред. Г. М. Терещенко. ДНУ «Інститут освітньої аналітики». Київ, 2023. 12 с.

[2] Про вищу освіту: Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII. Редакція.від.31.07.2026. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text. (дата звернення: 13.08.2026).

[3] Rączka P., Jędrzejewski T. Types and names of higher education institutions in the Polish system of higher education and science. *Studia Iuridica Toruniensia*. Online. 17 April 2023. Vol. 31, № 2,P. 335–349. (вища освіта польська).

[4] Shulha K. Systemy edukacyjne w Polsce i Ukrainie w perspektywie porównawczej educational systems in Poland and Ukraine from comparative perspective. *Youth in Central and Eastern Europe*. Vol. 13 №. 20. 2025. pp. 27–32.

[5] Ustawa z dnia 14 grudnia 2016 r. Prawo oświatowe. URL: https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20170000059 (дата звернення: 13.08.2026).

[6] Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. URL: https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20180001668 (дата звернення: 13.08.2026).

EDUCATION SYSTEM OF UKRAINE AND POLAND: COMPARATIVE ANALYSIS

Buhlai Natalia
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This study analyzes the Ukrainian and Polish educational systems at the levels of general secondary and higher education. A comparative analysis provides grounds for concluding that the educational systems under study share a common structural foundation, stemming from the historical proximity of the two countries and their participation in the Bologna Process, but at the same time differ significantly. The paper outlines prospects for further research in the context of reforming Ukraine's educational system, drawing on Poland's experience.

Keywords: education system, general secondary education, higher education, Ukraine, Poland, comparative analysis, educational institutions.

УДК 681.5

КОНЦЕПЦІЯ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ПРОЄКТУ «ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ "AUV SIM" У НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ПРОЦЕС КАФЕДРИ

Блінцов В.С.,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
bvs050803@ukr.net
Надточій І.І.,
доктор економічних наук, професор,
заступник директора ХННІ з навчально-методичної та наукової роботи
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,м. Миколаїв, Україна
nira@ukr.net
Буруніна Ж.Ю.,
кандидатка технічних наук,
доцент кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
seaman9996@gmail.com
Грудініна Г.С.,
кандидатка технічних наук,
доцент кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
hanna.hrudinina@nuos.edu.ua
Надточій В.А.,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
nva074@gmail.com
Надточий А.В.,
кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
tasman.leh.85@gmail.com

Анотація. Концепція визначає стратегічні засади, основні напрями, механізми та очікувані результати впровадження програмного забезпечення "AUV Sim" у навчально-науковий процес кафедри автоматики та електроустаткування ХННІ НУК. Реалізація проєкту спрямована на модернізацію освітнього

процесу, розвиток наукових досліджень у сфері морської робототехніки, підвищення якості підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Розглянуті ризики реалізації проєкту та заходи щодо їх мінімізації утворюють методологічну основу його успішної реалізації.

Ключові слова: навчально науковий проєкт, прикладне програмне забезпечення, ризики проєкту.

Вступна частина. Сучасний розвиток морської робототехніки, автоматизації та інтелектуальних систем керування потребує використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє здійснювати комп'ютерне моделювання складних технічних систем в умовах, максимально наближених до реальних. Виходячи з цього, кафедра автоматики та електроустаткування ХНМІ спільно з Науково-дослідним інститутом підводної техніки НУК започаткувала концепцію провадження прикладного програмного забезпечення (ППЗ) "AUV Sim" у навчальний процес, яка була схвалений Вченою радою ХНМІ 19.06.2026 р.

Актуальність реалізації концепції обумовлена необхідністю:

– модернізації освітнього процесу на основі цифрових технологій;
– розвитку практикоорієнтованої підготовки здобувачів освіти;
– впровадження інструментів цифрового моделювання морської техніки;
– розвитку наукових досліджень у галузі морської робототехніки;
– посилення міждисциплінарної підготовки фахівців;
– забезпечення відповідності освітніх програм сучасним тенденціям розвитку автоматизації та робототехніки;
– підвищення конкурентоспроможності випускників на ринку праці;
– забезпечення вимог Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти щодо практичної спрямованості освітніх програм та використання сучасної матеріально-технічної бази.

Впровадження "AUV Sim" компанії "Dynautics Ltd" (Англія) забезпечить:

– модернізацію освітнього процесу за спеціальністю G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»;
– посилення практичної складової підготовки здобувачів освіти;
– інтеграцію сучасних цифрових технологій у навчальний процес;
– розвиток наукових досліджень у сфері морської робототехніки;
– підвищення конкурентоспроможності освітніх програм;
– забезпечення відповідності освітніх програм сучасним вимогам ринку.
– посилення доказової бази під час акредитації освітніх програм.

Очікується, що використання "AUV Sim" дасть змогу здійснювати повноцінне моделювання автономних підводних апаратів без проведення дороговартісних натурних експериментів та дасть можливість виконувати навчальні і наукові дослідження у безпечному цифровому середовищі.

Мета роботи. Метою роботи є обговорення напрямків роботи кафедри щодо створення сучасного навчально-наукового середовища для підготовки конкурентоспроможних фахівців у галузі автоматизації, робототехніки та морських автономних систем шляхом впровадження програмного забезпечення "AUV Sim" у освітню та наукову діяльність кафедри.

Основна частина. Практична реалізація концепції вбачається у наступних заходах:

– створення лабораторії дослідження керованої динаміки автономних підводних апаратів (в англ. літературі – Autonomous Underwater Vehicle, AUV);
– інтеграція "AUV Sim" в освітні програми бакалаврського, магістерського та PhD рівнів та створення сучасного навчально-методичного забезпечення;
– впровадження "AUV Sim" у курсове та кваліфікаційне проєктування;
– розвиток наукових досліджень з автоматичного керування AUV;
– залучення здобувачів освіти до наукових досліджень з використанням "AUV Sim".

Реалізація навчально-наукового проєкту планується в умовах постійного розвитку цифрових технологій, оновлення освітнього середовища та розширення напрямів навчальних і наукових досліджень [1–4].

У процесі впровадження прикладного програмного забезпечення "AUV Sim" очікується виникнення окремих організаційних, методичних, технічних та наукових ризиків, які здатні впливати на досягнення запланованих результатів проєкту. Вказані ризики доцільно аналізувати з використанням методології SWOT-аналізу [5]. З метою забезпечення ефективного виконання проєкту нижче наведено аналіз потенційних ризиків, виконано оцінку їх можливих наслідків та визначено комплекс заходів щодо їх попередження і мінімізації (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Основні ризики реалізації проєкту та заходи щодо їх мінімізації

№	Потенційний ризик	Можливі наслідки	Заходи щодо мінімізації
1	Недостатній рівень підготовки науково-педагогічних працівників до використання ППЗ	Зниження ефективності впровадження програмного забезпечення	Проведення навчально-методичних семінарів, самоосвіта викладачів, щодо використання ППЗ
2	Обмежене використання можливостей ППЗ	Неповна реалізація потенціалу програмного забезпечення	Розробка нових освітніх компонентів, лабораторних робіт, практичних кейсів та методичних матеріалів
3	Недостатня інтеграція результатів проєкту в освітні програми та навчально-методичне забезпечення	Зниження впливу проєкту на якість підготовки здобувачів освіти	Оновлення освітніх програм, робочих програм навчальних дисциплін та силабусів із врахуванням можливостей ППЗ
4	Недостатнє залучення здобувачів освіти до роботи з програмним забезпеченням	Зниження практичної та дослідницької складової підготовки	Використання ППЗ під час виконання лабораторних, курсових та кваліфікаційних робіт, залучення студентів до наукових гуртків та досліджень
5	Відсутність достатньої кількості наукових результатів за підсумками реалізації проєкту	Зниження наукової результативності впровадження ППЗ	Планування та виконання наукових досліджень, підготовка публікацій, участь у конференціях та грантових проєктах
6	Недостатня доказова база для використання результатів проєкту під час акредитації освітніх програм	Неповне відображення результатів проєкту в процедурах внутрішнього та зовнішнього забезпечення якості освіти	Систематичне накопичення матеріалів щодо результатів використання ППЗ, формування електронного портфоліо проєкту та документування освітніх і наукових результатів

Очікується, що успішна реалізація проєкту буде спрямована на створення сучасного навчально-наукового середовища для підготовки фахівців у галузі автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки, розширення можливостей проведення наукових досліджень у сфері морської робототехніки, підвищення ефективності використання цифрових технологій у навчальному процесі та вдосконалення освітніх програм відповідно до сучасних вимог розвитку науки, техніки й ринку праці

Висновки. Таким чином, у роботі досліджено процес планової інтеграції спеціалізованого програмного забезпечення "AUV Sim" у навчальну та науково-дослідну діяльність кафедри автоматики та електроустаткування ХНМІ. Використання методології SWOT-аналізу дозволило систематизувати ключові фактори внутрішнього і зовнішнього турбулентного середовища, які суттєво впливають на продуктивність та загальну ефективність проєкту реалізації концепції. У якості заходів з мінімізації ризиків для успішної реалізації концепції пропонується виконувати систематичне підвищення кваліфікації науково-педагогічного персоналу, залученого до її реалізації, та широке впровадження пакету прикладних програм "AUV Sim" в академічні дослідження здобувачів третього освітньо-наукового рівня НУК.

Література

[1] Управління інноваційною діяльністю підприємств та організацій морегосподарського комплексу: монографія / С. І. Бай, В. С. Блінцов, С. Д. Бушуєв та ін. – Миколаїв: видавець Торубара О. С., 2013. – 44 с.

[2] Управління успішними проєктами створення складної техніки : Монографія / Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов, Є. А. Дружинін, С. Г. Кійко, Н. Р. Книрік, К. В. Кошкін, Д. М. Крицький, С. С. Рижков, С. О. Слободян, Т. А. Фаріонова. – Миколаїв : Видавництво Торубари В. В., 2017. – 33 с.

[3] Підводна археологія північного Причорномор'я : Стан та перспективи розвитку : монографія / М. М. Ієвлев, О. В. Чубенко, В. С. Блінцов, А. В. Надточий. – Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2019. – 33 с.

[4] Fundamentals of automatic control of a group of autonomous underwater vehicles : Monograph / ed. V. Blintsov. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. 192 p.

[5] Словник-довідник з питань управління проєктами / Бушуев С.Д. Украинская ассоциация управления проєктами. – К.: Издательский дом «Ділова Україна», 2001. – 64 с.

CONCEPT OF THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC PROJECT "IMPLEMENTATION OF AUV SIM APPLICATION SOFTWARE" INTO THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC PROCESS OF THE DEPARTMENT

Blintsov Volodymyr, Nadtochii Iryna Ihorivna, Burunina Zhanna Yuriivna, Hrudinina Hanna Serhiivna, Nadtochii Viktor Anatoliiovych, Nadtochyi Anatolii Viktorovych

Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding. Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The concept defines the strategic principles, main directions, mechanisms and expected results of the implementation of the software "AUV Sim" in the educational and scientific process of the Department of Automation and Electrical Equipment of the Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding. The implementation of the project is aimed at modernizing the educational process, developing scientific research in the field of marine robotics, improving the quality of training of higher education applicants in the specialty G7 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". The considered risks of the project implementation and measures to minimize them form the methodological basis for its successful implementation.

Keywords: educational and scientific project, applied software, project risks.

УДК 378:159.922

ПРИНЦИПИ НАВЧАННЯ У ВИЩІЙ ШКОЛІ: ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПОЧАТКОВИХ КЛАСІВ

Михальченко Н.В.,
доктор педагогічних наук, кандидат психологічних наук,
заступник директора з навчально-наукової роботи
ННІПІ імені В.О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
madamnatali1976@ukr.net

Анотація. Проаналізовано принципи навчання у вищій школі як підґрунтя авторської концепції підготовки майбутніх вчителів початкових класів до розвитку рефлексії молодших школярів. Розвиток рефлексії у дітей залежить від того, як ставиться вчитель до їх формування та розвитку. Для реалізації принципів педагогічної науки в Новій українській школі необхідна цілеспрямована підготовка вчителів початкових класів, готових до розвитку рефлексії молодших школярів під час навчальної діяльності.

Ключові слова: професійна підготовка, принципи навчання у вищій школі, рефлексія молодшого школяра, методологічні підходи.

Професійна підготовка майбутнього вчителя початкових класів є головною детермінантою у розвитку рефлексії молодших школярів. Розвиток власних якостей дасть змогу сформувати справжню освічену особистість, який характеризується позитивною «Я-концепцією» професіонала та високим рівнем розвитку особистісної рефлексії. Період підготовки до професійної діяльності може оперувати гіпотетичними твердженнями, уявленнями, які фігурують тільки у думках, незалежно від можливості їх конкретно перевірити. В контексті цього постає необхідність обґрунтування принципів навчання в вищій школі в процесі підготовки майбутніх учителів початкових класів до розвитку рефлексії молодших школярів. Для реалізації принципів педагогічної науки в Новій українській школі необхідна цілеспрямована підготовка вчителів початкових класів, готових до розвитку рефлексії молодших школярів під час навчальної діяльності.

Теоретико-практичні засади формування загальних і фахових компетенцій майбутніх учителів проаналізовані А. Ващенком, Л. Горюновою, О. Комар, Н. Ничкало. Підготовка майбутніх вчителів до реалізації професійної діяльності визначена в наукових працях вчених (І. Зязун, В. Кремінь, О. Савченко, М. Євтух, В. Лозова, О. Ярошенко, О. Мітіна, О. Коваленко та ін.).

Метою дослідження є обґрунтування принципів навчання у вищій школі в процесі підготовки майбутніх учителів початкових класів до розвитку рефлексії молодших школярів.

Концепція професійної підготовки майбутніх учителів початкових класів до розвитку рефлексії молодших школярів – це система організаційно-педагогічних умов, спрямованих на формування компетентності шляхом включення до практик ключових методологічних підходів, що дозволить майбутнім учителям організовувати освітній процес на засадах навчальної діяльності молодших школярів. З огляду на розвиток змісту професійної підготовки здобувачів, важливим аспектом є розуміння основних

підходів до вивчення предмета професійної підготовки. Методологічні підходи реалізуються у площині певних принципів як вихідних педагогічних положень підготовки майбутніх учителів початкових класів до розвитку рефлексії. Аналіз сучасних наукових досліджень дозволяє сформулювати загальнонаукові та специфічні принципи підготовки фахівців.

Принципи навчання вищої школи, за визначенням А.І. Кузьмінського [5, с. 221], це вихідні положення теорії навчання. Вони є загальним орієнтиром для визначення змісту, засобів, форм, методів організації навчання. У нашому дослідженні зупинимося на з'ясуванні сутності традиційних принципів дидактики вищої школи, які є важливими в реалізації підготовки майбутніх вчителів початкових класів до розвитку рефлексії молодших школярів та визначимо сучасні тенденції.

Зважаючи на необхідність упровадження цілісного підходу до поданої методології, основними принципами підготовки майбутніх вчителів початкових класів до розвитку рефлексії молодших школярів визначаємо наступні: принцип науковості, принцип системності, принцип свідомості, принцип наочності, принцип активності та самостійності, принцип ґрунтовності, принцип єдності освітньої, розвивальної та виховної функцій, принцип зв'язку навчання з життям, з практичною діяльністю, принцип індивідуального підходу, принцип студентоцентризму, принцип гуманізації та демократизації.

Так, О. Акімова [1, с. 86] визначає принцип науковості як відповідність змісту освітньо-професійної програми стану сучасної науки, техніки, цифрових технологій, економіки, ринку праці, основних засад упровадження інклюзії в суспільстві тощо.

На думку Ю.Є. Зубцової [3, с. 133], принцип системності забезпечує здійснення професійної підготовки як системи структурно-функціональних зв'язків елементів (змісту, методів, засобів реалізації діяльнісного підходу в початковій школі); глибоке усвідомлення та структурування отриманої інформації; урахування наступності між етапами підготовки (курсами навчання, рівнями здобуття освіти).

Принцип свідомості навчання спонукає майбутніх вчителів початкових класів до осмислення, самостійного пошуку та активної участі.

Принцип наочності, акцентує А.І. Кузьмінський [5, с. 225], з одного боку, випливає із закономірностей процесу пізнання, початковим компонентом якого є споглядання явищ, процесів, дій, предметів, а з іншого – у процесі пізнання людина використовує першу сигнальну систему, зокрема, зорову пам´ять.

Очевидно, принцип активності й самостійності дозволяє майбутньому вчителю початкових класів виявляти ініціативу, прагнути до самостійного пошуку знань, брати участь у дискусіях, вирішувати проблемні завдання, а не просто слухати лекції.

На думку Ю.Є. Зубцової [3, с. 133] принцип активізації самостійної роботи реалізується шляхом навчання здобувачів прийомам самостійної пізнавальної діяльності; організації студентів для самостійного одержання знань; залучення до проблемно-пошукових та творчих завдань; розвиток здатності самостійно приймати рішення; формування потреби у самовдосконаленні та саморозвитку.

Принцип ґрунтовності у вищій школі – це вимога, щоб знання, вміння та навички студентів були глибокими, міцними, довготривалими, систематизованими та легко застосовувалися в різних ситуаціях, вимагаючи постійного підкріплення, активної розумової праці, самостійного навчання та використання різноманітних методів і прийомів для якісного засвоєння матеріалу, що слугує основою для подальшого професійного зростання.

Принцип єдності освітніх, розвивальних і виховних функцій характеризується інтеграцією змісту. Навчальні дисципліни плануються так, щоб крізь них проходили не лише професійні знання, але й виховні ідеї та розвивальні завдання.

Принцип зв'язку навчання з життям означає, що освітній процес має спиратися на реальний досвід здобувачів, демонструвати практичну значущість знань, показуючи, як їх застосовувати у повсякденні, на виробництві та в суспільстві, залучаючи школярів до розв'язання проблем і практичної діяльності для міцного засвоєння матеріалу та формування навичок.

На наш погляд, важливими є також сучасні принципи: принцип індивідуального підходу, принцип студентоцентризму, принцип гуманізації та демократизації.

Таким чином, існуючі в системі підготовки вчителів початкових класів протиріччя значною мірою спричинені недостатньою визначеністю її теоретико-методологічних засад. Сучасні реалії диктують необхідність своєчасного і якісного реагування і переосмислення усталених підходів до організації і здійснення фахової підготовки спеціалістів. Складність і багатоплановість завдань, пов'язаних із формуванням професійно дослідницьких компетентностей студентів, вимагають опори на сучасні підходи до організації навчально-виховного процесу у вищій педагогічній школі.

Література

[1] Акімова О. Принципи підготовки майбутніх учителів початкових класів до реалізації різноманітних ролей в інклюзивному освітньому просторі. Освітні обрії. Том 57 № 2. ч. 1. 202 с. 85–88. DOI: https://doi.org/10.15330/obrii.57.2.85-88

[2] Бех І. Д. Гуманізація виховного процесу . Київ, Сімферополь: Універсум, 2013. С. 33–34.
[3] Зубцова Ю.Є. Концепція підготовки майбутніх учителів початкових класів до впровадження діяльнісного підходу. Інноваційна педагогіка: теорія і методика професійної освіти. Випуск 82. Том 1. 2025. С. 131–135.
[4] Костюк Г.С. Навчально-виховний процес і психічний розвиток особистості / За ред. Л. М. Проколієнко. Київ, 1989. 60 с.
[5] Кузьмінський А.І. Педагогіка вищої школи: навчальний посібник. Київ: Знання, 2011. 486 с.

PRINCIPLES OF HIGHER EDUCATION: TRAINING FUTURE ELEMENTARY SCHOOL TEACHERS

Mykhalchenko Nataliia Vyacheslavivna
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This paper analyzes the principles of higher education as the foundation for the author's concept of preparing future elementary school teachers to foster reflection in younger students. The development of reflection in children depends on the teacher's approach to its formation and development. To implement the principles of educational science in the New Ukrainian School, it is necessary to provide targeted training for elementary school teachers who are prepared to foster reflection in younger students during learning activities.

Keywords: vocational training, principles of higher education, reflection among elementary school students, methodological approaches.

УДК 378.014.6:005.6(4)

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Нефьодов Д.В.,
доктор історичних наук, доцент,
в. о. професора кафедри історії
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
dmytro.nefydov@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах узагальнено зарубіжний досвід забезпечення якості вищої освіти в умовах формування інноваційного освітнього простору. Розглянуто основні підходи до забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти та значення європейських стандартів і рекомендацій ESG для розвитку внутрішніх і зовнішніх механізмів забезпечення якості. Визначено основні складові якості вищої освіти, серед яких якість професорсько-викладацького складу, навчально-методичного забезпечення та підготовки здобувачів освіти. Акцентовано увагу на інституційній автономії закладів вищої освіти, студентоцентрованому навчанні, участі стейкхолдерів, академічній доброчесності, цифровізації освітнього процесу та професійному розвитку викладачів. Охарактеризовано окремі особливості забезпечення якості вищої освіти в Австрії, Нідерландах, Ірландії, Норвегії, Німеччині, Франції та Данії. Встановлено, що, попри відмінності національних моделей, спільними тенденціями є посилення відповідальності закладів вищої освіти за якість освітньої діяльності, розвиток внутрішньої культури якості, застосування інноваційних освітніх практик та орієнтація на принципи Європейського простору вищої освіти.

Ключові слова: академічна доброчесність, вища освіта, Європейський простір вищої освіти, забезпечення якості, інноваційний освітній простір, освітній процес, студентоцентроване навчання, якість освіти.

Забезпечення якості вищої освіти є одним із визначальних чинників розвитку сучасного освітнього простору. В умовах переходу від індустріального до інформаційного суспільства особливого значення набувають якість освітнього процесу, його інноваційність та здатність відповідати суспільним і професійним потребам. У розвинених країнах інформація та знання перетворилися на важливий ресурс суспільного розвитку, що зумовлює зростання ролі освіти та необхідність забезпечення високої якості освітнього простору [1, с. 7–12]. Водночас формування єдиної універсальної міжнародної системи забезпечення якості вищої освіти ускладнюється тим, що кожна країна вирішує відповідні завдання з урахуванням особливостей власної національної освітньої системи [2, с. 163–168].

Розвиток Європейського простору вищої освіти протягом останніх десятиліть безпосередньо пов'язаний із формуванням спільних підходів до забезпечення якості. Особливе значення мало прийняття

Стандартів і рекомендацій щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (ESG), які сприяли трансформації національних систем забезпечення якості, діяльності незалежних агенцій та розвитку внутрішніх систем забезпечення якості у закладах вищої освіти. Важливими складовими відповідних трансформацій стали студентоцентроване навчання, участь роботодавців та інших стейкхолдерів в освітньому процесі, а також використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій [3, с. 15–27]. Саме ці процеси визначені в досліджуваній статті як важливі чинники розвитку європейської системи забезпечення якості.

Якість вищої освіти має комплексний характер. Вона передбачає організацію освітнього процесу відповідно до сучасних тенденцій розвитку вищої школи та суспільства; наявність кваліфікованих науково-педагогічних кадрів; належне навчально-методичне, матеріальне, фінансове та інформаційне забезпечення; визначення відповідних вимог до здобувачів освіти; упровадження нових освітніх технологій; розвиток системи атестації здобувачів; моніторинг якості підготовки фахівців та освітньої діяльності [1, с. 20–28].

До основних компонентів якості вищої освіти належать якість професорсько-викладацького складу, якість навчально-методичної бази та якість підготовки здобувачів освіти. Якість підготовки майбутнього фахівця передбачає здатність володіти сучасними технологіями у межах спеціальності, адаптуватися до умов науково-технічного прогресу, здійснювати ефективну професійну діяльність та використовувати набуті знання для розв’язання професійних завдань [1, с. 28–34]. Саме комплексне поєднання зазначених складових створює основу для функціонування системи забезпечення якості вищої освіти.

Важливе місце у європейському підході посідає інституційна автономія закладів вищої освіти. Основна відповідальність за забезпечення якості покладається безпосередньо на заклад освіти, що водночас передбачає його підзвітність у межах національної системи забезпечення якості. Відповідно, одним із ключових завдань стає пошук оптимального балансу між зовнішніми процедурами оцінювання та формуванням внутрішньої культури якості. Європейський досвід засвідчує тенденцію до поступового зміщення акценту із суто зовнішнього контролю на відповідальність самих закладів вищої освіти за результати їхньої діяльності [2, с. 164–167; 4, с. 128–131].

Європейські стандарти забезпечення якості охоплюють три взаємопов’язані складові: внутрішнє забезпечення якості, зовнішнє забезпечення якості та діяльність агенцій із забезпечення якості. Реалізація такого підходу передбачає сприйняття вищої освіти як суспільної цінності та чинника конкурентоспроможності держави, інформування учасників освітнього процесу про стратегію забезпечення якості, належне фінансування закладів освіти, відповідальність стейкхолдерів за результати освітньої діяльності, прозорість відповідних механізмів та постійний моніторинг ефективності внутрішньої і зовнішньої систем забезпечення якості [1, с. 36–43; 4, с. 128–131].

Важливим інструментом забезпечення якості вищої освіти є академічна доброчесність. Вона становить морально-етичну основу функціонування освітньої та наукової спільноти й передбачає співпрацю учасників освітнього процесу, поєднання правових і моральних засад, дотримання встановлених правил під час навчання, викладання та наукової діяльності, а також забезпечення довіри до результатів навчання і наукових досліджень [5, с. 4–7].

Зарубіжний досвід демонструє різноманітність національних підходів до вдосконалення якості навчання і викладання. В Австрії підвищення якості викладання пов’язане з Національним планом розвитку університетів, зовнішнім забезпеченням якості та автономною відповідальністю державних університетів за якість освіти. У Нідерландах стратегічними орієнтирами визначено доступність і високий рівень вищої освіти, розвиток молодих талантів, різноманітність методів викладання та суспільну активність. Важливими механізмами вдосконалення освітнього процесу виступають цифровізація та професійний розвиток викладачів.

В Ірландії для вдосконалення навчання і викладання створено Стратегічний інноваційний фонд та Національний форум з удосконалення викладання і навчання, діяльність якого охоплює, зокрема, цифровізацію вищої освіти та професійний розвиток академічного персоналу. У Норвегії державна політика у сфері якості передбачає підвищення статусу викладацької діяльності, підтримку педагогічних ініціатив, професійний розвиток викладачів, експертне оцінювання та впровадження інноваційних практик [6, с. 82–107].

До основних принципів реформування Європейського простору вищої освіти належать забезпечення якості, розвиток соціального та глобального вимірів, сприяння працевлаштуванню випускників, студентоцентроване навчання, розвиток системи кваліфікацій, навчання впродовж життя, мобільність студентів і викладачів та інтернаціоналізація вищої освіти. Європейський освітній простір ґрунтується також на принципах інституційної автономії, академічної свободи та участі студентів і викладачів в управлінні вищою освітою.

Аналіз зарубіжного досвіду свідчить про існування різних моделей управління якістю освіти. Німецька модель професійної освіти ґрунтується на дуальній системі та тісному зв’язку виробництва із професійною підготовкою. Зміст освітніх програм формується з урахуванням вимог до потенційного

працівника та потреб економіки [7, с. 323–329]. Французька модель характеризується значною централізацією управління освітою, пріоритетною державною підтримкою освітньої сфери та відкритістю результатів оцінювання діяльності закладів вищої освіти [8, с. 50–52]. У Данії функціонують академічні та неакадемічні форми вищої освіти, продовжена й відкрита освіта, а забезпечення якості належить до пріоритетів функціонування освітньої системи [9, с. 95–118].

Таким чином, зарубіжний досвід засвідчує, що забезпечення якості вищої освіти необхідно розглядати у контексті розвитку Європейського простору вищої освіти. ESG стали важливим наднаціональним інструментом забезпечення якості та поглиблення європеїзації вищої освіти. Ключового значення набувають поєднання внутрішніх і зовнішніх механізмів забезпечення якості, інституційна автономія, студентоцентроване навчання, участь стейкхолдерів, професійний розвиток викладачів, цифровізація, міжнародна мобільність та формування культури академічної доброчесності. Водночас досвід Австрії, Нідерландів, Ірландії, Норвегії, Німеччини, Франції та Данії демонструє різноманітність конкретних механізмів реалізації спільних принципів забезпечення якості вищої освіти.

Література

[1] Василюк А. В., Дей М. О., Базелюк В. Г. Якість вищої освіти: теорія і практика: навчально-методичний посібник. Київ; Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2019. 17 с. Наличие оригинального украиноязычного издания подтверждается библиографическими данными автора.

[2] Резніченко В. О. Європейський досвід забезпечення вищої освіти. Юридична наука. 2020. № 8 (110). С. 163–168.

[3] Кухарський В., Осередчук О., Мазуркевич М. Система забезпечення якості освіти в Україні: розвиток на засадах європейських стандартів та рекомендацій: посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 24 с.

[4] Локшина О. Забезпечення якості вищої освіти в умовах європеїзації України. Неперервна професійна освіта: теорія і практика. 2018. № 3–4 (56–57). С. 127–132.

[5] Тицька Я. О. Академічна доброчесність як елемент системи забезпечення якості освіти. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Юриспруденція. 2018. № 34. С. 4–7.

[6] Калашнікова С., Базелюк Н., Базелюк О. Вдосконалення викладання у вищій освіті: теорія та практика: монографія. Київ: Інститут вищої освіти НАПН України, 2023. 25 с.

[7] Кучай О. В. Професійна підготовка вчителя в умовах євроінтеграційних процесів. Інновації в науці та освіті. Київ, 2013. С. 323–329.

[8] Мінакова Т. П. Підходи до оцінювання якості вищої освіти. Економіка та управління підприємствами. 2012. № 7–8. С. 50–52.

[9] Карамишев Д. В., Гришина Н. М., Грибко О. В., Ревенко Т. В. Теоретико-методологічні засади забезпечення якості освіти: монографія. Харків: Вид-во ХарРІ НАДУ «Магістр», 2020. 18 с.

EUROPEAN EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF HIGHER EDUCATION QUALITY ASSURANCE SYSTEMS

Dmytro Nefodov

V. O. Sukhomlinskyi Educational and Research Pedagogical Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The conference paper summarizes foreign experience in quality assurance in higher education within the development of an innovative educational space. The main approaches to quality assurance in the European Higher Education Area and the importance of the European Standards and Guidelines (ESG) for the development of internal and external quality assurance mechanisms are considered. The main components of higher education quality are identified, including the quality of academic staff, educational and methodological support, and student training. Particular attention is paid to institutional autonomy of higher education institutions, student-centred learning, stakeholder involvement, academic integrity, digitalization of the educational process, and professional development of academic staff. Specific features of higher education quality assurance in Austria, the Netherlands, Ireland, Norway, Germany, France, and Denmark are characterized. It is established that, despite differences between national models, common trends include strengthening the responsibility of higher education institutions for the quality of educational activities, developing an internal quality culture, implementing innovative educational practices, and following the principles of the European Higher Education Area.

Keywords: academic integrity, educational process, European Higher Education Area, higher education, innovative educational space, quality assurance, quality of education, student-centred learning

УДК 378.147:004:51:53

ІНТЕГРАЦІЯ STEM-ПІДХОДУ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОФЕСІЙНУ ПІДГОТОВКУ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ, МАТЕМАТИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ

Поздєєв В.О.,
доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри методики викладання фізики та математики
Національного університету кораблебудування імені
адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
valerii.pozdieiev@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розкрито особливості інтеграції STEM-підходу та цифрових технологій у професійній підготовці майбутніх учителів фізики, математики та інформатики. Обґрунтовано доцільність використання цифрових освітніх ресурсів, віртуальних лабораторій, систем комп'ютерного моделювання, програмування та технологій штучного інтелекту для формування професійних компетентностей майбутніх педагогів. Визначено основні напрями модернізації фізико-математичної освіти в умовах цифрової трансформації суспільства. Показано, що інтеграція STEM-підходу сприяє розвитку дослідницької культури, критичного мислення та готовності майбутніх учителів до використання сучасних цифрових технологій у професійній діяльності.

Ключові слова: STEM-освіта, цифрові технології, професійна підготовка, майбутній учитель фізики, майбутній учитель математики, майбутній учитель інформатики, цифрова компетентність.

Вступ. Сучасний етап розвитку освіти характеризується стрімкою цифровою трансформацією, активним упровадженням інформаційно-комунікаційних технологій, розвитком STEM-освіти та переорієнтацією професійної підготовки педагогічних кадрів на формування компетентностей, необхідних для роботи в умовах цифрового суспільства. Особливого значення ці процеси набувають у підготовці майбутніх учителів фізики, математики та інформатики, професійна діяльність яких безпосередньо пов'язана із застосуванням сучасних цифрових інструментів, комп'ютерного моделювання, аналізу даних, алгоритмічного мислення та дослідницької діяльності [1; 2].

Одним із найбільш перспективних напрямів модернізації педагогічної освіти є інтеграція STEM-підходу, який забезпечує міждисциплінарне поєднання природничих наук, математики, інформаційних технологій та інженерії. Такий підхід сприяє формуванню цілісного наукового світогляду, розвитку творчого потенціалу здобувачів освіти, уміння працювати з сучасними цифровими технологіями та розв'язувати комплексні практичні завдання [3].

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування педагогічних можливостей інтеграції STEM-підходу та цифрових технологій у професійну підготовку майбутніх учителів фізики, математики та інформатики та визначення їх ролі у формуванні професійних компетентностей сучасного педагога.

Основна частина. Сучасна система педагогічної освіти потребує переходу від традиційної предметної підготовки до міждисциплінарної моделі навчання, яка інтегрує фундаментальні знання з фізики, математики, інформатики та цифрових технологій. STEM-підхід створює умови для реалізації компетентнісної моделі освіти, орієнтованої на практичне застосування знань, дослідницьку діяльність і проєктне навчання [3].

Концепція STEM-освіти сьогодні розглядається не лише як інтеграція природничих наук, технологій, інженерії та математики, а як цілісна освітня філософія, що орієнтує професійну підготовку майбутнього педагога на міждисциплінарність, дослідницьку діяльність, практичне розв'язання професійних завдань та використання сучасних цифрових технологій. Для майбутніх учителів фізики, математики та інформатики STEM-підхід є основою формування нового типу професійного мислення, у якому фундаментальні знання поєднуються з умінням працювати з цифровими даними, програмними засобами, автоматизованими вимірювальними системами та інструментами моделювання.

Відповідно до сучасних вимог педагогічної освіти доцільно розглядати професійну підготовку майбутнього вчителя як інтегровану систему, що складається з п'яти взаємопов'язаних компонентів: фундаментальної предметної підготовки; цифрового освітнього середовища; дослідницько-проєктної діяльності; STEM-інтеграції; розвитку професійних і цифрових компетентностей. Така модель забезпечує безперервний перехід від засвоєння теоретичних знань до їх практичного застосування під час проведення навчального експерименту, математичного моделювання, програмування та розроблення міждисциплінарних освітніх проєктів.

Важливим складником цієї моделі є цифрове освітнє середовище, яке об'єднує цифрові фізичні лабораторії, інтерактивні математичні пакети (GeoGebra, MATLAB, Octave), системи програмування (Python, Arduino IDE), хмарні сервіси, платформи дистанційного навчання, інтерактивні симуляції PhET, засоби візуалізації та аналізу експериментальних даних. Комплексне використання цих ресурсів сприяє

розвитку цифрової грамотності, алгоритмічного мислення та здатності майбутніх педагогів інтегрувати сучасні технології в освітній процес.

Особливу роль у професійній підготовці відіграє навчальний експеримент нового покоління, заснований на застосуванні цифрових датчиків, автоматизованих вимірювальних комплексів і комп'ютерного аналізу результатів. Використання таких засобів дозволяє значно підвищити точність вимірювань, скоротити час на виконання рутинних операцій, забезпечити оперативну обробку експериментальних даних та зосередити увагу студентів на інтерпретації фізичних закономірностей і дослідницькій діяльності. Поєднання реального експерименту з віртуальними лабораторіями та комп'ютерним моделюванням створює умови для реалізації дослідницького навчання відповідно до сучасних міжнародних освітніх практик.

Не менш важливим напрямом є використання технологій штучного інтелекту, які поступово стають складовою цифрової трансформації педагогічної освіти. Генеративні моделі можуть застосовуватися для створення дидактичних матеріалів, підготовки навчальних кейсів, аналізу експериментальних даних, розроблення тестових завдань, програмного супроводу STEM-проєктів та індивідуалізації навчання. Водночас їх використання повинно ґрунтуватися на принципах академічної доброчесності, критичного оцінювання отриманих результатів і розвитку інформаційної культури майбутніх учителів.

Практичний досвід кафедри методики викладання фізики та математики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова підтверджує, що інтеграція STEM-підходу, цифрових лабораторій, математичного моделювання, сучасних мов програмування та проєктно-дослідницької діяльності сприяє підвищенню мотивації здобувачів освіти, формуванню готовності до професійної діяльності в умовах цифровізації освіти та розвитку ключових компетентностей, визначених державними стандартами педагогічної освіти.

Таким чином, сучасна модель професійної підготовки майбутніх учителів фізики, математики та інформатики повинна базуватися на системній інтеграції STEM-підходу, цифрових технологій, дослідницької діяльності, інженерного мислення та педагогічних інновацій. Такий підхід забезпечує підготовку конкурентоспроможного вчителя, здатного ефективно працювати в умовах цифрової трансформації освіти та впроваджувати інноваційні методики навчання в закладах загальної середньої освіти.

Важливим компонентом STEM-освітнього середовища є використання цифрових технологій, які істотно розширюють можливості організації навчального процесу. До таких технологій належать цифрові фізичні лабораторії, інтерактивні математичні пакети, системи комп'ютерного моделювання, віртуальні лабораторії, хмарні сервіси, середовища програмування, засоби аналізу експериментальних даних та інтерактивні освітні платформи. Їх використання забезпечує візуалізацію складних фізичних і математичних процесів, підвищує рівень дослідницької діяльності студентів та сприяє розвитку цифрової компетентності майбутніх учителів [7].

Особливого значення набуває організація проєктної діяльності студентів, що ґрунтується на інтеграції фізико-математичних знань із цифровими технологіями. Розроблення STEM-проєктів із використанням цифрових вимірювальних комплексів, мікроконтролерів Arduino, інтерактивних симуляцій, програмних засобів математичного моделювання та сучасних мов програмування дозволяє сформувати навички міждисциплінарної взаємодії, інженерного мислення, аналізу експериментальних даних і розв'язання практичних задач [7].

Важливим напрямом модернізації професійної підготовки є використання технологій штучного інтелекту. Інструменти генеративного штучного інтелекту можуть застосовуватися для створення навчальних матеріалів, моделювання фізичних процесів, автоматизованої перевірки програмного коду, персоналізації навчання, формування індивідуальних освітніх траєкторій та підтримки дослідницької діяльності студентів. Водночас їх використання потребує дотримання принципів академічної доброчесності, розвитку критичного мислення та цифрової етики [8].

Ефективність інтеграції STEM-підходу значною мірою визначається готовністю викладачів і майбутніх учителів до використання цифрових технологій у професійній діяльності. Тому професійна підготовка повинна бути спрямована на формування предметної, цифрової, дослідницької, проєктувальної та комунікативної компетентностей, що відповідають сучасним вимогам Нової української школи, Стандарту вищої освіти за спеціальністю 014 «Середня освіта» та стратегічним напрямам цифрової трансформації освіти України [4; 5].

Таким чином, інтеграція STEM-підходу та цифрових технологій забезпечує формування сучасної моделі професійної підготовки майбутніх учителів фізики, математики та інформатики, орієнтованої на міждисциплінарність, інноваційність, практичну спрямованість та використання сучасних цифрових засобів навчання.

Висновки. Інтеграція STEM-підходу та цифрових технологій є одним із ключових напрямів модернізації професійної підготовки майбутніх учителів фізики, математики та інформатики. Її реалізація

забезпечує формування професійних, цифрових, дослідницьких і проєктних компетентностей, розвиток критичного мислення, готовності до використання сучасних цифрових ресурсів та інноваційних педагогічних технологій. Подальший розвиток цього напряму доцільно пов'язати з розробленням авторських STEM-моделей підготовки майбутніх учителів, інтеграцією цифрових лабораторій, технологій штучного інтелекту та сучасних інженерних рішень в освітній процес закладів вищої педагогічної освіти.

Література

[1] Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. Т. 70, № 2. С. 15–27. URL: https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt (дата звернення: 10.08.2026).

[2] Закон України «Про освіту» : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 03.08.2026).

[3] Інститут модернізації змісту освіти. STEM-освіта. URL: https://imzo.gov.ua/stem-osvita/ (дата звернення: 10.08.2026).

[4] Міністерство освіти і науки України. Концепція реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа». URL: https://mon.gov.ua/ua/tag/nova-ukrainska-shkola (дата звернення: 03.08.2026).

[5] Стандарт вищої освіти України за спеціальністю 014 «Середня освіта» (відповідні спеціалізації). Міністерство освіти і науки України. URL: https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/zatverdzheni-standarti-vishoyi-osviti (дата звернення: 10.08.2026).

[6] Arduino. Official website. URL: https://www.arduino.cc (дата звернення: 03.08.2026).

[7] PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. URL: https://phet.colorado.edu (дата звернення: 10.08.2026).

[8] UNESCO. *Guidance for generative AI in education and research*. Paris : UNESCO, 2023. URL: https://unesdoc.unesco.org (дата звернення: 10.08.2026).

INTEGRATION OF THE STEM APPROACH AND DIGITAL TECHNOLOGIES INTO THE PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE TEACHERS OF PHYSICS, MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE

Pozdeev V. O.

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper substantiates the integration of the STEM approach and digital technologies into the professional training of future teachers of physics, mathematics and computer science. The educational potential of digital laboratories, virtual simulations, cloud technologies, programming environments and artificial intelligence tools for developing professional and digital competencies is revealed. It is shown that the interdisciplinary integration of STEM education contributes to research skills, engineering thinking and readiness for innovative teaching. The proposed approaches meet the current requirements of the digital transformation of education.

Keywords: STEM education, digital technologies, future teachers, physics, mathematics, computer science, digital competence.

УДК 378.147:53:004

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ФІЗИЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ

Січко В.М.,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,

доцент кафедри методики викладання фізики та математики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

victor.sichko@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто педагогічний потенціал цифрових фізичних лабораторій у професійній підготовці майбутніх учителів фізики. Обґрунтовано доцільність використання цифрових вимірювальних комплексів, комп'ютерно-орієнтованого фізичного експерименту та інтерактивних симуляцій як засобів формування предметної, дослідницької та цифрової компетентностей здобувачів педагогічної освіти. Визначено основні переваги цифрових лабораторій у реалізації компетентнісного підходу та організації

сучасного фізичного практикуму. Показано перспективи їх використання в умовах цифрової трансформації освіти.

Ключові слова: цифрові фізичні лабораторії, професійна підготовка, майбутній учитель фізики, цифрові технології, STEM-освіта, фізичний експеримент.

Вступна частина. Цифрова трансформація освіти, розвиток STEM-освіти та впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій актуалізують необхідність модернізації професійної підготовки майбутніх учителів фізики. Особливого значення набуває використання цифрових фізичних лабораторій, які забезпечують нові можливості організації навчального фізичного експерименту, підвищують точність вимірювань, сприяють формуванню дослідницьких умінь і розвитку цифрової компетентності здобувачів освіти [1; 2].

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування педагогічних можливостей використання цифрових фізичних лабораторій у процесі професійної підготовки майбутніх учителів фізики та визначення їх ролі у формуванні професійних компетентностей сучасного педагога.

Основна частина. У сучасних школах постійно розширюється інформаційна база, з'являються нові технології фізичної освіти, які включають в себе нове комп'ютерне обладнання, що значно розширює можливості вчителя фізики для демонстрацій та пояснення різноманітних фізичних явищ. З'являється новий засіб реалізації фізичного експерименту – цифрові лабораторії з фізики. Розвиток цифрових технологій істотно змінює підходи до організації навчального фізичного експерименту. Якщо традиційний лабораторний практикум переважно базувався на аналогових вимірюваннях та ручній обробці результатів, то сучасні цифрові лабораторії забезпечують автоматизоване збирання, візуалізацію та аналіз експериментальних даних у режимі реального часу. Це дозволяє зосередити увагу студентів на фізичній сутності досліджуваних явищ, інтерпретації результатів і розвитку навичок наукового дослідження [1].

У професійній підготовці майбутніх учителів фізики цифрові лабораторії виконують не лише демонстраційну, а й методичну функцію. Робота з цифровими датчиками температури, сили, тиску, прискорення, освітленості, магнітного поля, електричних величин та відповідним програмним забезпеченням формує у здобувачів освіти практичні навички організації сучасного фізичного експерименту, необхідні для майбутньої професійної діяльності [4].

Оскільки сучасна методика фізики пропонує велику кількість демонстрацій з кожної теми шкільного курсу фізики, перед учителем виникає проблема відбору віртуальних дослідів, які найповніше відповідають дидактичній меті дослідження, найвиразніше ілюструють явище чи фізичну теорію і можуть бути відтворені під час реального фізичного експерименту [3]. Досить вдалим на наш погляд є інтерактивний проєкт Phet-моделювання Університету Колорадо, який містить велику кількість безкоштовних, цікавих, інтерактивних, науково обґрунтованих комп'ютерних моделей для предметів природничо-математичного циклу. Всі Phet симуляції знаходяться у вільному доступі на сайті і прості для використання, так як можуть бути запущені за допомогою стандартного веб-браузера. Важливим компонентом цифрового освітнього середовища є використання інтерактивних фізичних симуляцій, зокрема ресурсу PhET Interactive Simulations, які дозволяють моделювати фізичні процеси, виконувати віртуальні лабораторні роботи та поєднувати реальний і комп'ютерний експеримент. Такі засоби особливо ефективні під час вивчення складних фізичних явищ, проведення дистанційного навчання та організації самостійної роботи студентів [5].

Суттєві можливості відкриває інтеграція цифрових лабораторій із STEM-підходом. Виконання міждисциплінарних навчальних проєктів, використання мікроконтролерів Arduino, цифрових сенсорів і програмного забезпечення сприяє розвитку критичного мислення, інженерного підходу до розв'язання практичних завдань, алгоритмічного мислення та командної роботи. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до професійної підготовки майбутнього вчителя фізики, який повинен володіти як предметними, так і цифровими компетентностями [6].

Використання цифрових фізичних лабораторій забезпечує також реалізацію компетентнісного підходу, визначеного Законами України «Про освіту», «Про вищу освіту», Концепцією Нової української школи та Стандартом вищої освіти за спеціальністю 014 «Середня освіта». Майбутній учитель набуває досвіду застосування сучасного цифрового обладнання, опановує методику проведення лабораторних досліджень і цифрової обробки експериментальних даних, що підвищує якість його професійної підготовки та готовність до роботи в умовах сучасної школи [2; 3].

Висновки. Використання цифрових фізичних лабораторій є одним із пріоритетних напрямів модернізації професійної підготовки майбутніх учителів фізики. Наочні демонстрації з основних розділів фізики з використанням сучасних інформаційних технологій в подальшому допоможе зрозуміти і освоїти принципи одержання даних та здійснення автоматизованих розрахунків. Простота у керуванні цифровими лабораторіями є важливим моментом при виборі обладнання для фізичних дослідів. Завдяки їм можна швидше, якісніше, точніше, правильніше відтворити фізичний експеримент і з легкістю отримати результати підраховані комп'ютером, даючи змогу подальшого аналізу чи доопрацювання результатів того

чи іншого фізичного явища. Їх застосування сприяє формуванню предметної, дослідницької та цифрової компетентностей, забезпечує реалізацію компетентнісного та STEM-підходів, підвищує якість організації фізичного експерименту та професійну готовність майбутніх педагогів до використання сучасних цифрових технологій у закладах загальної середньої освіти.

Література

[1] Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. Т. 70, № 2. С. 15–27. URL: https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt (дата звернення: 03.08.2026).

[2] Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 03.08.2026).

[3] Міністерство освіти і науки України. Концепція реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа». URL: https://mon.gov.ua/ua/tag/nova-ukrainska-shkola (дата звернення: 03.08.2026).

[4] Морзе Н. В., Буйницька О. П. Інформатизація освіти : монографія. Київ : Київський університет імені Бориса Грінченка, 2019. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua (дата звернення: 03.08.2026).

[5] PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. URL: https://phet.colorado.edu (дата звернення: 03.08.2026).

[6] Vernier Science Education. Official website. URL: https://www.vernier.com (дата звернення: 03.08.2026).

USE OF DIGITAL PHYSICS LABORATORIES IN THE TRAINING OF FUTURE PHYSICS TEACHERS

Sichko V. M.

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper examines the educational potential of digital physics laboratories in the professional training of future physics teachers. The advantages of digital measuring systems, computer-based experiments and interactive simulations for developing professional, research and digital competencies are substantiated. The role of digital laboratories in implementing the competency-based and STEM approaches is highlighted. Their use contributes to improving the quality of practical training of future physics teachers in the context of digital transformation of education.

Keywords: digital physics laboratories, future physics teachers, digital technologies, physics education, STEM education, digital competence.

UDC 378.147:811.111:330

BEYOND LANGUAGE PROFICIENCY: ENGLISH LANGUAGE LEARNING, ECONOMIC EDUCATION, AND PERSONAL DEVELOPMENT IN HIGHER EDUCATION

Filipishyna L.M.,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
ontariofilpi@ukr.net
Sidash N.S.,
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, natalja.sidash@nuos.edu.ua
Department of Accounting and Taxation,
Pervomaisk Educational and Research Institute
of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk, Ukraine

Abstract. English language learning in higher education is increasingly viewed as a multidimensional process that supports academic, professional, and personal development beyond communicative competence. This article examines the role of English education in economic higher education, focusing on disciplinary literacy, professional communication, and intercultural competence. The study conceptualises English as an essential element of university education that enhances students' engagement in professional discourse. Recent research highlights its contribution to cognitive development, professional growth, and identity formation. Integrating English into disciplinary contexts promotes the development of adaptable and socially responsible specialists prepared for global professional environments.

Keywords: English language learning; higher education; economic education; disciplinary literacy; professional development; personal growth; English-medium instruction.

Introduction. The internationalisation of higher education has transformed the role of English language education, shifting its focus from linguistic competence towards broader academic, professional, and personal development. In contemporary universities, English serves as a medium for accessing global knowledge, participating in professional communication, and developing disciplinary capabilities. This is particularly relevant for economic education, where students need to analyse international sources, interpret specialised information, and communicate professional ideas effectively.

Recent research demonstrates that English-medium education supports the development of disciplinary literacies and professional discourse practices [1]. At the same time, successful English-medium instruction requires appropriate pedagogical strategies, academic support, and attention to students' linguistic needs [3]. Furthermore, language learning contributes to wider dimensions of individual development, including cognitive growth, professional identity formation, intercultural competence, and academic achievement [6].

For economics students, English represents an essential component of professional preparation, enabling participation in global academic and economic environments. However, despite growing research on English-medium instruction and disciplinary literacy, the broader relationship between English learning, economic education, and personal development remains insufficiently explored. Therefore, further conceptual consideration is needed to understand English as an integral element of holistic professional education.

Aim of the Study. The aim of this article is to conceptualise English language learning in economic higher education as a multidimensional educational process that extends beyond language proficiency.

Main Discussion. Recent research on English language education in higher education demonstrates a shift from viewing language learning as the acquisition of linguistic competence towards recognising its broader educational, professional, and developmental potential. English increasingly functions not only as a means of communication but also as a tool for accessing disciplinary knowledge, developing academic literacy, and participating in global professional communities.

Research on English-medium education (EME) highlights its contribution to the development of disciplinary literacies and students' engagement in academic and professional practices. Dafouz and López-Serrano demonstrate that continuous interaction with subject-specific knowledge through English strengthens students' confidence in disciplinary communication and supports the formation of professional discourse skills [1]. This perspective is particularly relevant for economic education, where students need to interpret specialised information, analyse data, construct arguments, and communicate complex ideas.

The growing implementation of English-medium instruction (EMI) has generated considerable discussion regarding its benefits and challenges. A systematic review by Rose et al. shows that EMI can enhance students' access to disciplinary knowledge and support linguistic development, particularly through exposure to academic vocabulary and professional terminology. However, effective EMI requires appropriate pedagogical strategies, institutional support, and consideration of students' linguistic backgrounds [3]. Therefore, English-medium education should be understood as an integrated approach combining language development with disciplinary learning.

The relationship between EMI and English for Academic Purposes (EAP) further emphasises the importance of academic communication skills. Rouaghe et al. argue that successful participation in English-based higher education depends on the integration of language support and disciplinary practices, enabling students to engage effectively with academic knowledge [4]. For economics students, this involves the ability to analyse professional literature, interpret economic information, and present evidence-based conclusions.

Recent studies also emphasise the role of English in developing disciplinary communication and higher-order thinking skills. Sánchez-García and Sánchez-Hernández demonstrate that effective professional communication requires not only linguistic accuracy but also the ability to explain, analyse, evaluate, and justify ideas within a disciplinary framework [5]. Thus, English education should support analytical thinking and professional discourse rather than focus exclusively on general language proficiency.

Beyond academic and professional outcomes, language learning contributes to broader personal development. Zhang et al. identify cognitive development, professional growth, identity formation, intercultural competence, and academic achievement as important dimensions of language learning outcomes [6]. Similarly, Mtawa et al. highlight the role of language practices in expanding students' opportunities for participation, access to knowledge, and personal empowerment within higher education [2].

Overall, recent scholarship confirms that English language education should be conceptualised as a multidimensional process integrating linguistic, academic, professional, and personal dimensions. For economics students, English serves as a bridge between disciplinary knowledge and professional practice, supporting participation in international environments and the development of critical thinking, intercultural awareness, and professional identity.

Conclusions. The main implication of this study is that universities should reconsider the role of English from an auxiliary academic discipline to an essential element of holistic professional education. An integrated approach that combines language learning, disciplinary knowledge, intercultural awareness, and personal

development can contribute to the formation of adaptable, reflective, and socially responsible specialists capable of functioning successfully in a globalised economic environment.

References

[1] Dafouz, E., & López-Serrano, S. Unlocking the full potential of English-medium education: A longitudinal exploration of business students' views of disciplinary literacies. English for Specific Purposes, 2026, 81, 197–211. https://doi.org/10.1016/j.esp.2025.11.001

[2] Mtawa, N., Ndivo, L., & Adamson, L. The Role of Language(s) in Transformative Higher Education in Africa: A Capabilities Perspective. Journal of Human Development and Capabilities, 2025, 26 (4), 560–580. https://doi.org/10.1080/19452829.2025.2541671

[3] Rose, H., Sahan, K., Wei, M., Aizawa, I., Zhou, S., & Shepard, C. A systematic review of English medium instruction in higher education: An update of Macaro et al. (2018), System, 2026, 136, Article 103892. https://doi.org/10.1016/j.system.2025.103892

[4] Rouaghe, F., Assassi, T., Rehman, S. U., & Khan, S. M. A systematic literature review of the intersection between English Medium Instruction and English for Academic Purposes in higher education: Global North and South perspectives. Social Sciences & Humanities Open, 2026, 13, Article 102800. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2026.102800

[5] Sánchez-García, D., Sánchez-Hernández, A. Exploring Oral Production Skills in Disciplinary Literacies: Students' Use of Cognitive Discourse Functions in EME Business Case Studies. English Teaching & Learning, 2026, 50, 103–121. https://doi.org/10.1007/s42321-025-00225-z

[6] Zhang, X., Li, J., Gu, Z., & Gao, X. (Andy). How does language learning contribute to individual growth in a multilingual world? A systematic review. Journal of Multilingual and Multicultural Development, 2026, 1–17. https://doi.org/10.1080/01434632.2025.2562096

УДК 378.016:94:159.955-021.412.1

КРИТИЧНЕ МИСЛЕННЯ ЗДОБУВАЧІВ ІСТОРИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ У ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Хрящевська Л.М.,
кандидат історичних наук,
доцент кафедри історії
Навчально-наукового педагогічного інституту імені В.О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
liydmyla.hryaschevska@nuos.edu.ua

Анотація. розглянуто ключову фахову компетентність здобувачів історичних спеціальностей у закладі вищої освіти; виділено головні складові критичного мислення, набуття вмінь і навичок здобувачами вищої освіти; визначено поняття «критичне мислення» та його методику у вивченні історії.

Ключові слова: критичне мислення, компетентність, історичні дисципліни, факт, джерела, зв'язки.

В умовах протидії російським пропагандистським наративам – критичне мислення здобувачів історичних спеціальностей в Україні є ключовою фаховою компетентністю, а не лише загальною навичкою. Воно передбачає вміння працювати з першоджерелами, виявляти маніпуляції та відрізняти історичні факти від міфів.

До головних складових критичного мислення здобувачів історичних спеціальностей відносяться:

- вміння перевіряти достовірність, походження та мету створення історичних документів;
- здатність розпізнавати ідеологічні нашарування та історичні фальсифікації;
- розгляд однієї й тієї ж події очима різних її учасників;
- критичний підхід до інформації в соціальних мережах та матеріалів, згенерованих штучним інтелектом.

У вищій школі в першу чергу, акцент викладачів робиться на аналізі причинно-наслідкових зв'язків, а не на механічному запам'ятовуванні дат. Здобувачі не просто слухають лекції, а досліджують конкретні історичні кейси, обговорюють суперечливіта «болючі» сторінки вітчизняної історії.

Визначимо поняття «критичне мислення» та його методику у вивченні історії здобувачами вищої освіти. Більшість визначень поняття «критичне мислення», що з'явились у XXI столітті є модифікацією й розвитком створених раніше. Проте особливістю цього періоду досліджень поняття є спроби більшості

авторів не лише подати й обґрунтувати визначення поняття, а й пристосувати його трактування для досягнення певної педагогічної мети або застосування визначеної педагогічної (освітньої) моделі. На сьогодні можемо також констатувати наявність характеристик критичного мислення/критичного мислителя, які напрацьовано кількома науковими школами з досліджень питань розвитку критичного мислення, з якими погоджується (на яких базується) більшість сучасних досліджень у цій площині [3].

О. Пометун виділяє відповідні визначення критичного мислення [3]:

- підхід до мислення, за якого особливу увагу приділено вмінню сформулювати самостійні твердження або думки й підкріпити їх аргументами (учні виявляють своє вміння критично мислити, коли вони в усній або письмовій формі роблять інтерпретації (тобто витлумачують щось) і підкріплюють це своїми аргументами; учні використають критичне мислення рецептивно, коли вони аналізують /критикують аргументи інших людей (Crawford, Saul, Mathews, MaKinster, 2002) [2, с. 152]);
- самокероване, самодисциплінованe мислення, яке прагне до міркувань на найвищому рівні та відкритості (Elder, 2007) [1];
- критичні мислителі чітко розуміють мету й питання, що розглядається; ставлять під сумнів інформацію, висновки та погляди; прагнуть бути ясними, чіткими, точними й актуальними; прагнуть зануритися вглиб проблеми, бути логічними та справедливими; регулярно застосовують інтелектуальні стандарти до елементів міркування з метою розвитку інтелектуальних здібностей (Paul, Elder, 2009) [4, с. 2].

Таким чином, критичне мислення можна визначити як окремий тип мислення, який характеризується активністю, цілеспрямованістю, самостійністю, дисциплінованістю та рефлективністю та передбачає розвиток у процесі навчання здатності людини: визначати проблеми, аналізувати, синтезувати, оцінювати інформацію з будь-яких джерел, висувати альтернативи й оцінювати їх, обирати спосіб розв’язання проблеми чи власну позицію щодо неї й обґрунтовувати свої погляди, робити свідомий вибір і діяти [3].

Здобувачі вищої освіти історичних спеціальностей повинні вміти аналізувати історичні документи, мемуари, укази, пресу та архівні матеріали епохи замість читання готових висновків у підручниках; розглядати конкретні історичні ситуації, де здобувачі мають оцінити альтернативні варіанти дій та їхні наслідки; відстоювати протилежні точки зору щодо спірних історичних постатей або подій, спираючись виключно на факти, а не на емоції. Цьому сприяють практичні заняття, на яких здобувачі вдосконалюють та розвивають уміння і навички, а також способи діяльності в нових ситуаціях; забезпечують системність знань; мають творчо-пізнавальний характер щодо вирішення проблем; пов’язані з навчальним і життєвим досвідом; характеризуються значним ступенем самостійної роботи здобувачів у опрацюванні різних джерел інформації; зумовлюють координаційну функцію викладача у спільній діяльності всієї групи [5.]

Таким чином, критичне мислення при вивченні історичних дисциплін у вищих навчальних закладах трансформує пасивне слухання на аналітичне дослідження**.** Воно дозволяє здобувачам виявляти причинно-наслідкові зв’язки, відрізняти пропаганду від фактів, інтерпретувати першоджерела та формувати власну обґрунтовану позицію щодо минулих і сучасних подій.

Література

[1] Dewey John. How we think. Publication date, 1910, p. 9. Код доступу: https://archive.org/search. php?query=date:1910.

[2] Кроуфорд А. Методи викладання і навчання для розвитку критичного мислення учнів. Науково-методичний посібник для вчителів загальноосвітніх навчених закладів. / А. Кроуфорд, Е. Саул, С. Метьюз, Д. Макінстер. К. Плеяди. 2004.

[3] Пометун, О. (2018). Критичне мислення як педагогічний феномен. Український педагогічний журнал, (2), 89–98. Режим доступу: https://uej.undip.org.ua/index.php/journal/article/view/493/423

[4] Tama C. (1989). Critical thinking has a place in every classroom.Journal of Reading, 33, S. 64–65.

[5] Шлома О. Використання практичних робіт на уроках історії. Сучасні виклики української освіти: теоретичні засади та практичні рішення в педагогічній діяльності (Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Дніпро, 24 жовтня 2024 року), С. 86–92.

CRITICAL THINKING OF STUDENTS OF HISTORICAL SPECIALTIES IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Khriashchevska L. M.

V.O. Sukhomlinskyi Educational and Research Pedagogical Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The key professional competence of students of historical specialties in higher education institutions is considered; the main components of critical thinking, the acquisition of skills and abilities by students of higher education are highlighted; the concept of “critical thinking” and its methodology in the study of history are defined.

Keywords: critical thinking, competence, historical disciplines, fact, sources, connections.

УДК 796:378.4

СПОРТИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЗВО (УНІВЕРСИТЕТУ) ЯК ФАКТОР МОТИВАЦІЇ ДО ЗДОРОВОГО СПОСОБУ ЖИТТЯ

Вакуліна Л.М.,
викладач
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
kaf.fv.nuk@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто значення спортивного середовища закладу вищої освіти у формуванні мотивації студентської молоді до здорового способу життя. Проаналізовано основні компоненти спортивного середовища університету та їх вплив на фізичну активність, здоров'я, поведінку й соціалізацію студентів. Визначено роль спортивно-масових заходів у популяризації цінностей здорового способу життя та розвитку особистості здобувачів вищої освіти.

Ключові слова: спортивне середовище, здоровий спосіб життя, фізична культура, студентська молодь, мотивація, університетський спорт.

Актуальність проблеми. Одним із пріоритетних завдань сучасної системи вищої освіти є збереження та зміцнення фізичного та психологічного здоров'я студентської молоді. Зростання розумових навантажень, недостатня рухова активність, поширення цифрових технологій та малорухомий спосіб життя негативно впливають на фізичний стан здобувачів освіти. У цих умовах особливого значення набуває створення освітнього середовища, яке сприяє формуванню мотивації до здорового способу життя.

Важливим складником такого середовища є спортивна діяльність університету, яка забезпечує можливість регулярних занять фізичною культурою, участі у спортивних заходах та розвитку культури здоров'я серед молоді.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концептуальні засади теорії та методики фізичного виховання розкрито у працях Т. Ю. Круцевич та Б. М. Шияна; питання фізичної рекреації та оздоровчих технологій висвітлено Є. М. Приступаю; стан фізичної підготовленості та здоров'я молоді проаналізовано М. М. Булатовою. Незважаючи на значні напрацювання у сфері фізичного виховання, комплексний вплив внутрішньоуніверситетського спортивного середовища як цілісної системи залишається недостатньо дослідженим. Отже актуальним є подальше вивчення ролі спортивної середовища закладу вищого освіти у формуванні ціннісних орієнтацій студентів щодо здорового способу життя.

Мета дослідження. Обґрунтувати роль спортивного середовища університету як важливого чинника мотивації студентської молоді до здорового способу життя.

Виклад основного матеріалу. Спортивне середовище університету являє собою систему умов та можливостей, що забезпечують організацію фізкультурно-оздоровчої та спортивної діяльності здобувачів освіти. Воно охоплює матеріально-технічну базу, кадрове забезпечення, спортивні традиції, систему спортивних заходів та інформаційну підтримку здорового способу життя.

Сучасний університет виконує не лише освітню, а й виховну функцію. Інтеграція спортивної складової в освітній процес зумовлена необхідністю реалізації не лише освітньо-професійної, а й виховної та оздоровчої функції закладу вищого освіти. Це дозволяє поєднувати інтелектуальний розвиток із формуванням навичок здорового способу життя, забезпечити гармонізацію інтелектуального та фізичного розвитку здобувачів освіти в межах єдиного освітньо-виховного простору.

Одним із найважливіших факторів формування мотивації до здорового способу життя є створення можливостей для систематичної фізичної активності. Регулярні заняття фізичною культурою сприяють зміцненню здоров'я, розвитку фізичних якостей, підвищенню працездатності та стійкості до стресів. У цьому контексті заклад вищої освіти має забезпечувати доступні та різноманітні форми фізкультурно-оздоровчої і спортивної діяльності, які відповідають інтересам, потребам та фізичним можливостям здобувачів вищої освіти. Важливе значення має урізноманітнення змісту занять, використання сучасних фітнес-технологій, спортивних ігор, індивідуальних та групових форм роботи, а також проведення спортивно-масових заходів. Створення таких умов сприяє підвищенню зацікавленості студентської молоді у фізичній активності, формуванню позитивного ставлення до занять фізичними вправами та поступовому перетворенню їх на невід'ємну частину повсякденного життя. Водночас важливо, щоб фізична активність сприймалася студентами не лише як складова освітнього процесу, а як особиста цінність і засіб підтримання фізичного та психоемоційного благополуччя. Особливе місце в структурі спортивного середовища займають спортивно-масові заходи. Чемпіонати університету, турніри, спартакіади, фестивалі спорту та змагання в межах студентських ліг створюють умови для залучення широкого кола студентів до активного способу життя.

Досвід Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова свідчить, що проведення чемпіонатів НУК з різних видів спорту серед студентів, науково-педагогічних працівників та співробітників, а також міжфакультетських спартакіад є ефективним засобом популяризації фізичної культури та здорового способу життя. Практична реалізація запропонованої моделі засвідчує не лише високий рівень організації комплексних спортивних заходів, а й позитивну динаміку формування корпоративної культури здоров'я. Результати спостережень та анкетування здобувачів вищої освіти підтверджують зростання їхньої залученості до систематичних занять протягом останнього навчального року, що свідчить про зміцнення університетської спільноти та розвиток позитивного ставлення до спорту.

Важливим аспектом функціонування спортивного середовища закладу вищого освіти є його спрямованість на трансформацію мотиваційної сфери студентів. Спортивна діяльність не лише задовольняє базові потреби особистості в самореалізації, досягненні успіху та соціального визнання, а й сприяє зміщенню фокусу від зовнішніх стимулів до внутрішньої мотивації самовдосконалення. Позитивний емоційний досвід, здобутий під час тренувань та змагань, в поєднанні з відчуттям власної компетентності та автономії, формує стійку установку на здоровий спосіб життя.

Поряд із фізичним удосконаленням, рухова активність у спортивному середовищі університету сприяє розвитку універсальних компонентів професійної компетентності, що залишаються актуальними незалежно від спеціалізації. До них належать дисциплінованість, відповідальність та здатність до емоційної саморегуляції. та психологічної стійкості (дисциплінованості, відповідальності, емоційної саморегуляції та лідерства). Ці характеристики є базовими складовими майбутньої професійної спроможності випускника.

Не менш важливою є соціальна функція спортивного середовища, адже саме вона перетворює університетський спорт на механізм взаємодії та довіри. Тут студенти не лише тренуються чи змагаються, а й набувають навичок співпраці, відповідальності та взаємопідтримки. Командні ігри та колективні ініціативи виступають ефективним засобом формування комунікативних компетентностей, де розвивається культура діалогу та партнерства. В результаті спортивна діяльність виходить за межі фізичного розвитку, виконуючи роль соціального механізму інтеграції, що сприяє адаптації першокурсників та зміцненню корпоративної культури університетської спільноти. Соціально-інтегративний потенціал спортивного середовища закладу вищого освіти реалізується через участь студентів у колективних формах діяльності – від командних змагань до проєктних ініціатив. Це забезпечує розширення соціальних контактів, розвиток рефлексивних та комунікативних навичок, створюючи умови для формування сприятливого соціально-психологічного клімату та інтеграції нових учасників освітнього процесу

Таким чином, спортивне середовище університету слід розглядати як інтегральний соціально-педагогічний феномен, що виконує не лише функцію фізичного удосконалення студентів, а й виступає важливим фактором формування культури здоров'я та активної життєвої позиції. Його системний вплив на особистість здобувача освіти виявляється у трьох ключових вимірах, які взаємопов'язані та взаємодоповнюють один одного:

1) **мотиваційно-емоційний** – забезпечує задоволення потреб у самореалізації, прагненні до досягнення успіху та отримання позитивних емоцій від участі у спортивно-змагальній діяльності, що сприяє формуванню внутрішньої мотивації до здорового способу життя;

2) **особистісно-розвивальний** – передбачає трансформацію набутих у спортивній практиці якостей (дисциплінованості, наполегливості, відповідальності, лідерських здібностей) у надпрофесійні компетентності (soft skills), які мають універсальні значення для майбутньої професійної діяльності;

3) **соціально-комунікативний** – сприяє інтеграції студентів у колектив, розвитку навичок ефективної взаємодії та комунікації, а також формуванню сприятливого соціально-психологічного клімату, що зміцнює університетську спільноту.

Висновки. Спортивне середовище університету є важливим елементом освітнього процесу, що забезпечує комплексний вплив на формування культури здоров'я студентської молоді. Воно інтегрує матеріально-технічну базу, кадрове забезпечення, організаційні форми та студентські ініціативи, створюючи умови для систематичної фізичної активності.

Ефективне функціонування спортивної інфраструктури та організація спортивно-масових заходів сприяють підвищенню рівня залученості здобувачів освіти до зайняття фізичною культурою, формуванню позитивного ставлення до здорового способу життя та розвитку мотиваційної сфери.

Досвід Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова підтверджує, що регулярна участь студентів у спортивних заходах є дієвим механізмом розвитку особистісних якостей (дисциплінованості, наполегливості, відповідальності, лідерських здібностей), трансформації їх у надпрофесійні компетентності (soft skills).

Таким чином, спортивне середовище університету характеризується поліфункціональністю: воно одночасно забезпечує оздоровчий ефект, сприяє формуванню соціально значущих якостей та інтегрує здобувачів освіти у колектив, створюючи сприятливий соціально-психологічний клімат.

Література

[1] Закон України «Про фізичну культуру і спорт». URL: https://zakon.rada.gov.ua.

[2] Закон України «Про вищу освіту». URL: https://zakon.rada.gov.ua.

[3] Круцевич Т.Ю. Теорія і методика фізичного виховання. Київ: Олімпійська література, 2017. 39 с.

[4] Приступа Є.Н. Фізична рекреація. Львів: ЛДУФК, 2018. 32 с.

[5] Шиян Б.М. Теорія і методика фізичного виховання. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2020. 27 с.

[6] Булатова М.М. Здоров'я і фізична підготовленість населення України. Київ: Олімпійська література, 2019. 18 с.

SPORTS ENVIRONMENT OF THE UNIVERSITY AS A FACTOR MOTIVATION TOWARDS A HEALTHY LIFESTYLE

Vakulina Liudmyla

Admiral Makarov National Shipbuilding University

The article examines the importance of the sports environment of a higher education institution in shaping the motivation of student youth to a healthy lifestyle. The main components of the university sports environment and their impact on physical activity, health, behavior and socialization of students are analyzed. The role of sports and mass events in popularizing the values of a healthy lifestyle and developing the personality of higher education applicants is determined.

Keywords: sports environment, healthy lifestyle, physical culture, student youth, motivation, university sports.

УДК 811.111.378.4

АВТЕНТИЧНИЙ ТЕКСТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ІНШОМОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ

Задорожна Т.П.,

ст. викладач кафедри Мовної підготовки

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

tetiana.zadorozhna@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто роль автентичних текстів у формуванні професійної іншомовної компетентності студентів технічних спеціальностей. Визначено основні критерії добору професійно орієнтованих текстових матеріалів та особливості організації роботи з ними. Обґрунтовано доцільність поєднання текстоцентричного підходу з цифровими технологіями та інструментами штучного інтелекту. Запропонований підхід сприяє розвитку професійно орієнтованого читання, критичного мислення та навичок самостійної роботи з фаховою інформацією.

Ключові слова: професійно орієнтоване читання, технічні спеціальності, автентичний текст, іншомовна компетентність, цифрові технології, штучний інтелект.

Постановка проблеми. Сучасна технічна освіта потребує нових підходів до іншомовної підготовки майбутніх інженерів. Інтеграція України у європейський та світовий освітній і науково-технічний простір підвищує вимоги до здатності фахівців використовувати англійську мову у професійній діяльності. Особливого значення набуває вміння працювати з англомовною фаховою літературою, оскільки саме читання забезпечує доступ до сучасних наукових і технічних розробок, міжнародного досвіду та професійної інформації [1].

Водночас студенти технічних спеціальностей часто мають труднощі під час роботи з професійно орієнтованими текстами, що зумовлює необхідність системного добору навчальних матеріалів та організації роботи з ними.

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування ролі автентичних текстів у формуванні професійно орієнтованих умінь читання студентів технічних спеціальностей та визначення ефективних способів роботи з ними.

Виклад основного матеріалу. Текст є важливою одиницею сучасного іншомовного навчання, оскільки поєднує мовний матеріал, професійно значущу інформацію та комунікативний потенціал. Для майбутніх інженерів робота з фаховими текстами сприяє засвоєнню термінологічної лексики, розвитку аналітичного й критичного мислення, формуванню навичок пошуку та опрацювання професійної інформації [2].

Ефективність навчання значною мірою залежить від якості текстового матеріалу. Основними критеріями його добору є **професійна спрямованість, автентичність, інформативність, доступність, актуальність та відповідність мовному рівню студентів** [3]. Доцільним є використання текстів, пов'язаних із майбутньою професійною діяльністю студентів: про автоматизацію, робототехніку, енергетичні системи, транспорт, суднові механізми, сучасні технології тощо.

Важливим є системний характер роботи з текстом. Відповідно до методичних рекомендацій [4], доцільно виокремлювати три етапи: **передтекстовий, текстовий та післятекстовий**. На першому етапі актуалізуються фонові знання та опрацьовується ключова термінологія. Ефективними є завдання на прогнозування змісту за заголовком, ілюстраціями або ключовими словами, встановлення відповідності між термінами та дефініціями, визначення значення термінів за контекстом.

Текстовий етап передбачає безпосереднє читання та контроль розуміння інформації. Доцільно використовувати завдання на пошук конкретної інформації, відповіді на запитання, визначення правильності тверджень, встановлення відповідності між частинами тексту, заповнення пропусків та визначення основної думки окремих фрагментів.

Післятекстовий етап спрямований на поглиблене осмислення прочитаного та перенесення отриманої інформації в інші види мовленнєвої діяльності. Студенти можуть складати короткий план або анотацію, переказувати зміст, готувати повідомлення чи презентацію, виконувати проблемні та проєктні завдання, брати участь у дискусії або розв'язувати професійну ситуацію на основі прочитаного матеріалу.

Перспективним є поєднання традиційної текстоцентричної методики з цифровими технологіями. Онлайн-словники, інтерактивні платформи та системи автоматизованого зворотного зв'язку забезпечують доступ до додаткових ресурсів та сприяють індивідуалізації навчання. Штучний інтелект може використовуватися для пояснення лексики, створення додаткових завдань, формування запитань до тексту та моделювання професійних ситуацій. Водночас цифрові інструменти мають доповнювати, а не замінювати самостійну роботу студента з текстом.

Висновки. Отже, автентичний текст є ефективним засобом формування професійної іншомовної компетентності майбутніх інженерів. Його використання за умови професійної спрямованості, доступності та системної організації вправ сприяє розвитку навичок професійно орієнтованого читання, критичного мислення та самостійної роботи з фаховою інформацією. Поєднання текстоцентричного підходу з цифровими технологіями та інструментами штучного інтелекту створює додаткові можливості для індивідуалізації й підвищення ефективності іншомовної підготовки студентів технічних спеціальностей.

Література

[1] Про схвалення Концепції Державної цільової національно-культурної програми сприяння вивченню та застосуванню англійської мови в Україні на 2026–2030 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 04.06.2025 № 659.

[2] Чмель В. В., Ахмад І. М., Волкова О. А., Лисенко Т. П. Професійно орієнтоване читання як важливий компонент підготовки майбутніх інженерів. *Теорія і методика професійної освіти*. 2024. № 78 (2). С. 58–65.

[3] Мордовцева Н. Особливості реалізації текстоцентричного підходу в навчанні професійного мовлення студентів. *Педагогічна освіта: Теорія і практика. Психологія. Педагогіка*. 2020. Вип. 38 (2). С. 63–68.

[4] Цепкало О. В. Критерії відбору текстів для навчання професійно орієнтованого іншомовного спілкування студентів технічних спеціальностей. *Наукові записки. Серія: Педагогіка*. 2014. № 4. С. 63–69.

[5] Литвиненко І. Ю. Метод вправ у навчанні англомовного читання студентів технічних спеціальностей. *Педагогічні науки*. 2019. № 53. С. 52–58.

AUTHENTIC TEXT AS A TOOL FOR DEVELOPING PROFESSIONAL FOREIGN LANGUAGE COMPETENCE OF FUTURE ENGINEERS

Tetiana Zadorozhna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The theses examine the role of authentic texts in developing the professional foreign language competence of students majoring in technical fields. The main criteria for selecting professionally oriented textual materials and the specific features of organizing work with them are identified. The expediency of combining a text-centered approach with digital technologies and artificial intelligence tools is substantiated. The proposed approach contributes to the development of professionally oriented reading skills, critical thinking, and the ability to work independently with specialized information.

Keywords: professionally oriented reading, technical specialties, authentic text, foreign language competence, digital technologies, artificial intelligence.

УДК 37.014.5

ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ ОСВІТНЬОЇ ПОЛІТИКИ

Матвієнко Л.В.,
кандидат історичних наук, доцент,
завідувач кафедри
соціально-гуманітарних наук та філософії
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна,

Анотація. Досліджено сутність та особливості державної освітньої політики як важливої складової державної соціальної політики. Розглянуто основні наукові підходи до визначення поняття «державна освітня політика» та обґрунтовано її динамічний характер, зумовлений суспільно-політичними й історичними трансформаціями. Визначено роль державних органів та інституцій у формуванні й реалізації державної політики в освітянській сфері. Систематизовано основні зовнішні фактори впливу на функціонування та розвиток сучасної освітянської сфери, зокрема економічні, соціальні, політичні, науково-технічні та культурні. Розкрито зміст впливу зазначених факторів на формування стратегічних пріоритетів державної освітньої політики та розвиток освітніх процесів.

Ключові слова: державна освітня політика, державне управління освітою, модернізація освіти, освітянська сфера, трансформація освітнього процесу, фактори впливу, якість освіти.

Освітянська сфера є невід'ємною складовою державної соціальної політики, здійснюється як публічною владою, так й іншими суб'єктами для досягнення економічних, соціальних, культурних, науково-технічних цілей та вирішення завдань національного та глобального характеру. В умовах поглиблення протиріч у розвитку освітянської сфери суттєво підвищується роль держави як головного регулятора процесів відтворення освітнього потенціалу суспільства, оскільки тільки збалансована та виважена державна політика може забезпечити збереження та зміцнення освітньої галузі на підставі врахування загальнонаціональних інтересів та передових світових тенденцій [1, с. 23].

Метою нашого дослідження є розкриття сутності та особливостей державної освітньої політики, систематизації основних зовнішніх факторів її формування і розвитку, а також визначенні пріоритетних напрямів трансформації державної політики в освітянській сфері в умовах сучасних суспільних змін.

Освітянська сфера формується, функціонує та розвивається на основі державної освітньої політики. Вивчення різних підходів до визначення поняття та сутності поняття «державної освітньої політики» дозволяє зробити такі висновки: наявна відсутність нормативно визначеного поняття «державна освітня політика» обумовила розмаїття підходів до її трактування як у довідково-енциклопедичних виданнях, так і в навчальній літературі, а також у дисертаційних дослідженнях та численних наукових публікаціях; багаточисельні дефініції державної освітньої політики, запропоновані сучасними науковцями та освітянами-практиками, у цілому віддзеркалюють її риси, характерні передусім для сучасної держави, але не враховують, що державна освітня політика не є чимось статичним, застиглим, вона постійно змінюється на кожному історичному етапі, залежить від сутності держави та її соціального призначення (наприклад, зміст державної освітньої політики, її цілі і завдання, засоби і методи її реалізації за часів Київської Русі, Речі Посполитої, Австро-Угорської та Російської імперій, Радянського Союзу і сучасної України як соціальної і правової держави суттєво відрізняються). У контексті зазначеного вище, державну освітню політику можна визначити як складову політики держави, яка відображає сукупність її цілей і завдань в освітянській сфері, що формуються політичною системою залежно від сутності держави та її соціального призначення і реалізуються нею за допомогою відповідних інструментів [2].

Державна освітня політика передбачає, що вона формується, визначається державою і здійснюється від її імені в особі державних органів та установ, які представляють усі гілки державної влади, з метою упорядкування освітніх процесів, здійснення на них впливу або безпосереднього визначення їх перебігу. Склад та компетенція органів і інституцій освітньої політики є специфічними для кожної держави [3, с. 66].

На формування державної політики в освітянській сфері впливають зовнішні чинники, що дає змогу враховувати стан, тенденції та перспективи розвитку освіти, потреби суспільства та держави в освіті, розробляти реалістичну освітню політику, побудовану на вітчизняному досвіді освітньо-педагогічної діяльності з урахуванням досягнень міжнародного співробітництва в освітній сфері [4, с. 56]. При розробці сучасної державної освітньої політики необхідно враховувати зовнішні фактори, що безпосередньо впливають на неї. Їх можна поділити на п'ять груп: економічні фактори; соціальні фактори; політичні фактори; науково-технічні фактори; культурні фактори. На рисунку 1.1 візуалізовано основні зовнішні фактори впливу на функціонування сучасної освітянської сфери.

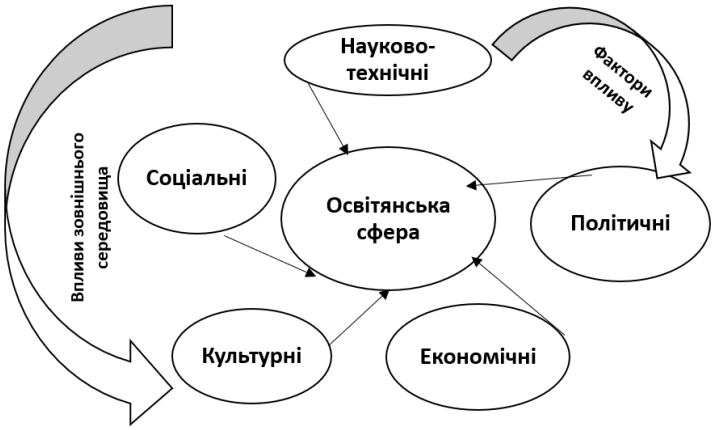


Рисунок 1 – Основні зовнішні фактори впливу на функціонування сучасної освітянської сфери

Розглянемо детальніше, які саме аспекти зовнішніх факторів впливу можуть суттєво коригувати подальший розвиток сучасної освітянської сфери.

Економічні фактори зовнішнього впливу на освітянську сферу актуалізуються у такому: зміна пріоритетів економічного розвитку з адміністративно-планової економіки на економіку ринкового типу; посилення конкурентної боротьби на всіх типах ринків, зокрема ринку освітніх послуг і ринку праці; рівень зайнятості населення; попит на кадри певної професійно-кваліфікаційної структури; перспективи розвитку галузей економіки, зокрема тих, де зайнята основна частка працюючих (промисловість, сільське господарство, сфера послуг); перспективи розвитку підприємництва [5, с. 88].

Соціальними факторами впливу зовнішнього середовища на освітянську сферу є: суспільні ідеали та цінності, рівень престижності освіти; соціальна структура суспільства.

Серед політичних факторів впливу на освітянську сферу можемо виділити такі: ціннісні орієнтири політичних лідерів; роль і місце громадських організацій у втіленні освітньої політики; рівень централізації (децентралізації) управління; ступінь демократизації суспільства;

Важливими науково-технічні факторами впливу на освітянську сферу виступають: посилення інформаційної складової суспільного розвитку; автоматизація виробництва; поширення інформаційних технологій; зростання частки інтелектуальної праці за рахунок постійного підвищення технічної озброєності праці та розвитку новітніх технологій [6].

Не останню роль відіграють у розвитку освітянської сфери такі культурні фактори зовнішнього впливу, як: вимоги до загальнокультурного рівня особистості; вимоги до рівня професійної культури особистості; культурні цінності, що привалюють в даному суспільстві.

Отже, сучасна державна політика в освітянській сфері повинна стати гармонійним поєднанням стратегічних, оперативних та трансформаційних напрямів. Основними трансформаційними напрямами є: підвищення якості учбового процесу через оновлення змісту навчання; модернізація учбового процесу, його наближення до сучасних суспільних та державних вимог; інтенсифікація учбового процесу, створення раціонального режиму навчання, що забезпечує високу його ефективність, гуманізація та гуманітаризація навчання, тобто спрямування учбово-виховних процесів на цілісний та гармонійний розвиток особистості.

Література

[1] До більшої результативності, справедливості та ефективності. Дослідження сфери освіти в Україні. Огляд World Bank Group. 2020. 3 с.

[2] Лазарева М. Освіта в розрізі: філософський аналіз викликів і реалій сьогодення. *International scientific e-journal ΛΟΓΟΣ. ONLINE.* 2020. № 10. URL: https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.10.14.html.

[3] Освіта в незалежній Україні: розвиток та конкурентоспроможність. Інформаційно-аналітичний збірник. 2021. 45 с. URL: https://iea.gov.ua/wp-content/uploads/2021/08/Osvita-v-nezalezhnij-Ukraini-19.08.2021_FINAL-1-1.pdf.

[4] Тицька Я. Державна політика у сфері освіти: правовий аспект. *Прикарпатський юридичний вісник.* 2018. № 2. С 55-60. URL: http://www.pjv.nuoua.od.ua/v2_2018/14.pdf

[5] Ногас Н. Державна політика у галузі освіти України: сутність та зміст. *Актуальні проблеми правознавства*. 2020. № 1 (21). С. 87–95. URL: https://doi.org/10.35774/app2020.01.087.

[6]. Корильчук Н., Дзевицька Л., Василюк-Зайцева С. Проблеми та перспективи сучасної освіти України: спроби наукової рефлексії. *Академічні візії*. 2023. № 16. DOI: http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7664630

FACTORS OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF MODERN STATE EDUCATIONAL POLICY

Matviienko L.V.
Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The essence and features of state educational policy as an important component of state social policy are studied. The main scientific approaches to defining the concept of "state educational policy" are considered and its dynamic nature, due to socio-political and historical transformations, is substantiated. The role of state authorities and institutions in the development and implementation of public policy in the field of education is identified. The main external factors influencing the functioning and development of the modern educational sector are systematized, including economic, social, political, scientific and technological and cultural factors. The content of the influence of these factors on the formation of strategic priorities of state educational policy and the development of educational processes is revealed.

Keywords: state educational policy, public administration of education, modernization of education, educational sector, transformation of the educational process, influencing factors, quality of education.

УДК 351.851:371

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ОСВІТОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Панченко Г.О.,
кандидат наук з державного управління, доцент
Національний університет «Одеська політехніка»,
м. Одеса, Україна
annapaalex@gmail.com

Анотація. Досліджено особливості управління системою освіти України в умовах воєнного стану та визначено основні виклики, що виникають перед органами публічної влади та керівниками закладів освіти. Розглянуто проблеми забезпечення права на освіту, створення безпечного освітнього середовища, організації безперервного навчання та психосоціальної підтримки учасників освітнього процесу. Проаналізовано необхідність адаптації освітніх програм, визнання результатів навчання, отриманих за кордоном та на тимчасово окупованих територіях, а також подолання освітніх втрат і нерівностей. Обґрунтовано, що ефективне управління освітою в умовах воєнного стану має ґрунтуватися на комплексному поєднанні безпекових, організаційних, кадрових, психологічних, комунікаційних та інноваційних управлінських механізмів.

Ключові слова: безпечне освітнє середовище, воєнний стан, кризове управління, освітня інфраструктура, педагогічні працівники, право на освіту, система освіти, управління освітою.

В умовах повномасштабної збройної агресії проти України система освіти функціонує в надзвичайно складних соціально-економічних, безпекових та організаційних умовах, що зумовлює необхідність трансформації підходів до управління нею. Руйнування освітньої інфраструктури, переміщення учасників освітнього процесу, освітні втрати та необхідність забезпечення безперервності навчання актуалізують пошук ефективних управлінських механізмів. Особливого значення набувають питання гарантування права на освіту, створення безпечного освітнього середовища, психосоціальної підтримки учасників освітнього процесу та забезпечення професійної спроможності педагогічних працівників. У таких умовах управління освітою потребує узгодженої взаємодії органів державної влади, місцевого самоврядування, закладів освіти, міжнародних і громадських організацій та інших соціальних партнерів.

Метою дослідження є розгляд особливостей управління системою освіти України в умовах воєнного стану, визначення основних викликів та проблеми забезпечення безперервності й якості освітнього процесу, а також обґрунтування пріоритетні напрями трансформаційного вдосконалення управлінських механізмів у сфері освіти.

Із моменту початку військових дій в Україні у 2014 р. до теми управління освітою за умов військового конфлікту почали звертатися українські науковці з педагогіки, управління, права тощо. Всесвітня пандемія Covid-19 спонукала до розробок за напрямом доступу та якості освіти в умовах кризи. Із 2022 р. дослідження особливостей управління освітою активізувалися саме через масштабність військових дій, фізичних руйнувань освітньої інфраструктури, масового виїзду учасників освітнього

процесу (учнів/студентів і вчителів/викладачів), а також – правової специфіки проголошення воєнного стану, тож основними орієнтирами для управління освітою в таких умовах залишається реалізація Державних освітніх стандартів, спрямованих на «всебічний розвиток, виховання і соціалізацію особистості, яка здатна до життя в суспільстві та цивілізованої взаємодії з природою, має прагнення до самовдосконалення і навчання впродовж життя, готова до свідомого життєвого вибору та самореалізації, відповідальності, трудової діяльності та громадянської активності» [1].

Реалізація цієї мети можлива тільки за умови наявності професійної компетентності управлінців, яка найбільш повно представлена у професійному стандарті керівника (директора/ректора) закладу освіти усіх рівнів[2, с.85]. Тому, гарантування права на освіту в умовах воєнного стану є критичним питанням, яке потребує особливої уваги та узгоджених зусиль різних суб'єктів влади та суспільства. Хоча збройні конфлікти створюють значні проблеми для забезпечення безперервної освіти, дуже важливо віддавати пріоритет праву на освіту як для дітей, так і для дорослих, навіть під час війни. Забезпечення права на освіту в умовах воєнного стану є надзвичайно важливим завданням, яке вимагає скоординованих зусиль органів публічної влади та суспільства. Варто також взяти до уваги той факт, що рф не дотримується міжнародних вимог, зокрема – і гуманітарного права в частині заборони стріляти по закладах освіти, приміщенням, де зібралися діти тощо. Ще на початку повномасштабного вторгнення було створено інтерактивний графік, який в режимі реального часу рахує руйнування освітньої інфраструктури агресором [3].

Безпечне середовище навчання включає не тільки гарантування фізичної безпеки для учасників освітнього процесу, а також надання психосоціальної підтримки для подолання емоційного та психологічного впливу війни. Для сприяння продовженню освіти можуть бути створені тимчасові навчальні приміщення або освітні ініціативи на рівні міських, сільських, селищних громад. І тут зазначимо на специфічній ролі освіти, коли, окрім властивих їй у мирний час функцій – розвитку особистості, здобуття знань, виховного впливу тощо, вона набуває й інших функцій. Так, в умовах воєнного стану освіта також стає інструментом психологічного захисту.

Ще однією особливістю управління освітою в умовах воєнного стану в Україні є питання вирівнювання програм та знань. Більше чотирьох років триває активна повномасштабна фаза війни, тобто вже четвертий навчальний рік діти завершують навчання за надскладних умов. За статистикою МОН нині в Україні сім мільйонів дітей війни [4], частина з них навчається в Україні, частина – у школах інших країн, частина дітей відвідує чи рахується, що відвідує, школи на окупованих територіях більше року, а частина вже майже дев'ять років. Тому питання визнання результатів навчання, відповідності освітніх програм та змісту навчання стане дуже гостро як тільки території України будуть деокуповані, припиняться бойові дії і родини почнуть повертатися додому [5]. До того моменту потрібно створити механізм у який спосіб мають визнаватися результати навчання і як робити «вирівнювання», якщо ці результати не співпадуть – усі ці зазначені фактори створюють додаткове навантаження та специфіка роботи для вчителів/викладачів. Саме тому надзвичайно важливим та життєзабезпечувальним в умовах воєнного стану для управління системою освіти стали міжнародна співпраця та фінансування. Країни-донори, міжнародні організації та неурядові організації активно співпрацюють, щоб забезпечити необхідне фінансування, ресурси та досвід для підтримки освітніх програм по всій території України. Координацію переважно забезпечує МОН [6], але за деякими проєктами провідну роль відіграють органи публічної влади. Ось ця взаємодія має потребу в специфічних управлінських навичках. На сьогодні в Україні спостерігається така специфіка – розширення кола суб'єктів управління освітою, особливо на місцевому рівні.

Важливою характеристикою управління освітою в умовах воєнного стану в України є відбудова систем освіти. Це передбачає відновлення пошкодженої інфраструктури, забезпечення належними навчальними матеріалами та реінтеграцію учасників освітнього процесу у систему формальної освіти. Післявоєнні освітні реформи також мають бути спрямовані на усунення будь-якої нерівності чи бар'єрів, які могли загостритися під час війни.

Важливо зазначити, що реалізація цих заходів вимагає колективних зобов'язань та зусиль уряду, органів державної влади на всіх рівнях управління, міжнародних організацій, неурядових організацій, місцевих громад та суспільства. Віддаючи пріоритет освіті в умовах воєнного стану та працюючи разом, можна пом'якшити несприятливий вплив та негативні наслідки війни на право на освіту та надати можливості для навчання та розвитку навіть за складних обставин, в яких зараз перебуває Україна [7, с. 11].

Також трансформаційним напрямом в управлінні освітою є створення та розвиток системи заходів, спрямованих на підтримку вчителів/викладачів, адже вони відіграють вирішальну роль у навчанні під час війни. Їм потрібна підтримка, навчання (додаткова підготовка з точку зору нових змістів та функціоналу освіти в умовах війни) та ресурси, щоб продовжувати роботу в складних умовах. Уряди, неурядові організації (НУО) та міжнародні агентства можуть надавати навчання, професійний розвиток і психосоціальну підтримку вчителям/викладачам, які працюють у постраждалих від війни районах. Це аспект надзвичайно важливий для кризового управління освітою, оскільки нові завдання мають виконувати висококваліфіковані освітяни [8, с. 70].

Тому, ознакою управління закладами освіти в умовах воєнного стану є реалізація мотиваційної функції в діяльності сучасного українського освітянина-керівника. До змісту такої функції віднесено: забезпечення командної роботи учасників освітнього процесу; ефективне використання в управлінні персоналом сучасних методів та інструментарію, що забезпечують якість освітнього процесу; організація заходів щодо підвищення відповідальності педагогічних працівників за виконання державних стандартів освіти.

Отже, управління закладами освіти в умовах воєнного стану потребує від керівників компетентної орієнтації в надзвичайних ситуаціях, ефективної кадрової та інформаційної політики, якісної організації освітнього процесу, сприятливих умов для дистанційної роботи, умінь налагоджу вати партнерство з усіма соціальними партнерами.

Управління закладами освіти в умовах воєнного стану має розв'язати низку завдань, які реалізують право на освіту в освітніх закладах усіх рівнів: забезпечення умов для якісної організації освітнього процесу (безпечне освітнє середовище, готовність учителя/викладача до здійснення професійної діяльності в умовах воєнного стану, обладнання для дистанційного навчання, якість логістичних та управлінських процесів інше); забезпечення адаптації здобувачів освіти до нових умов навчання; забезпечення психологічної підтримки всіх учасників освітнього процесу; забезпечення продуктивної співпраці з батьками та іншими соціальними партнерами; забезпечення сприятливих комунікації між усіма учасниками освітнього процесу інше.

Література

[1]. Освітній омбутсмен України. Освіта в умовах воєнного стану. URL: https://eo.gov.ua/osvita-v-umovakh-voiennoho-stanu/2022/04/11/.

[2]. Державно-громадське управління закладами загальної середньої освіти на засадах суб'єктної партнерської взаємодії: монографія.О. М. Онаць, І. В. Саух, Б. Г. Чижевський, Л. М. Попович, А. Ю. Данко. Київ: Видавничий дім «Освіта», 2024. 22 с.

[3]. Діяльність у сфері управління освітою в умовах воєнного стану. Швейцарсько-український проєкт DECIDE «Децентралізація для розвитку демократичної освіти». 21 квітня 2023 р. URL: https://nads.gov.ua/events/vebinar-na-temu-diialnist-u-sferi-upravlinnia-osvitoiu-v-umovakh-voiennoho-stanu.

[4]. Бобак Н. В., Мартинюк О. В., Марочко Н. М. Моніторинг якості освіти: міжнародний досвід. URL: http://www.ippo.if.ua/files/%D0%86%D0%9C/MON/Bobak.pdf

[5]. Вознюк Л., Доброгорський О. Особливості освітнього менеджменту в умовах воєнного стану. *Вісник Дніпровської академії неперервної освіти «Публічне управління та адміністрування».* 2022. № 1 (2). URL: https://visnuk.dano.dp.ua/index.php/pma/article/download/36/44.

[6]. Міністерство освіти і науки України. Офіційний веб-ресурс. URL: https://mon.gov.ua/ua

[7]. Як покращити якість освіти в умовах невизначеності: методичні матеріали / Упор. С.В. Королюк. Полтава, ПАНО: 2023. 2 с.

[8]. Пуль С. С. Особливості трансформації мережі закладів загальної середньої освіти в Україні в умовах воєнного стану. *Таврійський науковий вісник. Серія: Публічне управління та адміністрування*. 2023. № (5). С. 46–51.

PUBLIC EDUCATION MANAGEMENT UNDER MARTIAL ARTS: CHALLENGES AND PROSPECTS FOR TRANSFORMATION

Panchenko Hanna Oleksandrivna,
Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine

Abstract. The features of the management of the education system of Ukraine under martial law are studied and the main challenges that arise for public authorities and heads of educational institutions are identified. The problems of ensuring the right to education, creating a safe educational environment, organizing continuous learning and psychosocial support for participants in the educational process are considered. The need to adapt educational programs, recognizing learning outcomes obtained abroad and in temporarily occupied territories, as well as overcoming educational losses and inequalities is analyzed. It is substantiated that effective management of education under martial law should be based on a comprehensive combination of security, organizational, personnel, psychological, communication and innovative management mechanisms.

Keywords: safe educational environment, martial law, crisis management, educational infrastructure, teaching staff, the right to education, education system, education management.

УДК 376

ПІДГОТОВКА ПЕДАГОГІВ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИНЦИПІВ ІНКЛЮЗИВНОЇ ОСВІТИ: КОМПЕТЕНТНІСНИЙ ПІДХІД

Середа І.В.,
кандидат педагогічних наук, доцент
sereda_iv71@ukr.net
Сидорова Н. М.
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальність А6 «Спеціальна освіта» спеціалізація А6.01 «Логопедія» nata_mazur_osvita@ukr.net
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

У статті розглянуто проблему професійної підготовки педагогів до реалізації принципів інклюзивної освіти в умовах сучасних трансформацій освітньої системи. Обґрунтовано значення компетентнісного підходу як методологічної основи формування готовності педагогічних працівників до роботи в інклюзивному освітньому середовищі. Визначено основні компоненти інклюзивної компетентності педагога: мотиваційно-ціннісний, когнітивний, діяльнісний, комунікативний та рефлексивний. Акцентовано увагу на необхідності поєднання теоретичної підготовки, практичного досвіду та безперервного професійного розвитку педагогів.

Ключові слова: інклюзивна освіта, професійна підготовка педагогів, компетентнісний підхід, інклюзивна компетентність, педагогічна діяльність, діти з особливими освітніми потребами.

Сучасний етап розвитку української освіти характеризується посиленням уваги до забезпечення права кожної дитини на якісну, доступну та інклюзивну освіту. Відповідно до Закону України «Про освіту» інклюзивне навчання ґрунтується на принципах недискримінації, ефективного залучення та включення до освітнього процесу всіх його учасників [3, ст.20], створення умов для спільного навчання, виховання та розвитку здобувачів освіти з урахуванням їхніх потреб і можливостей [3]. Розвиток інклюзивної освіти актуалізує проблему професійної готовності педагогічних працівників до роботи з різним контингентом учнів. Учитель в умовах інклюзивного освітнього середовища має не лише володіти предметними знаннями, а й уміти враховувати індивідуальні освітні потреби учнів, застосовувати диференційовані методи навчання, адаптувати освітній матеріал, взаємодіяти з батьками та іншими фахівцями, брати участь у командному супроводі дитини та оцінювати результати власної педагогічної діяльності.

Сучасний характер проблеми посилюється умовами воєнного стану та необхідністю забезпечення безперервності й доступності освіти для дітей, які мають різноманітні освітні потреби. Оновлений у 2026 році порядок щодо організації інклюзивного навчання враховує ситуацію дітей, які вимушено змінили місце проживання внаслідок збройної агресії рф, та передбачає організацію підтримки відповідно до визначеного рівня освітніх потреб [8, абз. 2 п. 4]. У цьому контексті особливого значення набуває компетентнісний підхід, орієнтований на формування здатності педагога не лише накопичувати професійні знання, а й ефективно застосовувати їх у реальних педагогічних ситуаціях. Компетентнісний підхід – це спрямованість освітнього процесу на досягнення результатів навчання та набуття особою компетентностей, необхідних для професійної діяльності, самореалізації та особистісного розвитку [7, пп.2 п.3]. Такий підхід відповідає сучасному розумінню професійної компетентності як поєднання знань, умінь, ставлень та здатності діяти відповідно до конкретної ситуації.

Мета статті полягає в теоретичному обґрунтуванні значення компетентнісного підходу у підготовці педагогів до реалізації принципів інклюзивної освіти та визначенні основних складових їхньої інклюзивної компетентності.

Вагомий внесок у розроблення теоретичних і практичних засад інклюзивної освіти в Україні зробили А. А. Колупаєва та О. М. Таранченко. У своїх монографіях «Інклюзивна освіта: від основ до практики» та «Інклюзія: покроково для педагогів» автори характеризують трансформацію підходів до освіти дітей з особливими освітніми потребами та визначають роль професійної компетентності педагогів у забезпеченні ефективної інклюзивної практики [5, 6]. Питання професійної підготовки педагогів до інклюзивної діяльності в умовах Нової української школи досліджує С. Г. Коваленко у праці «Професійна підготовка вчителів інклюзивної освіти Нової української школи», акцентуючи увагу на професійній компетентності педагога як важливій умові створення інклюзивного освітнього середовища [4, с. 198–202]. Зарубіжні дослідження також засвідчують посилення компетентнісної складової підготовки педагогів до роботи в умовах різноманітності. Так у дослідженні OECD “Equity and Inclusion in Education: Finding Strength through Diversity” професійна підготовка педагогів розглядається як один із ключових напрямів розвитку інклюзивної освіти [2, с. 187–191]. Важливим є й підхід, представлений у посібнику Я. Каплана та М. Бісти. Автори орієнтуються на розвиток компетентностей педагогів та педагогічних тренерів, необхідних для

реалізації інклюзивної педагогіки, і пропонують практичні інструменти, кейси та підходи до роботи з учнями [1].

У структурі інклюзивної компетентності доцільно виокремити такі компоненти: **мотиваційно-ціннісний –** визначає ставлення педагога до ідей інклюзії, прийняття цінності різноманітності та готовність працювати з усіма учнями; **когнітивний –** охоплює систему знань про особливості розвитку дітей з особливими освітніми потребами, нормативно-правові засади інклюзивної освіти та сучасні педагогічні технології; **діяльнісний –** характеризує практичні вміння організації індивідуалізованого навчання, адаптації освітнього середовища та використання інклюзивних методик; **комунікативний –** пов'язаний із розвитком навичок партнерської взаємодії з учнями, батьками, асистентами вчителя та фахівцями психолого-педагогічного супроводу; **рефлексивний –** передбачає здатність педагога аналізувати власну професійну діяльність, визначати потреби у професійному розвитку та вдосконалювати педагогічну практику.

В умовах реформування української освіти компетентнісний підхід набуває особливого значення, оскільки орієнтує професійну підготовку педагога передусім на формування здатності застосовувати їх у практичній діяльності. Підготовка педагогів до реалізації принципів інклюзивної освіти має здійснюватися на основі компетентнісного підходу, який забезпечує формування не лише професійних знань і умінь, а й ціннісних орієнтацій, необхідних для створення доступного, безпечного та підтримувального освітнього середовища.

Перспективою подальших досліджень є розроблення та експериментальна перевірка моделі підготовки педагогів до інклюзивної діяльності на засадах компетентнісного підходу.

Література

[1] Kaplan I. та Bista M. "Welcoming Diversity in the Learning Environment: Teachers' Handbook for Inclusive Education". Посібник. UNESCO, 2022.-19 с.

[2] Mezzanotte C., Varsik S, Cerna L., Jameson S. під керівництвом Andreas Schleicher та Paulo Santiago "Equity and Inclusion in Education: Finding Strength through Diversity". Звіт. Аналітичні матеріали. OECD, 2023.-37 с.

[3] Закон України «Про освіту» від 05 вересня 2017 року № 2145-VIII (зі змінами). – К.

[4] Коваленко С. Г. «Професійна підготовка вчителів інклюзивної освіти Нової української школи». Наукова доповідь. Збірник матеріалів форуму, 2024.- с. (с.198-202)

[5] Колупаєва А. А., Таранченко О. М. «Інклюзивна освіта: від основ до практики». Монографія. – К., вид-во «АТОПОЛ», 2016.-15 с.

[6] Колупаєва А. А., Таранченко О. М. «Інклюзія: покроково для педагогів». Навчально-методичний посібник. – К., Інститут спеціальної педагогіки і психології імені Миколи Ярмаченка НАПН України, 2023.-23 с.

[7] Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державного стандарту професійної (професійно-технічної) освіти від 20 жовтня 2021 року № 1077. – К.

[8] Постанова Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Порядку організації інклюзивного навчання у закладах загальної середньої освіти» від 05 лютого 2026 року № 129. – К.

PREPARATION OF TEACHERS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF INCLUSIVE EDUCATION: A COMPETENT APPROACH

Sereda I. V., Sydorova N. M.

Educational and Scientific Pedagogical Institute named after V. O. Sukhomlynskyi

Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine

The article examines the problem of professional training of teachers to implement the principles of inclusive education in the conditions of modern transformations of the educational system. The importance of the competence approach as a methodological basis for the formation of the readiness of pedagogical workers to work in an inclusive educational environment is substantiated. The main components of the teacher's inclusive competence are defined: motivational-value, cognitive, activity, communicative and reflective. Attention is focused on the need to combine theoretical training, practical experience, interdisciplinary interaction and continuous professional development of teachers.

Keywords: inclusive education, professional training of teachers, competence approach, inclusive competence, pedagogical activity, children with special educational needs.

УДК 378.011.3-051:376

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ДО ЗАСТОСУВАННЯ СТРАТЕГІЙ СУПРОВОДУ В ІНКЛЮЗИВНОМУ КЛАСІ

Шапочка В.А.,
здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
Mechanikernikolaev@gmail.com

Анотація. У статті обґрунтовано актуальність формування готовності майбутніх учителів початкових класів до застосування стратегій супроводу в інклюзивному класі як важливої складової їхньої професійної підготовки. Наголошено, що така готовність не обмежується засвоєнням теоретичних знань і окремих педагогічних прийомів, а передбачає здатність учителя своєчасно визначати потребу учня в підтримці, обґрунтовано обирати відповідну стратегію супроводу, адаптувати її до конкретної педагогічної ситуації, оцінювати результативність та за необхідності коригувати власні педагогічні дії. Уточнено сутність поняття «організаційно-педагогічні умови формування готовності майбутніх учителів початкових класів до застосування стратегій супроводу»; визначено п’ять взаємопов’язаних організаційно-педагогічних умов: цілеспрямоване формування мотиваційно-ціннісної орієнтації майбутніх учителів на інклюзивну професійну діяльність та застосування стратегій супроводу; інтеграція змісту професійної підготовки зі знаннями про стратегії супроводу та способи їх застосування; створення практико-орієнтованого освітнього середовища для набуття досвіду застосування стратегій; забезпечення міждисциплінарної взаємодії та командної організації практичної підготовки; розвиток рефлексивно-оцінювальної готовності до аналізу й коригування застосування стратегій супроводу.

Ключові слова: майбутні вчителі початкових класів, професійна підготовка, інклюзивна освіта, інклюзивний клас, готовність до професійної діяльності, стратегії супроводу, організаційно-педагогічні умови, педагогічний супровід, практико-орієнтована підготовка.

Вступна частина. Формування готовності майбутнього вчителя початкових класів до роботи в інклюзивному освітньому середовищі є складним і багатовимірним процесом, оскільки передбачає не лише засвоєння відповідних теоретичних знань, а й формування професійної позиції, практичних умінь, здатності до педагогічного аналізу та прийняття обґрунтованих рішень відповідно до індивідуальних потреб здобувачів освіти. Особливого значення набуває підготовка майбутнього педагога до застосування стратегій супроводу, оскільки їх ефективність визначається не стільки володінням окремими педагогічними прийомами, скільки здатністю своєчасно визначати потребу в підтримці, обирати її адекватний спосіб, адаптувати до конкретної освітньої ситуації та оцінювати її результативність.

Мета статті – теоретично обґрунтувати та визначити організаційно-педагогічні умови формування готовності майбутніх учителів початкових класів до застосування стратегій супроводу в інклюзивному класі, розкрити їх взаємозв’язок і послідовність реалізації як цілісного механізму переходу від ціннісного прийняття інклюзії та засвоєння системи професійних знань до набуття практичного досвіду, командної взаємодії, рефлексивного оцінювання і формування здатності самостійно обирати, застосовувати та коригувати стратегії супроводу відповідно до індивідуальних потреб учня та конкретної педагогічної ситуації.

Основна частина. У зв’язку з цим формування готовності до застосування стратегій супроводу не може розглядатися як результат засвоєння окремої навчальної теми або опанування сукупності методичних прийомів. Воно потребує створення в системі професійної підготовки таких організаційних і педагогічних обставин, які забезпечують послідовний перехід від розуміння сутності інклюзивної освіти та стратегій супроводу до їх практичного застосування в реальних і змодельованих педагогічних ситуаціях.

Водночас важливо враховувати, що готовність майбутнього вчителя формується в процесі цілісної професійної підготовки, у якій взаємопов’язаними мають бути мотиваційно-ціннісна, когнітивна, операційно-діяльнісна, комунікативна та рефлексивна складові. Тому організаційно-педагогічні умови її формування мають бути спрямовані не на розвиток окремих умінь ізольовано, а на забезпечення їх взаємодії та поступового набуття студентом професійної самостійності.

З огляду на це під організаційно-педагогічними умовами формування готовності майбутніх учителів початкових класів до застосування стратегій супроводу доцільно розуміти *сукупність цілеспрямовано створених і взаємопов’язаних організаційних та педагогічних обставин освітнього процесу закладу вищої освіти, які забезпечують формування мотивації до інклюзивної професійної діяльності, засвоєння знань*

про стратегії супроводу, набуття досвіду їх практичного застосування, розвиток професійної взаємодії та здатності до рефлексивного оцінювання й коригування власних педагогічних рішень.

Визначення таких умов має ґрунтуватися на розумінні готовності як динамічного результату професійної підготовки, що виявляється не лише в обізнаності майбутнього вчителя щодо стратегій супроводу, а передусім у його здатності обґрунтовано обирати, застосовувати, оцінювати та за необхідності змінювати відповідну стратегію відповідно до потреб учня та конкретної ситуації інклюзивного навчання.

Логіка нашого дослідження підводить нас до наступних організаційно-педагогічних умов формування готовності майбутніх учителів початкової освіти до застосування стратегій супроводу в інклюзивному класі: цілеспрямоване формування мотиваційно-ціннісної орієнтації майбутніх учителів на інклюзивну професійну діяльність та застосування стратегій супроводу; інтеграція змісту професійної підготовки зі знаннями про стратегії супроводу та способи їх застосування в інклюзивному класі; створення практико-орієнтованого освітнього середовища для набуття майбутніми вчителями досвіду застосування стратегій супроводу; забезпечення міждисциплінарної взаємодії та командної організації практичної підготовки майбутніх учителів; розвиток рефлексивно-оцінювальної готовності майбутніх учителів до аналізу та коригування застосування стратегій супроводу.

Висновки. Вважаємо унікальною ідею об’єднання запропонованих умов не просто в перелік, а в послідовний механізм формування готовності:

ціннісне прийняття інклюзії

↓

системні професійні знання

↓

практичний досвід застосування стратегій

↓

командна взаємодія

↓

рефлексія та коригування

↓

самостійне стратегічне педагогічне рішення

Простежується наскрізна логіка нашого дослідження: майбутнього вчителя потрібно не просто навчити стратегіям супроводу, а сформувати здатність професійно обирати, застосовувати, оцінювати й за потреби змінювати їх відповідно до потреб конкретного учня.Саме це є центральною ідеєю моделі формування готовності майбутніх учителів до застосування стратегій супроводу в інклюзивному класі.

Література

[1]. Таранченко О. М. Формування готовності вчителів до роботи в умовах інклюзивного навчання // Матеріали наук.-практ. конф., 2011.

ORGANIZATIONAL AND PEDAGOGICAL CONDITIONS FOR DEVELOPING FUTURE TEACHERS’ READINESS TO APPLY SUPPORT STRATEGIES IN AN INCLUSIVE CLASSROOM

Shapochka Viacheslav Anatoliyovych

Postgraduate, Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article substantiates the relevance of developing future primary school teachers’ readiness to apply support strategies in inclusive classrooms as an important component of their professional training. It is emphasized that such readiness is not limited to the acquisition of theoretical knowledge and individual pedagogical techniques, but involves teachers’ ability to identify students’ needs for support in a timely manner, make informed decisions regarding the selection of an appropriate support strategy, adapt it to a specific pedagogical situation, evaluate its effectiveness, and, where necessary, adjust their pedagogical actions. The essence of the concept of “organizational and pedagogical conditions for developing future primary school teachers’ readiness to apply support strategies” is clarified; five interrelated organizational and pedagogical conditions are identified: purposeful

development of future teachers' motivational and value-based orientation towards inclusive professional activity and the application of support strategies; integration of professional training content with knowledge of support strategies and ways of applying them; creation of a practice-oriented educational environment for acquiring experience in applying support strategies; ensuring interdisciplinary interaction and a team-based organization of practical training; and development of reflective and evaluative readiness to analyze and adjust the application of support strategies.

Keywords: future primary school teachers, professional training, inclusive education, inclusive classroom, readiness for professional activity, support strategies, organizational and pedagogical conditions, pedagogical support, practice-oriented training, strategic pedagogical decision-making.

УДК 376.37:811.111:373.3

КОРЕКЦІЙНО-РОЗВИТКОВА СКЛАДОВА ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ ДІТЬМИ МОЛОДШОГО ШКІЛЬНОГО ВІКУ З РАС

Шапочка К.А.,
к.п.н., доцент , в.о. зав. кафедри спеціальної та інклюзивної освіти
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
kateryna.shapochka@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах розглянуто особливості навчання іноземної мови молодших школярів з розладами аутистичного спектра (РАС) та обґрунтовано його корекційно-розвитковий потенціал. Визначено сім взаємопов'язаних корекційно-розвиткових напрямів: мовленнєвий, комунікативний, соціалізаційний, когнітивний, емоційно-вольовий, сенсорний та регулятивний. Розкрито зміст зазначених напрямів та очікувані результати їх реалізації в процесі іншомовного навчання. Наголошено на необхідності диференційованого підходу, адаптації навчального матеріалу та створення безпечного, структурованого й підтримувального освітнього середовища відповідно до індивідуальних освітніх потреб дітей з РАС.

Ключові слова: розлади аутистичного спектра, РАС, молодші школярі, навчання іноземної мови, інклюзивна освіта, корекційно-розвитковий напрям, педагогічна підтримка, індивідуальні освітні потреби.

Сучасний етап розвитку України характеризується функціонуванням суспільства в умовах повномасштабної війни, що суттєво трансформує всі сфери суспільного життя, зокрема освітню галузь. Війна спричинила масштабні міграційні процеси, активізацію міжнародної співпраці, розширення гуманітарних, дипломатичних та професійних контактів. Україна дедалі активніше інтегрується у світовий політичний, економічний та культурний простір, що посилює значення іноземної мови як засобу міжкультурної комунікації, академічної мобільності та професійної самореалізації.

Особливого значення набуває оволодіння англійською мовою як однією з основних мов міжнародного спілкування, науки, цифрових технологій та глобальної взаємодії. В умовах посилення міжнародної підтримки України, активізації євроінтеграційних процесів та розширення міжнародних партнерських зв'язків володіння англійською мовою набуває важливого значення для подальшої освітньої та професійної діяльності особистості, її участі в міжнародній комунікації та представлення України у світовому освітньому й культурному просторі.

У цьому контексті важливого значення набуває забезпечення якісного навчання іноземної мови вже на рівні початкової освіти, коли закладаються основи мовленнєвих умінь, формуються пізнавальні стратегії та ставлення дитини до процесу навчання. Ранній початок іншомовної освіти створює передумови для її поступового, систематичного та послідовного опанування, а також розвитку комунікативних умінь відповідно до вікових та індивідуальних можливостей здобувачів освіти.

Водночас в умовах воєнного стану особливої актуальності набуває створення безпечного, підтримувального та розвивального освітнього середовища, здатного враховувати індивідуальні освітні потреби кожної дитини. Особливого підходу потребує організація навчання дітей з особливими освітніми потребами, зокрема дітей з розладами аутистичного спектра (РАС), для яких характерними можуть бути специфічні особливості соціальної взаємодії та комунікації, сенсорної регуляції, сприймання інформації, організації поведінки та виконання навчальної діяльності. За таких умов навчання іноземної мови може набувати не лише освітнього, а й корекційно-розвиткового значення за умови спеціально організованої педагогічної підтримки та врахування індивідуальних потреб дитини.

Проблема навчання іноземної мови дітей молодшого шкільного віку з РАС має міждисциплінарний характер і перебуває на перетині спеціальної педагогіки, психології розвитку, нейропсихології та методики навчання іноземних мов. Її наукове обґрунтування потребує врахування як загальних закономірностей розвитку та навчання дітей молодшого шкільного віку, так і специфічних особливостей освітніх потреб дітей з РАС.

Аналіз наукових джерел засвідчує, що попри наявність ґрунтовних досліджень у галузях спеціальної педагогіки, психології аутизму та методики навчання іноземних мов, проблема системного поєднання іншомовної підготовки з корекційно-розвитковою складовою навчання молодших школярів з РАС залишається недостатньо висвітленою. Потребують подальшого наукового обґрунтування педагогічні та методичні умови, дидактичні засоби, способи адаптації навчального матеріалу й організаційні моделі, які забезпечують одночасне формування іншомовної комунікативної компетентності та створення умов для розвитку комунікативної, когнітивної, соціальної й емоційно-вольової сфер дітей з РАС.

Отже, навчання іноземної мови молодших школярів з розладами аутистичного спектра доцільно розглядати не лише як процес формування іншомовної комунікативної компетентності, а й як потенційно значущий засіб комплексного психолого-педагогічного та корекційно-розвиткового впливу. Ефективність такого навчання значною мірою визначається створенням безпечного, структурованого та передбачуваного освітнього середовища, адаптацією змісту й способів подання навчального матеріалу до індивідуальних освітніх потреб дитини та забезпеченням необхідної педагогічної підтримки.

У межах нашого дослідження визначено сім взаємопов'язаних корекційно-розвиткових напрямів, які можуть реалізовуватися в процесі навчання іноземної мови молодших школярів з РАС: *мовленнєвий розвиток, комунікативний розвиток, соціалізація, когнітивний розвиток, розвиток емоційно-вольової сфери, сенсорний розвиток та розвиток регулятивної сфери*. Їх зміст передбачає не механічне перенесення корекційних завдань у процес іншомовного навчання, а органічне поєднання освітніх і корекційно-розвиткових цілей у межах спеціально організованої педагогічної взаємодії.

Зазначені напрями взаємодоповнюють один одного: розвиток мовлення і комунікації створює основу для іншомовної взаємодії; соціалізація забезпечує можливість використання мовлення у спільній діяльності; когнітивний розвиток підтримує засвоєння та обробку навчальної інформації; емоційно-вольова, сенсорна й регулятивна складові сприяють формуванню готовності дитини до участі в освітньому процесі, саморегуляції та поступового підвищення самостійності. Такий взаємозв'язок дає змогу розглядати урок іноземної мови як цілісний простір навчання, розвитку та підтримки дитини.

Водночас реалізація визначених корекційно-розвиткових напрямів потребує диференційованого підходу, урахування індивідуального профілю освітніх потреб дитини та використання спеціально дібраних педагогічних і методичних засобів. Перспективним завданням подальшого дослідження є визначення педагогічних умов, методів, прийомів і засобів реалізації зазначених напрямів у процесі навчання іноземної мови молодших школярів з РАС, а також розроблення критеріїв оцінювання їх результативності.

Література

[1]. Айнскоу М. Розвиток інклюзії та забезпечення рівності в освіті: міжнародний досвід // Nordic Journal of Studies in Educational Policy. 2020. № 6 (1). С. 7–16.

[2]. Каннер Л. Аутичні порушення афективного контакту // Nervous Child. 1943. № 2. С. 217–250.

[3]. Фріт У. Аутизм: пояснення загадки. 2-ге вид. Оксфорд : Blackwell Publishing, 2003. 25 с.

[4]. Шоплер Е., Мезібов Г. Б. Структуроване навчання в системі TEACCH // Learning and cognition in autism. New York : Plenum Press, 1995. С. 243–268.

CORRECTIVE AND DEVELOPMENTAL COMPONENT OF FOREIGN LANGUAGE LEARNING BY PRIMARY SCHOOL CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER

Shapochka Kateryna Anatoliivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper examines the specifics of foreign language teaching to primary school children with autism spectrum disorder (ASD) and substantiates its corrective and developmental potential. Seven interrelated corrective and developmental areas are identified: speech development, communication development, socialization, cognitive development, emotional and volitional development, sensory development, and regulatory development. The content of these areas and the expected outcomes of their implementation in foreign language learning are outlined. The need for a differentiated approach, adaptation of learning materials, and the creation of a safe, structured, and supportive educational environment tailored to the individual educational needs of children with ASD is emphasized.

Keywords: autism spectrum disorder, ASD, primary school children, foreign language teaching, inclusive education, corrective and developmental area, pedagogical support, individual educational needs.

УДК 378.016:811.111

ПРОФЕСІЙНА ЛЕКСИКА В ІНШОМОВНІЙ КОМУНІКАЦІЇ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Андрєєва М.А.,
доктор філософії за спеціальністю 035 Філологія (PhD), доцент кафедри суспільних наук Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
mariia.andrieieva@nuos.edu.ua

Анотація. У дослідженні розглянуто проблему переходу від засвоєння професійної лексики до її використання в іншомовній професійній комунікації студентів технічних спеціальностей. Проаналізовано основні положення професійно орієнтованого навчання англійської мови. Обґрунтовано доцільність поєднання роботи з професійною лексикою з усними та письмовими комунікативними завданнями, наближеними до реальних потреб майбутньої професійної діяльності здобувачів освіти.

Ключові слова: іншомовна професійна комунікація, професійна лексика, професійно орієнтоване навчання, студенти технічних спеціальностей.

Навички англійськомовної комунікації є одним із чинників професійної мобільності та конкурентоспроможності майбутнього фахівця в сучасних умовах професійної та академічної глобалізації. Особливої актуальності це питання набуває у процесі підготовки студентів технічних спеціальностей, професійна діяльність яких передбачає роботу з англійськомовною документацією, науково-технічною літературою, цифровими ресурсами, а також обмін досвідом з іноземними колегами.

Таким чином, загальномовної підготовки не завжди достатньо для забезпечення готовності здобувача вищої освіти до реального використання англійської мови у професійній діяльності. Важливого значення набуває професійно орієнтоване навчання англійської мови (English for Specific Purposes, скорочено ESP), зміст якого визначається комунікативними потребами здобувачів та особливостями цільового академічного або професійного середовища [1; 4].

Актуальність проблеми зумовлена необхідністю пошуку балансу між формуванням загальної іншомовної компетентності студентів та їх підготовкою до виконання конкретних комунікативних завдань професійного спрямування. Мета дослідження полягає в окресленні проблеми переходу від засвоєння професійної лексики до її використання в реальній іншомовній професійній комунікації та визначенні перспектив удосконалення професійно орієнтованого навчання англійської мови студентів технічних спеціальностей.

Професійно орієнтоване навчання іноземної мови передбачає спрямованість мовної підготовки на конкретні академічні та професійні потреби здобувачів освіти. Принциповим для ESP є визначення того, для яких цілей та в яких ситуаціях здобувачеві освіти буде необхідно використовувати іноземну мову. У такому розумінні зміст навчання не може визначатися виключно окремими граматичними темами або переліком лексичних одиниць. Він має враховувати особливості цільового професійного середовища, типові комунікативні ситуації й види мовленнєвої діяльності, необхідні майбутньому фахівцеві. Згідно з ESP-підходом, саме дослідження потреб здобувачів і специфіки професійного дискурсу є основою для прийняття рішень щодо змісту курсу, навчальних матеріалів і завдань [1].

Відповідно, професійно орієнтоване навчання англійської мови студентів технічних спеціальностей доцільно розглядати як цілеспрямоване формування здатності використовувати іншомовні ресурси для виконання професійно значущих комунікативних дій [1; 2]. Такий підхід узгоджується із сучасним компетентнісним баченням мовної освіти, у межах якого мовленнєва діяльність охоплює не лише сприймання та продукування мовлення, а й взаємодію та медіацію, тобто передавання, пояснення й опрацювання інформації для забезпечення розуміння [3].

Однією з важливих проблем професійно орієнтованого навчання англійської мови студентів технічних спеціальностей є розрив між засвоєнням професійної лексики та здатністю студентів використовувати її у реальних комунікативних ситуаціях. Вивчення термінології часто зводиться до запам’ятовування значень окремих лексичних одиниць, їх розпізнавання або відтворення в межах навчальних вправ. Водночас це не забезпечує вміння самостійно будувати висловлення, добирати необхідні мовні засоби відповідно до комунікативної мети та використовувати професійну лексику в конкретній ситуації спілкування.

Професійна комунікація, своєю чергою, передбачає виконання широкого спектра мовленнєвих дій: опису процесів і технологій, пояснення принципів роботи обладнання, обговорення проблем, формулювання пропозицій, уточнення інформації та взаємодію з іншими учасниками професійної

діяльності. Відповідно, студент має не лише розпізнавати та відтворювати термінологію, притаманну його спеціалізації, а й уміти доцільно використовувати її у відповідному комунікативному контексті.

Подолання такого розриву потребує зміщення фокусу з ізольованого засвоєння термінології на її використання в комунікативних ситуаціях, наближених до професійної діяльності. Перспективним у цьому напрямі є поєднання роботи з професійною лексикою із системою усних і письмових комунікативних завдань, які передбачають її практичне застосування. Важливе місце серед таких завдань посідають діалоги, рольові ігри, короткі усні презентації, обговорення професійної інформації, письмові повідомлення та інші види діяльності, які спонукають студентів самостійно добирати й використовувати необхідні мовні засоби відповідно до поставленої комунікативної мети. Такий підхід дає змогу більш послідовно поєднати мовну підготовку студентів технічних спеціальностей із реальними потребами їхньої майбутньої професійної комунікації.

Отже, професійно орієнтоване навчання англійської мови студентів технічних спеціальностей доцільно спрямовувати не лише на засвоєння термінології, а й на формування здатності використовувати її у професійній комунікації. Подолання розриву між знанням професійної лексики та її практичним застосуванням потребує включення студентів у різноманітні комунікативні ситуації, наближені до реального професійного середовища. Перспективним у цьому контексті є системне поєднання професійної лексики з усними та письмовими комунікативними завданнями, що сприяє формуванню готовності студентів використовувати англійську мову відповідно до професійних потреб.

Література

[1]. Basturkmen H. Developing Courses in English for Specific Purposes. London: Palgrave Macmillan, 2010. – 157 p. DOI: https://doi.org/10.1057/9780230290518

[2]. Basturkmen H. Learning a specialized register: An English for Specific Purposes research agenda. – Language Teaching. – 2025. – Vol. 58, No. 1. – P. 57–68. – DOI: https://doi.org/10.1017/S0261444823000472

[3]. Council of Europe. Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment: Companion Volume. – Strasbourg: Council of Europe Publishing, 2020. – 280 p.

[4]. Hutchinson T., Waters A. English for Specific Purposes: A Learning-Centred Approach. – Cambridge: Cambridge University Press, 1987. – 183 p. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511733031

PROFESSIONAL VOCABULARY IN FOREIGN-LANGUAGE COMMUNICATION AMONG STUDENTS OF TECHNICAL SPECIALITIES

Andrieieva Mariia

Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. This study examines the transition from acquiring professional vocabulary to using it in foreign-language professional communication among students of technical specialities. It analyses the key principles of professionally oriented English language teaching. The study justifies the benefits of combining work on professional vocabulary with oral and written communicative tasks that reflect the real needs of students' future professional activities.

Keywords: foreign-language professional communication, professional vocabulary, professionally oriented teaching, students of technical specialities.

UDC 378.147:811.111

MEDIATION TASKS IN PROFESSIONALLY ORIENTED ENGLISH LANGUAGE TEACHING FOR STUDENTS OF TECHNICAL SPECIALITIES

Andrieieva M.,

PhD in programme subject area 035 Philology, Associate Professor at the Department of Social Sciences, Kherson Educational and Scientific Institute,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine
mariia.andrieieva@nuos.edu.ua

Abstract. The paper examines the methodological potential of mediation tasks in professionally oriented English language teaching for students of technical specialities. Mediation tasks can be used to model professional situations involving the processing, transformation and transfer of information in a foreign language. The paper

presents examples of mediation tasks that involve conveying technical information, adapting it to the recipient's level of knowledge, and integrating information from several sources.

Keywords: foreign-language professional communication, mediation tasks, mediation, professionally oriented language teaching, students of technical specialities.

Modern technical specialists work with a variety of information resources, including instructions, technical reports, specifications, diagrams, charts and other materials, some of which are written in English. Their work also involves summarising, explaining and conveying the information obtained to other participants in professional interactions. In this regard, effective professional communication in a foreign language calls for not only the ability to comprehend and produce utterances in that language, but also the ability to process and adapt information to the specific communicative situation.

This approach to language activity is reflected in the updated Common European Framework of Reference for Languages [1]. It places mediation alongside reception, production and interaction as one of the four modes of communication. Mediation involves more than transferring information. It may also require learners to explain or simplify texts, interpret data, construct meaning collaboratively, and facilitate communication between participants [1].

In contemporary research, mediation is understood as an activity in which a language user facilitates understanding between participants in communication, particularly through explanation, summarisation, adaptation, or the transformation of information. At the same time, mediation is not limited to cross-linguistic mediation and can occur in both spoken and written forms and involve working with various types of information [2].

The relevance of introducing a mediation approach to professionally oriented English language teaching for students of technical specialities derives from the need to align teaching activities with the real communicative needs of future specialists. This approach is also supported by research on mediation in professionally oriented language teaching, which focuses on the development and implementation of mediation activities and strategies in university courses in French for Specific Purposes [3]. Thus, mediation tasks can be regarded as a promising means of modelling professionally relevant communicative situations in the process of learning English.

In professionally oriented English language teaching, it is advisable to link mediation tasks to typical informational and communicative situations that future specialists may encounter. Instructions, reports, diagrams, tables, graphs and other professionally oriented resources can serve as material for such tasks. In this context, the student's work is not limited to demonstrating comprehension of the source material but also involves further processing of the material in accordance with a defined communicative aim [1; 3].

Mediation tasks involve transferring information in a work-related scenario. A student reads a technical instruction manual, processes the information and then explains the procedure or the basic rules for operating the equipment to a colleague who needs to carry out the procedure or use the equipment. This task requires comprehension of the source material and productive use of language to convey information clearly and appropriately.

Specialists often need to explain information to colleagues who are unfamiliar with a particular process. A similar situation can be created in the classroom through a task in which technical information is first processed and then explained to an employee with little technical background. The student selects important details from the source and adjusts them to the employee's level of knowledge and the task to be completed.

More complex mediation tasks may involve analysing several sources of information. Students may be asked to compare data from two technical documents, identify similarities and differences, and then formulate a conclusion or propose a solution to a specific professional problem. Unlike working with a single text, such tasks require the selection, comparison and integration of information, as well as its subsequent presentation in a form relevant to a specific communicative situation.

Overall, mediation tasks help students learn how to process and relay information in work-related situations. They also require students to adapt it to the task's purpose and the intended recipient's needs. This approach brings together receptive, productive and interactive skills and gives students opportunities to work with professional information in meaningful communicative contexts.

References

[1]. Council of Europe. Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment: Companion Volume. – Strasbourg: Council of Europe Publishing, 2020. – 280 p.

[2]. North B., Piccardo E. Developing illustrative descriptors of aspects of mediation for the Common European Framework of Reference (CEFR): A Council of Europe project. – Language Teaching. – 2016. – Vol. 49, No. 3. – P. 455–459. – DOI: https://doi.org/10.1017/S0261444816000100

[3]. Veškrnová D. Mediation activities and strategies in teaching of French for Specific Purposes: Results of a pilot research. – Études romanes de Brno. – 2024. – Vol. 45, No. 2. – P. 58–71. – DOI: https://doi.org/10.5817/ERB2024-2

УДК 378.147:004.9:811.111

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ НАВЧАЛЬНОЇ АВТОНОМІЇ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

Андрєєва М.А.,
доктор філософії за спеціальністю 035 Філологія (PhD), доцент кафедри суспільних наук Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна
mariia.andrieieva@nuos.edu.ua

Анотація. У дослідженні розглянуто методичний потенціал цифрових технологій у розвитку навчальної автономії студентів під час навчання англійської мови. Запропоновано способи залучення студентів до визначення навчальних цілей, вибору цифрових ресурсів, самооцінювання та рефлексії. Визначено роль викладача у поступовому переході від чітко структурованої роботи до більш самостійного прийняття студентами навчальних рішень.

Ключові слова: навчальна автономія, навчання англійської мови, самостійна навчальна діяльність, рефлексія, цифрові технології.

Цифровізація сучасного освітнього процесу розширює можливості навчання англійської мови у закладах вищої освіти. Цифрові ресурси забезпечують доступ до різноманітних мовних матеріалів і створюють умови для більш гнучкої організації самостійної роботи. Водночас доступність цифрових ресурсів не гарантує готовності студента самостійно організовувати власне мовне навчання. У зв'язку з цим особливого значення набуває методично обґрунтоване використання цифрових технологій як засобу розвитку навчальної автономії студентів.

Метою дослідження є визначення методичного потенціалу цифрових технологій у розвитку автономії студентів під час навчання англійської мови та окреслення способів організації самостійної навчальної діяльності в цифровому середовищі.

Навчальна автономія передбачає прийняття студентом відповідальності за власне навчання та перебрання окремих рішень, які традиційно належали викладачеві, зокрема щодо визначення навчальних цілей, вибору способів роботи й оцінювання результатів [4]. Отже, автономне навчання не зводиться до виконання завдань без безпосереднього контролю викладача, а передбачає поступове формування відповідальності студента за окремі компоненти власної навчальної діяльності.

Цифрове середовище створює додаткові умови для реалізації такої автономії, оскільки цифрові технології створюють можливості для поєднання формального навчання, організованого викладачем, із самостійною мовною практикою поза межами аудиторії [2]. У такому форматі роботи важливою є спеціальна підготовка студентів до самостійного використання технологій, яка охоплює розуміння педагогічного призначення цифрових засобів, добір технологій відповідно до навчальних цілей і способів роботи з ними [3]. Таким чином, розвиток автономії передбачає не просто збільшення кількості цифрових ресурсів, доступних студентові, а формування здатності свідомо використовувати їх у власному навчанні.

Одним із практичних способів реалізації такого підходу є залучення студентів до визначення короткострокових навчальних цілей. Залежно від актуальних потреб студент може зосередитися, наприклад, на вдосконаленні аудіювання, розширенні активного словникового запасу чи повторенні певного граматичного матеріалу. Визначена мета стає основою для подальшого вибору цифрового ресурсу та організації роботи з ним. Така послідовність допомагає пов'язати використання технології не з самим фактом виконання цифрового завдання, а з конкретною навчальною потребою.

Наступним кроком може бути надання студентам обмеженого вибору цифрових ресурсів для досягнення визначеної мети. Наприклад, для розвитку аудитивних умінь викладач може запропонувати відео, подкаст або інтерактивний матеріал, після чого студент обирає один із них відповідно до власних потреб і рівня підготовки. Важливо, щоб такий вибір не був випадковим: студент має розуміти, чому певний ресурс є доцільним для виконання конкретного навчального завдання. Саме формування здатності співвідносити технологічний засіб із навчальною метою є одним із компонентів самостійного використання технологій [3].

Важливою складовою автономії є самооцінювання. Після виконання цифрового завдання студент може проаналізувати отриманий результат і визначити, які аспекти потребують подальшого опрацювання. Наприклад, результат онлайн-вправи може стати підставою не лише для фіксації кількості правильних відповідей, а й для визначення типових помилок та вибору матеріалу для їх повторення. Такий підхід переносить увагу з одноразового виконання завдання на подальше регулювання навчальної діяльності.

Самооцінювання доцільно доповнювати короткою рефлексією, спрямованою на усвідомлення власного навчального досвіду. Студент може відповісти на запитання *“What did I learn?”, “What was difficult for me?”, “What mistakes did I make?”, “What should I practise next?”*. У результаті формується послідовність, у якій оцінювання попередньої діяльності стає основою для постановки наступної навчальної мети. Поетапне залучення студентів до такого типу діяльності узгоджується із сучасними підходами до розвитку автономії в цифровому мовному середовищі [1].

За такої організації викладач створює умови, що сприяють поступовому переходу студента від роботи за чітко визначеним алгоритмом до більш самостійного прийняття навчальних рішень. На початкових етапах викладач може пропонувати варіанти ресурсів і критерії їх вибору, тоді як у подальшому частина цих рішень може передаватися студентові, розширюючи його участь в управлінні власним мовним навчанням.

Отже, цифрові технології створюють додаткові можливості для розвитку автономії студентів у процесі навчання англійської мови. Водночас їхній потенціал реалізується повною мірою лише за умови методичної організації цифрової діяльності та поступового залучення студентів до прийняття навчальних рішень. Поєднання постановки цілей, самостійного вибору ресурсів, самооцінювання та рефлексії може стати основою для формування більшої відповідальності студентів за власне мовне навчання.

Література

[1]. Chen L.-M., Liu C. Critical learner autonomy in the digital language learning context. – TESOL Journal. – 2025. – Vol. 16, No. 1. – e906. – DOI: https://doi.org/10.1002/tesj.906

[2]. Lai C. Technology and learner autonomy: An argument in favor of the nexus of formal and informal language learning. – Annual Review of Applied Linguistics. – 2019. – Vol. 39. – P. 52–58. – DOI: https://doi.org/10.1017/S0267190519000035

[3]. Lai C., Shum M., Tian Y. Enhancing learners’ self-directed use of technology for language learning: The effectiveness of an online training platform. – Computer Assisted Language Learning. – 2016. – Vol. 29, No. 1. – P. 40–60. – DOI: https://doi.org/10.1080/09588221.2014.889714

[4]. Littlewood W. Defining and developing autonomy in East Asian contexts. – Applied Linguistics. – 1999. – Vol. 20, No. 1. – P. 71–94. – DOI: https://doi.org/10.1093/applin/20.1.71

DIGITAL TECHNOLOGIES AS A MEANS OF DEVELOPING LEARNER AUTONOMY IN ENGLISH LANGUAGE LEARNING

Andrieieva Mariia

Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The study examines the methodological potential of digital technologies for developing learner autonomy in English language learning. It proposes ways of involving students in setting learning goals, selecting digital resources, self-assessment and reflection. The role of the teacher in the gradual transition from clearly structured learning activities to more independent student decision-making is defined.

Keywords: learner autonomy, English language learning, self-directed learning, reflection, digital technologies.

УДК 378.17:004.8

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ В УМОВАХ НАВЧАННЯ ОНЛАЙН

Бойко Л.М.,
кандидат філологічних наук, доцент
liubov.boiko@nuos.edu.ua
Смірнова І.М.,
старший викладач
IrSmirnova0702@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. При навчанні онлайн посилюється ризик гіподинамії та проблем зі здоров’ям студентів, що, створює виклики для викладачів фізичного виховання. Така ситуація вимагає нових підходів до

викладання дисципліни. Запропоновано інтегровану модель самостійної роботи студентів, де штучний інтелект (ШІ) надає голосові команди іноземною мовою, а студент виконує фізичні вправи та формулює зворотні запитання цією ж мовою. Такий підхід дозволяє поєднати рухову активність з подоланням мовного бар'єру у природному контексті.

Ключові слова: штучний інтелект, самостійна робота, навчання онлайн, інтегроване навчання.

Нові реалії вимагають нових підходів. Перехід до дистанційного навчання змушує викладачів шукати нові шляхи ефективного використання сучасних технологій та покращення педагогічної взаємодії.

В умовах навчання онлайн, коли час роботи з викладачем лімітований, все більшого значення набуває штучний інтелект (ШІ), який став помічником викладачів у цифровому середовищі, допомагаючи їм персоналізувати навчальний процес у віртуальних класах [1]. Також важливу роль ШІ відіграє у самостійній роботі студентів, адже він дозволяє скоротити час та підвищити ефективність засвоєння навчального матеріалу.

Дистанційне навчання актуалізує проблему гіподинамії як у студентів, так і у викладачів, та сенсорного перевантаження через статичне напруження і довготривале перебування у одноманітній позі. У результаті виникає т. зв. синдром «комп'ютерної шиї» і м'язовий дисбаланс. Правильно підготувати студентів до навчання онлайн є актуальною проблемою. Так, наприклад, М. Нідермайєр та ін., розглядають фізичну активність як перспективний захід для відновлення когнітивних функцій після тривалих періодів малорухливої діяльності та повідомляють про позитивний вплив інтенсивної фізичної активності на зорову увагу [2].

Через відсутність годин самостійної роботи з фізичного виховання викладачам потрібно максимально ефективно використовувати онлайн-заняття. Але обмеження часу не дає змоги проконтролювати фізичну активність кожного студента. Потрібно посилити самостійну роботу з підготовки до занять з фізичного виховання. Традиційні методи самостійної роботи бувають неефективними через відсутність мотивації студентів. Виходом з такого становища є міждисциплінарна інтеграція фізичного виховання з іншими дисциплінами. Однією з дисциплін, яка найбільш мотивує студентів, є іноземна мова.

Метою даного дослідження є обґрунтувати та розкрити практичний потенціал ШІ як інструменту оптимізації самостійної роботи студентів в умовах онлайн-навчання через інтеграцію рухової активності та іншомовної практики.

Залучення ШІ до самостійної роботи з фізичного виховання та іноземної мови дозволить перетворити нудну підготовку до занять у цікаву рольову гру, коли одночасно вирішуються два завдання: поєднання занурення в іноземну мову та підготовку до фізичних навантажень під час онлайн-занять.

Штучний інтелект має потенціал революціонізувати освіту з фізкультури, оптимізуючи коучинг, покращуючи аналіз результатів та сприяючи залученню студентів [3].

Важливим питанням є різний ступінь фізичної підготовки студентів одного курсу. Саме тому гостро постає необхідність застосування адаптованих методів навчання з урахуванням індивідуальних відмінностей, а найкращим «провайдером» персоналізованих методів є штучний інтелект.

При підготовці до занять з фізичного виховання ШІ виступає у ролі індивідуального тренера.

На підготовчому етапі студент звертається до ШІ з проханням створити для нього індивідуальний план тренувань з текстовою або голосовою інструкцією іноземною мовою.

Далі студент виконує фізичні вправи під аудіосупровід ШІ: голосові команди ШІ-тренера, підказки щодо правильного або зауваження щодо неправильного виконання вправ. На цьому етапі студент може задавати питання іноземною мовою, коментувати свої дії, одночасно запам'ятовуючи словосполучення та терміни з теми «Спорт».

Таким чином студент вчиться сприймати мову на слух в умовах фізичного навантаження, що покращує концентрацію. Іноземна мова вивчається не через правила, а через дію. Перевагою також є те, що спілкування відбувається без однокурсників і викладача, а це знімає напругу через страх зробити помилку.

Даний підхід поєднує концепцію CLIL (інтегроване навчання предмету та мови) з технологіями ШІ. Така методика підвищує самостійність студентів, готує їх до онлайн-занять з фізичного виховання та змінює підхід до викладання цієї дисципліни, роблячи її сучасною та цікавою для «комп'ютерного» покоління студентів.

Література

[1]. Boiko L. (2025). Benefits and Risks of Applying Artificial Intelligence in Online Foreign Language Teaching. SCIENCE AND EDUCATION IN THE THIRD MILLENNIUM: information technology, education, law, psychology, social security and work, management. International collective monograph. Vol. I. Lublin, Polska, 2025. P.153-185. doi: 10.5281/zenodo16942208

[2]. Niedermeier M., Weiss E. M., Steidl-Müller L., Burtscher M., Kopp M. (2020). Acute Effects of a Short Bout of Physical Activity on Cognitive Function in Sport Students. Int J Environ Res Public Health. 17 (10):3678. doi: 10.3390/ijerph17103678.

[3]. Durden-Myers L. (2024). Artificial intelligence in PE. URL: https://www.pescholar.com/insight/artificial-intelligence-ai-in-pe/

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL FOR OPTIMIZING STUDENTS' SELF-STUDY IN ONLINE LEARNING ENVIRONMENT

Liubov Boiko, Iryna Smirnova

Kherson Educational-Scientific Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. When learning online, the risk of hypodynamia and health problems of students increases, which creates challenges for physical education teachers. This situation requires new approaches to teaching the discipline. An integrated model of students' self-study is proposed, where artificial intelligence (AI) provides voice commands in a foreign language, and the student performs physical exercises and formulates return questions in the same language. This approach allows you to combine motor activity with overcoming the language barrier in a natural context.

Keywords: artificial intelligence, self-study, online learning, integrated learning.

UDC 378.147:811.111'243:004.8

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A MOTIVATION TOOL IN ONLINE ENGLISH LANGUAGE TEACHING

Boiko L.,
Candidate of Philological Sciences, Associate Professor
Kherson Scientific-Educational Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
liubov.boiko@nuos.edu.ua

Abstract. The paper explores the pedagogical potential of artificial intelligence (AI) technologies as a factor in intensifying the motivation in online English language teaching (ESL). The author analyzes the phenomenon of "digital isolation" in online classrooms, proposing AI tools as a means of social-emotional support for the educational process. It is shown that the interactive AI agents effectively lower speech anxiety, enhance students' autonomy, and transform their passive digital presence into proactive participation.

Keywords: artificial intelligence (AI), online learning, English language teaching (ELT/ESL), digital isolation, motivation.

Research shows that one of the biggest unintended consequences of online learning is that students become technology-savvy, yet socially isolated. More than half of students report feeling lonelier during online classes than during traditional classroom education. This isolation is detrimental to learning. Students who feel isolated experience reduced motivation and increased cognitive load. According to a study by A. R. Akese et al., "the psychological impact of distance learning on students, namely the significant positive correlation between social isolation and anxiety, suggests that the reduction in personal interaction increases emotional distress" [1].

According to research by Trellis Strategies [2], students who often feel lonely in an online environment are four times more likely to suffer from psychological distress, which critically reduces their motivation to continue their course.

To overcome these difficulties, teachers must create a successful learning environment in the online classroom. The organizational moment of the online lesson should begin with personalized interviews, which will ensure one hundred percent audience involvement, when each student becomes an active subject of communication, and the teacher creates an atmosphere of mutual trust and interest.

Interactive elements, surveys, joint problem-solving and small-group work in Breakout rooms create moments of interaction. Teachers also bring their emotions to the digital space, sharing students' academic difficulties and victories. Thus, their emotional authenticity transforms online classes into a space of human interaction. The use of AI plays a major role in increasing student motivation and engagement, both in preparation for classes and during the classes. For example, AI allows you to transform work with vocabulary by creating dialogues and monologues based on key words and expressions. Unlike outdated textbooks, exercises and answers

to which are openly available on the web (which can provoke students to read the answers during an online class), AI generates new texts based on the words provided. This eliminates the risks of digital dishonesty and provides an objective assessment of foreign language communicative competence during online learning. If a student knows the topic of the lesson and is ready to read a pre-prepared text, the teacher can ask the AI to change a certain detail, which it does instantly; in this case, the student will be forced to react immediately and answer independently.

One more way AI can be used directly in the classroom is to instantly generate speech situations with a specific grammatical structure being studied. Students are involved in active speech, as AI offers real-life situations, which replace the boring repetition of grammatical structures in out-of-context exercises from the textbook.

AI technologies allow for the creation of real-time personalized storytelling with the integration of students' names and familiar life scenarios into the structure of texts [3]. This destroys the feeling of alienation and creates the effect of involvement, which improves the level of lexical and grammatical material memorization due to the development of associative connections.

An important tool for students' cognitive support is the ability of AI to quickly generate personalized glossaries. Instead of students having to search for meanings in dictionaries for a long time, AI instantly generates definitions, explanations, and examples of the use of new vocabulary units directly in the context of a speech situation. Since the definitions are adapted to the specific language proficiency level (CEFR) of the student, this reduces the cognitive load on the student during online classes. The presence of a glossary optimizes the stage of introducing lexical units, maintains a high pace of online classes, and provides students with reliable material for further independent work. Such glossaries not only facilitate the understanding of abstract terms online, but also accelerate the transition of these terms from passive vocabulary to active speech.

In general, AI can simulate dialogue, provide open feedback, support emotional security, fluency, and language use in real-life situations [4].

The integration of AI into online English teaching helps to solve such methodological and psychological problems as: overcoming digital isolation and passivity, increasing interest and engagement through the use of AI-generated real-life content, and the automation of routine materials frees up the teacher to create emotional contact and support students, providing them with a high level of autonomy and motivation.

References

[1]. Akese, A. R., Shaikh, H. L. ., Sheraz , S., & Mughal, F. A. (2024). The Psychological Effects of Remote Learning on Students: Examining Social Isolation, Anxiety, and Self-Discipline. *Review of Applied Management and Social Sciences*, 7 (4), 319-332. https://doi.org/10.47067/ramss.v7i4.383

[2]. Bay J. (2026). 5 Takeaways from Recent Research on Student Loneliness. URL: https://www.insidehighered.com/news/student-success/health-wellness/2026/ 03/04/5-takeaways-recent-research-student-loneliness

[3]. Peachey, N. (2024). AI activities and resources for English language teachers. British Council. URL: https://tinyurl.com/5n78pxxk

[4]. Boiko L.M. (2025). Benefits and Risks of Applying Artificial Intelligence in Online Foreign Language Teaching. Science and Education in the Third Millennium: Information Technology, Education, Law, Psychology, Social Security and Work, Management. International collective monograph. Vol. I. Lublin, Polska. 153-185. URL: https://zenodo.org/records/16942474

УДК 378.147:37.018.43-057.875(477)

ПОЗААУДИТОРНА ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК ПРОСТІР ІННОВАЦІЙНОГО НАЦІОНАЛЬНО-ПАТРІОТИЧНОГО ВИХОВАННЯ СТУДЕНТІВ

Бреславська Г.Б.,
кандидат педагогічних наук, старший викладач
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
breslavskayaab@gmail.com

Анотація. У тексті розкрито значення позааудиторної діяльності закладів вищої освіти як простору інноваційного національно-патріотичного виховання студентів. Проаналізовано наукові підходи до проблеми формування патріотичної свідомості молоді. Виокремлено інноваційні форми й методи позааудиторної роботи: волонтерство, проєктну діяльність, цифрові освітні ресурси, інтерактивні й

квестові технології. Доведено, що системна організація такої діяльності сприяє формуванню громадянської відповідальності, соціальної зрілості та розвитку української ідентичності студентської молоді.

Ключові слова: позааудиторна діяльність, національно-патріотичне виховання, інновації, студенти, заклади вищої освіти.

Вступна частина. Сучасний етап розвитку українського суспільства в умовах воєнних викликів актуалізує потребу у формуванні в студентської молоді стійких національно-патріотичних цінностей, активної громадянської позиції та відповідального ставлення до виконання соціальних ролей. Заклади вищої освіти (ЗВО) є важливими осередками національно-патріотичного виховання, оскільки забезпечують не лише професійну підготовку майбутніх фахівців, а й умови для їхнього громадянського та особистісного становлення. Особливого значення в цьому процесі набуває позааудиторна діяльність, яка розширює можливості освітнього процесу та створює простір для самореалізації, соціальної активності й набуття студентами практичного досвіду суспільно корисної діяльності [6, с. 73–78].

Проблема національно-патріотичного виховання студентської молоді набуває особливої актуальності в сучасних суспільних умовах. Л. Вікторова наголошує на значенні національно-патріотичного виховання студентської молоді засобами освітнього процесу та необхідності його осмислення відповідно до сучасних викликів [2, с. 221–227]. В умовах протистояння України російській агресії посилюється значення виховання громадянської відповідальності, патріотичних переконань та усвідомленого ставлення студентів до української національної ідентичності [3, с. 214–219]. Водночас актуальним залишається пошук ефективних форм організації позааудиторної діяльності, здатних поєднати виховні завдання з активною участю студентів у суспільному житті.

Мета роботи – розкрити потенціал позааудиторної діяльності закладів вищої освіти у формуванні національно-патріотичних цінностей студентської молоді та визначити перспективні інноваційні форми її організації в сучасних умовах.

Основна частина. Позааудиторна діяльність є важливою складовою освітнього процесу у ЗВО. Вона створює додаткові можливості для розвитку самостійності, ініціативності, творчої активності, комунікативних умінь і соціальної відповідальності студентів. Організація позааудиторної роботи зі студентською молоддю сприяє підвищенню ефективності освітнього процесу та розширює можливості особистісного і професійного розвитку здобувачів освіти [6, с. 73–78].

Позааудиторна діяльність у ЗВО може охоплювати студентське самоврядування, волонтерські ініціативи, культурно-мистецькі, спортивні, наукові, просвітницькі та громадські заходи. Саме завдяки безпосередній участі в різних видах суспільно корисної діяльності студенти набувають досвіду взаємодії, відповідальності, самостійного прийняття рішень та реалізації власних ініціатив. Однією зі складових позааудиторної роботи є спортивно-оздоровча та фізкультурна діяльність, організація якої має освітній і виховний потенціал [5, с. 313–317].

Одним із перспективних напрямів національно-патріотичного виховання є волонтерська діяльність. Вона може передбачати залучення студентів до суспільно корисних ініціатив, підтримки військовослужбовців, внутрішньо переміщених осіб та соціально вразливих категорій населення. Участь у таких заходах створює умови для практичного вияву громадянської відповідальності, взаємодопомоги та соціальної активності.

Важливе місце посідає проєктна діяльність. Студентські проєкти можуть бути спрямовані на збереження історичної й культурної спадщини, популяризацію української мови, культури, традицій та національної пам’яті. Такий формат дає можливість поєднати пізнавальну діяльність із практичною участю студентів і сприяє усвідомленню національно-патріотичних цінностей через власний досвід.

Нові можливості для організації позааудиторної роботи відкривають цифрові технології. Використання онлайн-платформ, соціальних мереж і мультимедійних ресурсів дає змогу залучати студентів до створення тематичних відеоматеріалів, інформаційних кампаній, цифрових проєктів та просвітницьких ініціатив. Це дозволяє поєднувати виховну діяльність із розвитком інформаційно-цифрової компетентності студентської молоді.

Доцільним є також використання інтерактивних форм: тематичних квестів, дискусій, історико-культурних маршрутів, творчих зустрічей та інших заходів, що передбачають активну участь студентів. Такі форми сприяють переходу від пасивного сприйняття інформації до діяльнісного засвоєння громадянських і національно-патріотичних цінностей.

Важливою умовою результативності позааудиторної роботи є її системність. Окремі заходи мають бути складовими цілісної виховної роботи закладу вищої освіти та враховувати інтереси й потреби студентської молоді. Організація позааудиторної роботи розширює можливості освітнього процесу та створює додаткові умови для особистісного і професійного розвитку студентів [6, с. 73–78].

Висновки. Отже, позааудиторна діяльність у закладах вищої освіти має значний потенціал для формування національно-патріотичних цінностей студентської молоді. Поєднання освітніх і виховних завдань

із практичною студентською активністю сприяє розвитку громадянської відповідальності, соціальної зрілості та усвідомленню молоддю власної належності до українського суспільства [2, с. 221–227; 3, с. 214–219].

Перспективними формами такої роботи є волонтерські ініціативи, проєктна діяльність, цифрові технології та інтерактивні заходи. Їх системне використання дозволяє розглядати позааудиторну діяльність не як сукупність окремих виховних заходів, а як цілісний простір громадянського й особистісного становлення студентської молоді. Подальшого дослідження потребують педагогічні умови ефективного поєднання традиційних та інноваційних форм позааудиторної роботи в системі національно-патріотичного виховання студентів.

Література

1. Бех І. Д. Виховання особистості : у 2 кн. Кн. 1 : Особистісно орієнтований підхід: теоретико-технологічні засади. Київ : Либідь, 2003. 28 с.
2. Вікторова Л. Національно-патріотичне виховання студентської молоді засобами освітнього процесу у вимірах сучасності. Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету. 2022. № 2. С. 221–227. DOI: 10.31499/2307-4906.2.2022.262969.
3. Міняйлова А. В. Національно-патріотичне виховання студентів у процесі навчання іноземних мов в умовах протистояння України російській агресії (2022–2024 рр.). Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2024. № 215. С. 214–219. DOI: 10.36550/2415-7988-2024-1-215-214-219.
4. Медведєва О. Р. Формування творчих умінь студентів у позааудиторній виховній роботі : автореф. дис. … канд. пед. наук : 13.00.04. Харків, 2008. 2 с.
5. Шостак І. О., Мердов С. П., Руденко С. А. Особливості організації спортивно-оздоровчої та фізкультурної діяльності студентів у позааудиторній діяльності. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2024. № 213. С. 313–317. DOI: 10.36550/2415-7988-2024-1-213-313-317.
6. Усатова І., Ткаченко В., Ведмедюк А. Організація позааудиторної роботи зі студентською молоддю як умова підвищення ефективності освітнього процесу. Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: Педагогічні науки. 2022. № 1. С. 73–78. DOI: 10.31651/2524-2660-2022-1-73-78.

EXTRACURRICULAR ACTIVITIES AS A SPACE FOR INNOVATIVE NATIONAL-PATRIOTIC EDUCATION OF STUDENTS

Breslavska H.B.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article reveals the importance of extracurricular activities in higher education institutions as a space for innovative national and patriotic education of students. The scientific approaches to the problem of shaping patriotic consciousness of youth are analyzed. Innovative forms and methods of extracurricular work are outlined, including volunteering, project activities, digital educational resources, interactive and quest technologies. It is proved that the systematic organization of such activities contributes to the formation of civic responsibility, social maturity, and the development of Ukrainian identity among students.

Keywords: extracurricular activities, national and patriotic education, innovations, students, higher education institutions.

УДК 37.014.242:378.147:81(477)

АКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОБЛЕМ ПЕДАГОГІЧНОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

Корнієнко І.А.,
кандидат філологічних наук,
доцент кафедри педагогіки та освітнього менеджменту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
iakorni74@gmail.com

Анотація. Ключові питання фахової підготовки аналізуються з погляду суспільного запиту на вчителя нового типу, здатного до навчання, виховання й розвитку школярів. Модернізація національної освіти розглядається у взаємозв’язку якості педагогічної освіти й професійно-особистісної підготовки

сучасного вчителя на новому ціннісно-смисловому фундаменті. Важливим орієнтиром виступає професійний стандарт учителя, що в основі його сучасної моделі.

Ключові слова: підготовка вчителя, проблеми педагогічної освіти, модернізація професійної підготовки, якість педагогічної освіти, навчання і розвиток здобувачів освіти, модель учителя XXI століття.

Розвиток педагогічної освіти в Україні на початку XXI ст. відбувається в умовах, коли в суспільстві формується запит на вчителя нової генерації, здатного забезпечити єдність навчання й розвитку школярів у парадигмі особистісно орієнтованої освіти на рівні світових, насамперед європейських вимог.

Правові засади розвитку освіти й підготовки педагогічних працівників визначені в законах України «Про вищу освіту» (2002, 2014) та «Про освіту» (2017), Державній програмі «Вчитель» (2002), Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки (2022) із урахуванням Рішення Комісії ЄС до Ради та Європейського Парламенту щодо підвищення якості підготовки вчителів (2007).

Ключові питання педагогічної освіти в Україні досліджували: В. Андрущенко, Н. Бібик, С. Гончаренко, І. Зязюн, В. Кремень, Н. Ничкало, В. Огнев'юк, Ю. Рашкевич, О. Савченко, М. Солдатенко, О. Сухомлинська, Л. Хомич та ін.

Науковець І. Зязюн використовує *поняття вищої педагогічної школи*, метою якої є духовне становлення вчителя та формування його педагогічної культури [2, с. 464]. Метою професійної діяльності педагогів В. Кремень вважає *соціальний розвиток* учня, що означає пріоритет дитиноцентрованого навчання й виховання в сучасній українській школі. За *поєднання професійних інтересів і можливостей викладачів із запитами студентської молоді* виступає Ю. Рашкевич [8, с. 9].

Окремі проблеми педагогічної освіти досліджували: Р. Гуревич, Н. Опушко і Н. Хамська (проблематика педагогічної освіти); І. Зязюн; О. Пєхота; С. Сисоєва (неперервна професійна освіта, освітні технології); В. Курило; Є. Лодатко і В. Борисов; О. Сухомлинська (підготовка майбутніх учителів, розвиток педагогічної думки); О. Кучерявий (якість педагогічної освіти); І. Леонтьєва; Т. Степанова (трансформації педагогічної освіти); О. Щербак (стан і перспективи педагогічної освіти); Ю. Пелех (ціннісно-смисловий аспект педагогічної підготовки) та ін.

Метою дослідження є актуалізація основних проблем педагогічної освіти в сучасній Україні.

Фахівці роблять спроби систематизувати проблеми підготовки майбутніх учителів і пропонують можливі шляхи їх усунення в навчальній та професійній діяльності. Так, Р. Гуревич, Н. Опушко і Н. Хамська вказують на невиправдане зменшення питомої ваги психолого-педагогічних наук у навчальних планах підготовки майбутніх учителів [1, с. 47–50]. Теоретична підготовка майбутніх педагогічних працівників має частково поступитися практичним формам освіти заради формування фахових здібностей учителів.

Науковці Є. Лодатко і В. Борисов називають три основні проблеми сучасної педагогічної освіти в Україні: 1) відсутність перспективних державних освітніх стандартів з усіх педагогічних спеціальностей; 2) відсутність стратегічної політики в системі підготовки педагогічних кадрів для загальноосвітніх шкіл; 3) невідповідне кадрове забезпечення змістових компонентів освітніх програм підготовки майбутніх учителів [5, с. 41].

Поліпшення підготовки вчителів О. Кучерявий пов'язує з оновленням її змісту на ціннісно-смисловій основі, принципах науковості та культуроцентризму, інтеграції професійно-педагогічних компетентностей, методологічної та психологічної зумовленості положень, наступності, варіативності, цілісності, адекватності й прогностичності змісту педагогічної освіти [4, с. 113–114]. Переведення запрограмованих компетентностей у внутрішній план студента забезпечує професійне зростання його особистості, формування в майбутнього вчителя світогляду, соціальної свідомості й фахової готовності до професійної діяльності.

Характеристики сучасного педагога сфокусовані в професійному стандарті вчителя закладу загальної середньої освіти, що має не лише смислове, а й ціннісно орієнтуюче значення для розробки змісту педагогічної освіти. *Ціннісно-смислову готовність майбутнього вчителя* Ю. Пелех пояснює як сформоване в нього інтегральне смислоутворення, що «детермінує набуття професійних особистісних якостей як установки до здійснення ефективної педагогічної діяльності» [6, с. 349]. Отже, опорними складниками моделі сучасного фахівця є не лише знання і вміння, а й ставлення його до предмета своєї навчальної, а далі – і професійної діяльності.

Зростає попит на модель педагога XXI століття, що зумовлює відповідний формат його фахової підготовки. Т. Колупаєва приділяє увагу розробці нових педагогічних технологій і створенню для цього модельних підходів до системної підготовки вчителя нової генерації [3, с. 34]. Європейська інтеграція освіти України визнається потужним гарантом якості вітчизняної освіти й умовою підготовки ефективних педагогічних кадрів.

У Рішенні Європейського Парламенту (2007) ключовою проблемою підготовки вчителів визначено підвищення її якості й престижу педагогічної праці, що пов'язано з фінансуванням освіти загалом.

«Важливо зробити вчителювання, – ідеться в документі, – привабливою кар'єрою, щоб залучати найкращих кандидатів і мотивувати людей змінювати професію на користь викладання [7, с. 5]. Інвестиції в освіту розглядаються як внесок у людський розвиток, що забезпечує соціально-культурне процвітання Європи, оскільки основним суспільним капіталом визнаються люди.

Орієнтиром у дослідженні виступає Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки (2022), яка передбачає: а) підвищення ефективності управління; б) відновлення довіри громадян і держави до освітньо-наукової діяльності; в) забезпечення якісної освіти і науки, конкурентоспроможності вищої освіти; г) інтернаціоналізацію вищої освіти; д) забезпечення привабливості ЗВО для навчання та академічної кар'єри, що відповідає контексту педагогічного дискурсу проблеми в Україні та країнах Європи.

Отже, у ході дослідження окреслюються такі проблеми професійної підготовки майбутніх учителів: а) модернізація змісту, процесу й результатів педагогічної освіти в умовах студентоцентрованого навчання й виховання; б) підвищення якості вищої освіти й підготовки фахівців відповідно до національних потреб та європейського рівня; в) професійно-особистісний розвиток учителя; г) гідне фінансування освітньої галузі та підвищення престижу педагогічної праці.

Література

[1]. Гуревич Р., Опушко Н., Хамська Н. Розвиток сучасної педагогічної освіти: деякі проблеми і шляхи їх подолання: *Наукові записки ВДПУ імені Михайла Коцюбинського*. Серія: педагогіка і психологія. Вип. 66. 2021. С. 45–51.

[2]. Зязюн І. А. Філософія педагогічної дії: монографія. Черкаси : Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2008. 60 с.

[3]. Колупаєва Т. Є. Модель підготовки вчителя XXI століття у світлі європейських інтеграційних процесів: *Scientific Journal "ScienceRise" Pedagogical Education"*. № 12 (8). 2016. С. 33–38.

[4]. Кучерявий О. Г. Якість педагогічної освіти України: тенденції і перспективи: навчальний посібник. Київ : Талком, 2019. 19 с.

[5]. Лодатко Є., Борисов В. Педагогічна освіта України крізь призму століть: *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького*. Серія «Педагогічні науки». Вип. № 1. 2023. С. 37–45.

[6]. Пелех Ю. В. Визначення ролі ціннісно-смислової константи у формуванні готовності майбутнього педагога до професійної діяльності. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. № 6 (8). 2010. С. 347–353.

[7]. Підвищення якості підготовки вчителів: Рішення Комісії (європейських спільнот) до Ради та Європейського Парламенту. Брюссель. 03.08.2007.

[8]. Розроблення освітніх програм: методичні рекомендації / Авт.: В. М. Захарченко, В. І. Луговий, Ю. М. Рашкевич, Ж. В. Таланова. / За ред. В. Г. Кременя. Київ : ДП «НВЦ «Пріоритети», 2014. 120 с.

ACTUALIZATION OF THE PROBLEMS OF PEDAGOGICAL EDUCATION IN UKRAINE AT THE PRESENT STAGE

Korniienko I. A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The key issues of professional training are analyzed from the perspective of the social demand for a new type of teacher capable of teaching, educating, and developing schoolchildren. The modernization of national education is considered in the context of the interrelation between the quality of pedagogical education and the professional and personal training of a modern teacher on a new value-based and meaningful foundation. An important guideline is the Professional Standard for Teachers, which underlies the contemporary model of the teacher.

Keywords: teacher training, problems of pedagogical education, modernization of professional training, quality of teacher education, education and development of learners, model of the 21st-century teacher.

УДК 373.2:37.018.26:004

ІННОВАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПАРТНЕРСЬКОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗАКЛАДУ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ ТА РОДИНИ В ЦИФРОВОМУ ОСВІТНЬОМУ ПРОСТОРІ

Курчатова А.В.,
кандидат педагогічних наук, доцент
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
anzhelika.kurchatova@nuos.edu.ua

Анотація. У тезах обґрунтовано авторську інноваційну модель партнерської взаємодії закладу дошкільної освіти та родини в цифровому освітньому просторі. Визначено її структурні компоненти, принципи функціонування та педагогічні умови реалізації. Доведено, що інтеграція цифрових технологій у взаємодію педагогів і батьків сприяє розвитку педагогіки партнерства, підвищенню цифрової компетентності всіх учасників освітнього процесу та створенню безпечного цифрового середовища для розвитку дітей дошкільного віку. Запропонована модель може бути використана в практиці діяльності закладів дошкільної освіти та системі професійної підготовки майбутніх педагогів.

Ключові слова: заклад дошкільної освіти, педагогіка партнерства, цифровий освітній простір, цифрова компетентність, родина, цифрова гігієна, дошкільна освіта.

Вступ. Стрімкий розвиток цифрових технологій, трансформація освітнього середовища та зміна характеру взаємодії між учасниками освітнього процесу зумовлюють необхідність переосмислення традиційних підходів до партнерства закладу дошкільної освіти та родини. Сучасний заклад дошкільної освіти вже не обмежується організацією очних форм комунікації з батьками, а функціонує як відкрита цифрова екосистема, у якій інформаційний обмін, педагогічне консультування, спільне планування розвитку дитини та зворотний зв'язок дедалі частіше здійснюються за допомогою цифрових сервісів [4; 8].

Цифрова трансформація дошкільної освіти змінює не лише форми організації освітнього процесу, а й характер взаємодії між усіма його учасниками. У сучасних умовах партнерство між закладом дошкільної освіти та родиною розглядається як безперервний процес педагогічної взаємодії, що реалізується через поєднання традиційних і цифрових форм комунікації, спільне прийняття педагогічних рішень, персоналізований супровід розвитку дитини та систематичний обмін інформацією. Результати сучасних досліджень свідчать, що цифрові технології забезпечують якісно новий рівень відкритості, оперативності та індивідуалізації взаємодії між педагогами й батьками, сприяючи формуванню єдиного освітнього простору розвитку дитини [3; 4].

Педагогіка партнерства, визначена одним із ключових принципів державної освітньої політики України, набуває нового змісту в умовах цифрової трансформації освіти. Вона передбачає не лише співпрацю педагогів і батьків, а й створення єдиного інформаційно-комунікаційного простору, що забезпечує відкритість, взаємодовіру, відповідальність, добровільність участі та орієнтацію на найкращі інтереси дитини. Такі підходи узгоджуються із положеннями Закону України «Про дошкільну освіту» та сучасними науковими дослідженнями щодо розвитку педагогіки партнерства в умовах цифровізації освіти [1; 2; 5].

У сучасних наукових дослідженнях партнерська взаємодія у ЗДО розглядається як важливий чинник підвищення ефективності освітнього процесу, що забезпечує узгодженість дій усіх його учасників та сприяє гармонійному розвитку дитини. Практичні аспекти реалізації партнерства розкрито у дослідженні А. Філімонюк, де визначено ефективні форми взаємодії вихователя з батьками, що сприяють підвищенню якості освітнього процесу та формуванню довірливих відносин. Водночас аналіз сучасних досліджень засвідчує, що більшість наукових праць присвячена окремим аспектам взаємодії закладу дошкільної освіти та сім'ї, тоді як питання побудови цілісної моделі партнерської взаємодії в цифровому освітньому просторі залишаються недостатньо розробленими. Потребують подальшого наукового осмислення механізми інтеграції цифрових технологій у систему педагогічного партнерства, формування цифрової компетентності батьків, забезпечення цифрової безпеки дітей дошкільного віку та оцінювання ефективності такої взаємодії [3; 4; 6].

Мета роботи. Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та представлення авторської інноваційної моделі партнерської взаємодії закладу дошкільної освіти та родини в цифровому освітньому просторі, визначення її структурних компонентів, принципів функціонування та педагогічних умов реалізації.

Основна частина. Цифровізація освіти відкриває нові можливості для розвитку партнерської взаємодії між педагогами та батьками. Цифрові технології забезпечують оперативність комунікації, доступність педагогічної інформації, індивідуалізацію взаємодії, прозорість освітнього процесу та активне

залучення родини до розвитку й виховання дитини. Разом із тим їх ефективне використання потребує не лише технічного забезпечення, а й розвитку цифрової компетентності педагогів і батьків, дотримання принципів цифрової етики, захисту персональних даних та створення безпечного цифрового середовища [2; 4; 7].

Досвід цифрової трансформації дошкільної освіти свідчить, що ефективність партнерської взаємодії залежить не стільки від наявності цифрових платформ, скільки від сформованості цифрової компетентності педагогів і батьків, їх готовності до використання сучасних цифрових ресурсів та дотримання принципів цифрової етики. Цифровий освітній простір має забезпечувати не лише інформаційний обмін, а й умови для спільного планування індивідуальної освітньої траєкторії розвитку дитини, педагогічного консультування та моніторингу результатів освітньої діяльності [3; 6; 7].

На основі аналізу сучасних наукових підходів і власного бачення проблеми запропоновано авторську інноваційну модель партнерської взаємодії закладу дошкільної освіти та родини, яка розглядається як відкрита, динамічна та багатокомпонентна педагогічна система. Її функціонування спрямоване на забезпечення цілісного розвитку дитини дошкільного віку через поєднання педагогічних, організаційних, цифрових і комунікативних ресурсів.

Наукова новизна запропонованої моделі полягає в тому, що партнерська взаємодія розглядається не як сукупність окремих форм співпраці закладу дошкільної освіти та родини, а як цілісна структурно-функціональна система, у якій цифровий освітній простір виконує інтегрувальну функцію. На відміну від існуючих підходів, модель поєднує педагогічні, цифрові, комунікативні та управлінсько-аналітичні механізми, забезпечуючи системне управління партнерською взаємодією на основі постійного моніторингу, цифрової аналітики та зворотного зв’язку [3; 5].

На відміну від традиційних моделей співпраці, запропонована модель інтегрує цифрові технології не як допоміжний інструмент комунікації, а як системоутворювальний компонент організації партнерства. Саме цифровий освітній простір забезпечує безперервність взаємодії між педагогами та родиною, оперативний обмін інформацією, спільне планування освітньої діяльності, моніторинг індивідуального розвитку дитини та формування єдиного виховного середовища [4; 8].

Структурно модель складається із шести взаємопов’язаних компонентів: цільового, змістового, технологічного, комунікативного, управлінсько-моніторингового та результативного.

Функціонування моделі ґрунтується на принципах педагогіки партнерства, дитиноцентризму, відкритості, цифрової безпеки, добровільності співпраці, взаємної відповідальності та безперервного розвитку цифрової компетентності педагогів і батьків, що забезпечує цілісність і результативність партнерської взаємодії в цифровому освітньому просторі [1; 3; 5].

Цільовий компонент визначає стратегічну мету партнерської взаємодії – створення єдиного освітнього простору, у якому сім’я та заклад дошкільної освіти виступають рівноправними партнерами, об’єднаними спільною відповідальністю за розвиток, виховання, безпеку та благополуччя дитини.

Змістовий компонент охоплює педагогічну просвіту батьків, консультування, психолого-педагогічний супровід, реалізацію спільних освітніх проєктів, використання електронного портфоліо дитини, цифрових освітніх ресурсів, онлайн-заходів, інтерактивних форм співпраці та індивідуальних консультацій.

Технологічний компонент об’єднує цифрові платформи для комунікації, системи дистанційної взаємодії, електронні сервіси, захищені канали обміну інформацією, цифрові портфоліо, мультимедійні матеріали, онлайн-опитування, електронні календарі подій, сервіси спільного планування та інші сучасні цифрові інструменти, що забезпечують відкритість і безперервність партнерської взаємодії. Практична реалізація цього компонента може здійснюватися із використанням офіційного вебсайту закладу, корпоративних освітніх середовищ, цифрової екосистеми «НУМО», сервісів відеокомунікації та електронного портфоліо дитини [4; 8].

Комунікативний компонент передбачає організацію конструктивного діалогу між педагогами та батьками, розвиток культури цифрового спілкування, взаємної довіри, підтримки, своєчасного зворотного зв’язку та спільного ухвалення рішень щодо індивідуального освітнього маршруту дитини [3; 5].

Управлінсько-моніторинговий компонент є авторським елементом моделі та забезпечує систематичне оцінювання ефективності партнерської взаємодії. Він охоплює електронне анкетування батьків, аналіз активності учасників освітнього процесу, моніторинг задоволеності якістю комунікації, оцінювання результативності цифрових форм взаємодії та використання отриманих даних для вдосконалення освітнього процесу [6; 7].

Результативний компонент відображає сформованість партнерських відносин між закладом дошкільної освіти та родиною, підвищення цифрової компетентності педагогів і батьків, створення безпечного цифрового освітнього середовища, активізацію участі сім’ї в освітньому процесі та забезпечення позитивної динаміки розвитку дитини.

Функціонування запропонованої моделі забезпечується циклічною взаємодією всіх її структурних компонентів. Цільовий компонент визначає стратегічні орієнтири розвитку партнерства, змістовий – наповнює його педагогічним змістом, технологічний і комунікативний забезпечують практичну реалізацію, а управлінсько-моніторинговий здійснює оцінювання результатів і коригування подальшої діяльності. Такий механізм забезпечує безперервне вдосконалення партнерської взаємодії на засадах цифрової трансформації, дитиноцентризму та управління якістю освіти [5; 7].

Ефективність реалізації авторської моделі забезпечується такими педагогічними умовами: створенням безпечного цифрового освітнього середовища, розвитком цифрової компетентності педагогів і батьків, організацією системного психолого-педагогічного супроводу родини та використанням цифрових технологій для моніторингу якості партнерської взаємодії [2; 4; 6; 7].

Висновки. Запропонована модель розглядає партнерську взаємодію як цілісну відкриту педагогічну систему, що інтегрує педагогічні, організаційні, цифрові, комунікативні та управлінсько-аналітичні механізми забезпечення розвитку дитини дошкільного віку.

Література

[1] Атамась М. С. Організація дистанційного навчання у закладі дошкільної освіти. *Імідж сучасного педагога*. 2023. № 1 (208). С. 81–84. DOI: 10.33272/2522-9729-2023-1 (208)-81-84. URL: https://isp.pano.pl.ua/article/view/273764 (дата звернення: 13.08.2026).

[2] Закон України «Про дошкільну освіту» від 06.06.2024 № 3788-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua (дата звернення: 13.08.2026). *(Прослідкуємо за остаточним офіційним посиланням перед поданням.)*

[3] Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII (чинна редакція). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 03.08.2026).

[4] Мартіна О. В., Третяк Н. В., Гордійчук М. С. Чинники формування партнерської взаємодії учасників освітнього процесу в умовах Нової української школи. *Педагогічна освіта: теорія і практика*. 2023. № 34. С. 85–97. DOI: 10.32626/2309-9763.2023-34-85-97. URL: https://pedosv.kpnu.edu.ua/article/view/283942 (дата звернення: 03.08.2026).

[5] Сохань Н. Партнерська взаємодія учасників освітнього процесу в застосуванні сучасних цифрових технологій в умовах дистанційного навчання. *Педагогічні інновації: ідеї, реалії, перспективи*. 2023. № 2 (31). С. 132–141. DOI: 10.32405/2413-4139-2023-2 (31)-132-141. URL: https://pi.iod.gov.ua/ojs/index.php/pi/article/view/53 (дата звернення: 13.08.2026).

[6] Чебакова Ю., Нагла Д. Комунікація як основа успішної реалізації партнерської взаємодії у педагогічній діяльності в умовах дистанційного навчання. *Теорія і практика управління соціальними системами*. 2023. № 4. DOI: 10.20998/2078-7782.2023.4.03. URL: https://tipus.khpi.edu.ua/article/view/294654 (дата звернення: 03.08.2026).

[7] Levinets N. Characteristics of Digital Didactic Materials in Working with Preschool Children. *Theoretical and Methodical Problems of Children and Youth Education*. 2024. Vol. 28 (1). P. 261–273. DOI: 10.32405/2308-3778-2024-28-1-261-273. URL: https://ojs.ipv.org.ua/index.php/journal/article/view/179 (дата звернення: 13.08.2026).

[8] Vasilieva S. Research of the Digital Environment to Provide Parents of Children of Early and Preschool Age with Didactic Materials. *Theoretical and Methodical Problems of Children and Youth Education*. 2023. Vol. 27 (1). P. 105–120. DOI: 10.32405/2308-3778-2023-27-1-105-120. URL: https://ojs.ipv.org.ua/index.php/journal/article/view/9 (дата звернення: 13.08.2026).

INNOVATIVE MODEL OF PARTNERSHIP BETWEEN PRESCHOOL EDUCATION INSTITUTIONS AND FAMILIES IN THE DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Kurchatova A. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper substantiates an innovative structural and functional model of partnership between preschool education institutions and families in the digital educational environment. The model integrates pedagogical partnership, digital communication, digital competence development, digital hygiene principles and continuous monitoring of interaction effectiveness. It is based on six interconnected components and is aimed at creating a safe, open and child-centred educational environment. The proposed model can be implemented in preschool education institutions, teacher training programmes and continuing professional development.

Keywords: preschool education, partnership pedagogy, family, digital educational environment, digital competence, digital hygiene, preschool child.

УДК 629.5(100)(091):930.2"18/19"

ТЕНДЕНЦІЇ СВІТОВОГО СУДНОБУДУВАННЯ КІНЦЯ XIX – ПОЧАТКУ XX СТОЛІТЬ (ЗА МАТЕРІАЛАМИ УЗАГАЛЬНЮЮЧОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖЕНЕРІВ-ПРАКТИКІВ)

Рижева Н.О.,
доктор історичних наук, професор
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ryzheva.nadiya@gmail.com

Анотація. Змістовне наповнення представлених тез передбачає визначити вагомість книги М. Дмитрієва та В. Колпичова «Суднобудівні заводи і суднобудування в Росії та за кордоном» у процесі дослідження сучасними науковцями тенденцій розвитку суднобудування в окремих країнах світу та їх взаємозв'язку із реаліями і особливостями даної галузі на українських землях у кінці XIX – початку XX ст. Фактологічна канва книги охоплює: технологію виробництва, статистичний аналіз продукції, динаміку контингенту робітників тощо. Джерельна основа праці інженерів-кораблебудівників – фундаментальна, що визначає непорушність її вихідних положень та залишається вагомою для сучасних дослідників історії суднобудівної галузі.

Ключові слова: суднобудування, джерела, державні та приватні підприємства, порівняльно-співставний підхід, підприємницька ініціатива

В Україні загальні перспективи відбудови та подальшої розбудови суднобудівної промисловості залежить від продуманого урахування досвіду минулих років. У цьому контексті увага до вивчення історії суднобудування є цілком закономірною. Саме тому об'єктом представлених студій стала праця М. Дмитрієва та В. Колпичова «Суднобудівні заводи і суднобудування в Росії та за кордоном» [1], автори якої провели комплексний аналіз структури світового суднобудування в окремих країнах та його взаємозв'язок із, головними тенденціями і особливостями суднобудівної промисловості України XIX – початку XX ст.

Кількісні параметри книги, над якою автори працювали протягом чотирьох років, свідчать про її фундаментальність і значимість. Обсяг їх роботи складає 1300 сторінок, насичених 343 кресленнями, фотокартками та 32 таблицями.

У 1909 р. робота М. Дмитрієва та В. Колпичова була опублікована в Санкт-Петербурзі. Автори визнавалися висококваліфікованими інженерами-практиками з солідним досвідом роботи на суднобудівних підприємствах імперії. Першоджерела, які стали основою даної розвідки, систематизував М. Дмитрієв. Звернемо увагу, що комплекс джерел характеризував стан суднобудування майже усіх передових країн світу, автори книги використовували «ексклюзивну» інформацію, отриману від корабельних інженерів. Окрім того, у процесі закордонних відряджень, необхідний матеріал, із загальними показниками розвитку підприємств, було отримано від керівництва іноземних заводів. Багатоплановий джерельний матеріал книги був відзначений науковою спільнотою та нагороджений «Золотою медаллю» на Морській виставці в 1908 р.

У період видання книги «Суднобудівні заводи і суднобудування в Росії та за кордоном» значення парового, металевого флоту у світовій валовій продукції неймовірно зросло. Торгівельні перевезення, що здійснювалися і підтримувалися капіталом, міграція робочої сили, переміщення технології та інформації по всьому світу, міжнародний потік експорту, імпорту, грошей, кредитного капіталу в цілому, сприяли превалюванню інтернаціональної, ліберальної системи. Цим, по суті, і визначається попит на суднобудівне виробництво. Саме такий процес отримав широке висвітлення в аналізованому дослідженні де матеріали, пов'язані з глобальними дослідженнями суднобудівної промисловості, містять як загальні суттєві характеристики світового суднобудування, так і конкретну специфіку розвитку цієї галузі в окремих країнах.

Назвемо окремі розділи, що висвітлюють «планетарний» підхід авторів до аналізу проблеми: «Німецьке суднобудування», «Французьке суднобудування», «Італійське суднобудування», «Бельгійське і Голландське суднобудування», «Турецьке суднобудування», «Японське суднобудування».

У той же час, автори використовують порівняльно-співставний підхід до характеристики реалій казенного (державного) і приватного суднобудування, який безпосередньо анонсовано у назвах розділів: «Порівняльні дані для німецького казенного і приватного суднобудування», «Порівняльні дані для французького казенного та приватного суднобудування», «Порівняльні дані для італійського казенного і приватного суднобудування», «Порівняльні дані для шведського, норвезького, датського, бельгійського австро-угорського і японського казенного та приватного суднобудування», «Порівняльні дані для приватних заводів США» тощо. Фактологічна канва розділів їх змістовне навантаження повністю відповідають анонсованим назвам.

Відзначимо, що джерельний матеріал, зібраний у книзі «Суднобудівні заводи і суднобудування в Росії та за кодоном», теоретичні висновки використовувалися і використовуються до сьогодні дослідниками історії суднобудування. Проте у сучасних роботах посилання на названу працю не завжди наявні.

Отже, звернемо увагу на лише деякі авторські акценти, які мають безпосереднє відношення до суднобудування України і досліджуються у зіставленні та порівнянні розвитку цієї галузі промисловості як за кордоном так й в Росії. Відзначимо, що регіонально Україна подається у рамках сучасної суверенної держави.

У книзі М. Дмитрієва та В. Колпичова описуються усі діючі заводи регіону початку XX ст.: «Миколаївські суднобудівні, механічні і ливарні заводи», «Адміралтейство у Миколаєві», «Адміралтейства Російського Товариства Пароплавства і Торгівлі в Одесі», «Завод фірми Белліно-Фендеріх в Одесі», «Адміралтейство у Севастополі». Інженери-практики розподіляють суднобудівні заводи України на дві групи: приватні і державні (казенні). Безумовну пріоритетність у технічному оснащенні фахівці віддають першим.

Підприємствам Миколаєва відводиться особливе місце. Зазначимо, що загальна характеристика усіх суднобудівних підприємств Російської імперії починається аналізом технічних потужностей саме «Миколаївських суднобудівних, механічних та ливарних заводів». Про приватну підприємницьку ініціативу, роль закордонних інвестицій говориться при аналізові його виробничих потужностей. У цілому, характеристика устаткування підприємства, фотографії, креслення виробничих об'єктів дають можливість визнати «Наваль» кращим в усій імперії та конкурентно-спроможним у системі європейського суднобудування.

Технічні дані «Миколаївських суднобудівних, механічних та ливарних заводів» супроводжуються економічними показниками результативності його роботи. Підкреслюється, що виробничі потужності заводу за весь період існування не були цілком завантажені. Тільки в суднобудівному відділі «Наваль» при повному завантаженні мали змогу працювати від 2000 до 2500 тис. чоловік, однак реально було зайнято близько 600 чоловік. Замість зведення «панцирників або великих крейсерів завод у кращому випадку отримував замовлення на міноносці 605 т, шхуни, землечерпалки і тому подібні малі судна» [1, с. 806-807]. Підприємство не мало значних суднобудівних замовлень, у той же час відгуки фахівців, на вже зведені судна були досить високими.

Статистичні дані про динаміку можливого росту робочої сили на підприємстві за умови виконання великого суднобудівного замовлення широко використовуються в сучасній науковій і спеціальній літературі. Проте посилання на працю М. Дмитрієва і В. Колпичова, що стала вже класичною з історії суднобудування, не завжди подаються.

Опис Миколаївського Адміралтейства містить цінну інформацію про виробничу спеціалізацію окремих територіальних ділянок заводу: панцирне суднобудування; будівництво кораблів середньої тоннажності; судноремонт. У книзі представлено «Генеральний план Адміралтейства в Миколаєві»; чітко визначено місцезнаходження всіх технічних відділів: суднобудівної, бронеоброблювальної, механічної, котельної, ливарної майстерень, кузні, плаза, лісопильного заводу, столярної майстерні тощо [1, с. 859–861].

Характеризуючи дане Адміралтейство автори не відходять від принципу використання порівняльно-співставного методу при аналізові першоджерела. Підтвердимо це наступними висновками, що мають місце в роботі: «Наскільки серед англійських комерційних заводів ми бачили зразки примітивно обладнаних, але дуже зручних для роботи заводів, настільки Миколаївське Адміралтейство є зразком також примітивного, дуже незручного для роботи заводу» [1, с. 866]. Устаткування Миколаївського Адміралтейства не відновлювалося упродовж 30-40 рр. На початку XX ст. подальше функціонування заводу на колишньому рівні було неможливим, назріла необхідність технічної реконструкції усіх виробничих потужностей з оголошенням «великого відкритого» конкурсу серед інженерів з метою залучення висококваліфікованих фахівців і використанням приватного капіталу.

Підкреслимо, що дослідники не тільки здійснили ґрунтовний технічний опис суднобудівних заводів Російської імперії, але й виявили негативні реалії в функціонуванні галузі та визначили можливі шляхи їх усунення.

Основні положення, що містяться в книзі «Суднобудівні заводи і суднобудування в Росії та за кордоном» зберігають свою наукову цінність до тепер. У дослідницьку канву сучасних праць з історії суднобудування XIX – початку XX ст. органічно включено роботу М. Дмитрієва і В. Колпичова, що свідчить про суттєву значимість цього джерела.

Отже, дослідження М. Дмитрієва і В. Колпичова «Суднобудівні заводи і суднобудування в Росії та за кордоном» є загальновизнаним, невичерпним літературним джерелом з історії суднобудування України і зарубіжних країн XIX – початку XX ст., а його фактологічна канва не втратила інформативну цінність у наш час.

Література

1. Дмитриев Н. И., Колпычев В. В. Судостроительные заводы и судостроение в России и за границей / Н. И. Дмитриев, В. В. Колпычев. – СПб. : Тип. Морского министерства, 1909. – 1030 с.

TRENDS IN GLOBAL SHIPBUILDING IN THE LATE NINETEENTH AND EARLY TWENTIETH CENTURIES (BASED ON A SYNTHESIZING STUDY BY PRACTICING ENGINEERS)

Ryzheva N. O.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The present paper examines the significance of the book Shipbuilding Plants and Shipbuilding in Russia and Abroad by M. Dmytriiev and V. Kolpychov for contemporary scholarly research into the development trends of the shipbuilding industry in various countries and their relationship to the realities and specific characteristics of this industry in the Ukrainian lands in the late nineteenth and early twentieth centuries. The factual framework of the book encompasses production technologies, statistical analysis of output, changes in the size and composition of the workforce, and other relevant aspects. The source base of this work by shipbuilding engineers is comprehensive and fundamental, which reinforces the enduring validity of its principal findings and preserves its significance for contemporary scholars of the history of the shipbuilding industry.

Keywords: shipbuilding, sources, state-owned and private enterprises, comparative approach, entrepreneurial initiative.

УДК 378:37.011.33

ПЕДАГОГІЧНА ОСВІТА У ВИКЛИКАХ КОМПЕТЕНТНІСНОГО НАВЧАННЯ

Ситченко А.Л.,
доктор педагогічних наук,
професор кафедри педагогіки та освітнього менеджменту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
sital50mnu@gmail.com

Анотація. У тезах висвітлюються питання практичної реалізації компетентнісної освіти. Наголошується на процедурному аспекті проблеми компетентнісного навчання, спрямованого на формування професійного і культурного вчителя.

Автор звертає увагу на суперечності між компетентністю і моральністю; напрацюваннями вітчизняної педагогіки та впровадженням зарубіжних моделей освіти; знаннями і вміннями та уявленнями й переконаннями; суб'єктним досвідом здобувачів освіти та їх навчальною діяльністю, що загострюють проблеми реформування освіти, реалізації компетентнісного підходу, особистісно орієнтованого технологізованого навчання.

Ключові слова: педагогічна освіта, підготовка фахівців, компетентнісне навчання, педагогічні ризики, модель культури, навчальні технології.

Підготовка майбутніх учителів у вищій школі спрямовується на професійний розвиток фахівців у процесі формування в них програмних результатів навчання та компетентностей. Подібна тенденція поширена в країнах Європейського Союзу (О. Локшина), що є для вітчизняної освіти орієнтиром. Водночас завважимо певні суперечності між: а) компетентністю і моральністю, що випливає з давнього конфлікту Добра і Розуму; б) напрацюваннями вітчизняної педагогіки та перенесенням на національний ґрунт зарубіжних моделей освіти; в) знаннями і вміннями, уявленнями та переконаннями, суб'єктним досвідом та професійною діяльністю; г) характеристиками компетентностей та їх практичною реалізацією. Названі проблеми активно досліджуються філософами й педагогами, психологами й соціологами.

Мета роботи: висвітлити ризики компетентнісної підготовки майбутніх педагогів та шляхи їх подолання в умовах технологізованого навчання.

В Україні актуалізується проблематика педагогічного процесу, результатом діяльності якого має бути сформована компетентність. Стверджується, що компетентність у навчанні застосовується в освітніх системах європейських країн як характеристика результатів навчання (Н. Бібік, О. Локшина). Учені вказують і на ризик виховання «розумного егоїста», безумовно компетентного у своїй галузі. В. Кремень характеризує його як «ділка», «людину без цінностей, без «душі», без «серця», і підкреслює, що тільки культура спроможна виступити своєрідним регулятором соціальних відношень [1, с. 677] у відповідь на виклики компетентнісного навчання.

Оскільки модель людської культури складають знання, регулятиви (правила) діяльності та ціннісні орієнтації (Є. Подольська, В. Лихвар, К. Іванова), то вертаємо увагу на процедурний аспект проблеми, що є ознакою навчальної технології. Технологізоване навчання відбувається через низку послідовних дій алгоритмічного характеру, що відповідає логіці пізнання та структурі відповідної діяльності, сприяючи формуванню відповідних компетентностей (І. Зязюн, В. Огнев'юк, В. Паламарчук, О. Пєхота, С. Сисоєва).

Ствердження пріоритету навчальних технологій в умовах компетентнісного підходу в освіті відбувається в руслі науково-технічної парадигми, покликаної задовольнити передусім потреби матеріального виробництва. Водночас набирає сили тенденція до гуманізації та гуманітаризації соціокультурних процесів, особливо актуальних і в освітній сфері, забезпечуються умови для збалансування технократичного та гуманістичного підходів у всіх видах суспільної та особистої життєдіяльності. Рівновагу між матеріальними й духовними цінностями, неперехідне значення якої підкреслюють філософи (В. Огнев'юк) і культурологи (Є. Подольська та ін.), важливо суттєво зміцнити.

Перехід зарубіжних освітніх моделей на український ґрунт відбувається протягом багатьох десятиліть, пов'язаний із обґрунтуванням розвивальних технологій у психологічній науці (Л. Виготський, Г Костюк) та розвитком їх у педагогічному напрямі. Такий підхід до впровадження інновацій, перевірений часом і в просторі, означає нову філософію педагогічної дії (І. Зязюн) та навчальної взаємодії й заслуговує на панівну роль в українській освіті.

Отже, викликами компетентнісного підходу в освіті України є: а) конфлікт між глибокою професійною компетентністю («ділок» без душі) й духовною культурою людини; б) перенесення зарубіжних моделей освіти на національний ґрунт без ризиків для вітчизняної педагогіки; в) неповна відповідність між програмними результатами навчання здобувачів освіти та їхніми переконаннями й суб'єктним досвідом. На зміну традиційному вчителю-методисту прийшов учитель-технолог.

Література

[1] Кремень В. Г. Філософія людиноцентризму у контексті проблем освіти. *Освітологія* : хрестоматія : навч. посібник для студ. вищих навч. закладів / укл. Огнев'юк В. О., Сисоєва С. О. Київ : ВП «Едельвейс», 2013. С. 677–681.

PEDAGOGICAL EDUCATION IN THE CHALLENGES OF COMPETENCE-BASED LEARNING

Sytchenko A. L.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

The article highlights the issues of practical implementation of competence-based education. It analyzes philosophical and pedagogical developments on the problem and outlines the modern capabilities of educational technologies. The procedural aspect of the problem of competence-based learning, aimed at forming a modern professional and cultural teacher, is emphasized.

The author draws attention to the contradictions between competence and morality; the achievements of national pedagogy and the implementation of foreign education models; knowledge and skills versus perceptions and convictions; the subjective experience of learners and their educational activity, which exacerbate the problems of education reform, the implementation of the competence-based approach, and personally oriented technologized learning.

Keywords: competence-based learning, pedagogical education, professional training, contradictions of competence-based learning, pedagogical risks, culture model, educational technologies.

УДК 373.3.013.42:316.624

ПЕДАГОГІЧНА ПРОФІЛАКТИКА ДЕВІАНТНОЇ ПОВЕДІНКИ ЗДОБУВАЧІВ ПОЧАТКОВОЇ ОСВІТИ

Султанова Н.В.,
доктор педагогічних наук, доцент,
професор кафедри педагогіки та освітнього менеджменту
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
sultanovanv@ukr.net

Анотація. У дослідженні теоретично обґрунтовано сутність, специфіку та шляхи ранньої педагогічної профілактики девіантної поведінки дітей молодшого шкільного віку в сучасному освітньому просторі. З'ясовано сутність понять «девіантна поведінка» та «деструктивна поведінка» щодо початкової ланки освіти, схарактеризовано їхні первинні діагностичні маркери та детермінуючі чинники. Визначено комплекс ефективних практико-орієнтованих засобів превентивної діяльності вчителя в умовах Нової української школи.

Ключові слова: педагогічна профілактика, девіантна поведінка, деструктивна поведінка, здобувачі початкової освіти, молодші школярі, безпечне освітнє середовище, Нова українська школа, педагогіка партнерства.

Глибокі соціокультурні трансформації в сучасному українському суспільстві, посилені кризовими явищами воєнного часу, хронічним психоемоційним напруженням та глобальною цифровізацією повсякдення, суттєво дестабілізують процес гармонійного розвитку та соціалізації дітей. Як відомо, молодший шкільний вік є сенситивним періодом для засвоєння морально-етичних норм, формування емоційного інтелекту та базових моделей конструктивної взаємодії із соціумом. Проте під впливом стресогенних сучасних чинників в Україні, дефіциту міжособистісного спілкування з причин дистанційного навчання та порушення сімейного благополуччя родин все частіше фіксуються деструктивні поведінкові реакції серед учнів початкових класів, такі, як-от: немотивована агресія, демонстративна непокора, гіперактивність, тривожність та шкільна дезадаптація. За відсутності своєчасного, фахового втручання ці початкові відхилення мають тенденцію до швидкого закріплення, трансформуючись у стійкі форми девіантної та делінквентної поведінки вже у підлітковому віці, що перетворює ранню педагогічну профілактику девіацій у початковій школі на стратегічне завдання сьогодення.

Проблема девіантної поведінки та необхідність її своєчасного випередження ґрунтовно розглядається у фундаментальних працях вітчизняних фундаторів превентивної педагогіки та соціального виховання: В. Оржеховської [5], А. Капської [2], Н. Максимової [4], Т. Федорченко [8] та ін. Психолого-педагогічні аспекти виховання особистості, становлення моральної саморегуляції та подолання поведінкових труднощів у дітей молодшого шкільного віку досліджували І. Бех [1], О. Савченко [7], а також О. Безпалько, В. Поліщук, С. Харченко та ін. Розкриваючи практичний вимір зазначеної проблеми, сучасні науковці зосереджують увагу на диференціації форм і чинників поведінкових розладів та розробці дієвих превентивних технологій. Так, у праці Н. Максимової [4] ґрунтовно висвітлено сутність, внутрішню структуру та діагностичні критерії виникнення девіацій, що дає змогу розпізнати деструктивні реакції ще до моменту їх закріплення у стійку модель поведінки. Комплексний вплив соціокультурного середовища на профілактику поведінкових відхилень учнівської молоді проаналізовано в монографічному дослідженні Т. Федорченко. Водночас у публікації Р. Козубовського та О. Шелевер [3], а також у концептуальних напрацюваннях В. Оржеховської та Т. Федорченко [5] обґрунтовано систему педагогічних умов усунення деструктивних проявів в освітньому просторі школи, де провідна роль належить утвердженню педагогіки партнерства, взаємодії з батьками та створенню атмосфери психологічного комфорту. Попри вагомий доробок учених, актуальність суспільних викликів вимагає подальшого наукового пошуку та практичного обґрунтування та упровадження дієвих засобів ранньої педагогічної профілактики девіантних поведінкових проявів у здобувачів початкової ланки освіти.

Мета статті полягає у теоретичному обґрунтуванні сутності та окресленні ефективних засобів ранньої педагогічної профілактики девіантної поведінки дітей молодшого шкільного віку в сучасному освітньому просторі.

Термін «девіація» (від лат. deviatio – відхилення) означає невідповідність учинків людини нормам і правилам суспільства. Відповідно, девіантною вважають таку поведінку, яка порушує встановлені моральні, етичні чи правові норми, виходячи за межі загальноприйнятих вимог. У сучасному науковому дискурсі девіантна поведінка розглядається як системне соціально-психологічне явище, що виражається у вчинках або діях індивіда, які суперечать офіційно встановленим або фактично сформованим у певному суспільстві правовим, моральним чи соціальним нормам. Як слушно зазначає В. Оржеховська, «сутність девіацій полягає в деформації ціннісно-смислової сфери особистості, що неминуче спричиняє розрив гармонійних міжособистісних зав’язків та порушує процес соціальної адаптації» [5].

Причини девіантної поведінки дітей та підлітків дослідники найчастіше пов’язують із прогалинами у вихованні, через які формуються риси характеру, що провокують до неприйнятних у суспільстві вчинків. Крім того, у дитячому віці поведінкові порушення нерідко зумовлені незавершеністю розвитку особистості, проблемами в родині, а також сильним впливом найближчого оточення та його сумнівних цінностей Проте, у молодшому шкільному віці прояви поведінкових порушень мають виразну вікову специфіку, яку науковці застерігають ототожнювати з підлітковою делінквентністю. На основі розвідок Р. Козубовського та О. Шелевер [3], до основних діагностичних маркерів ранніх поведінкових відхилень у дітей 6–10 років належать: підвищена емоційна лабільність, демонстративна непокора, імпульсивність, схильність до фантазування й патологічної неправдивості, дрібні крадіжки, а також шкільна дезадаптація, що виражається у систематичному зриві уроків та ігноруванні правил закладу освіти. Саме тому, ефективними засобами боротьби з наслідками такої поведінки є її недопущення на етапі формування, а саме профілактика.

Слід зазначити, що поняття «профілактика» є загальновживаним у багатьох науках і зазвичай означає «запобігання» або «попередження» небажаних явищ. У широкому науковому контексті профілактика визначається як науково обґрунтована система соціальних, психологічних та освітніх заходів, орієнтованих на усунення факторів ризику, нейтралізацію причин відхилень та збереження нормального функціонування особистості. Педагогічна профілактика є спеціально організованим, керованим виховним процесом, що реалізується засобами педагогічного впливу задля запобігання виникненню та закріпленню деструктивних форм поведінки.

У виборі конкретних засобів превентивної роботи з дітьми 6–10 років визначальним є відхід від нотацій та абстрактних повчань, які не сприймаються молодшими школярами через наочно-образний характер їхнього мислення. Так, найбільш результативними виступають діяльнісні, практико-орієнтовані засоби, зокрема: ігрові технології (сюжетно-рольові та комунікативні ігри, що вчать дотримуватися правил, контролювати імпульсивність та співпрацювати); казкотерапія (аналіз повчальних притч і казок, що дає змогу безпечно програвати внутрішні конфлікти та формувати моделі подолання життєвих труднощів); арт-педагогічні методики (малювання страхів або гніву, робота з пластичними матеріалами, пісочна терапія як спосіб зняття емоційної напруги та ін.).

Ефективність профілактичної роботи в закладі освіти залежить від комплексу взаємопов'язаних чинників. Насамперед це фахова компетентність педагога: розуміння витоків девіацій, знання індивідуальних особливостей дитини та умов її сімейного виховання, а також здатність вчасно діагностувати та прогнозувати поведінкові ризики. Отже, рання педагогічна профілактика девіантної поведінки дітей молодшого шкільного віку виступає стратегічним завданням сучасної початкової освіти, покликаним своєчасно заблокувати початкові деструктивні реакції до моменту їх закріплення у стійкі асоціальні стереотипи.

Література

[1] Бех І. Д. Виховання особистості : підручник. Київ : Либідь, 2008. 84 с.

[2] Капська А. Й. Соціальна педагогіка : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2011. 48 с.

[3] Козубовський Р. В., Шелевер О. В. Профілактика девіантної поведінки молодших школярів. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота». 2019. Вип. 2 (45). С. 99–103.

[4] Максимова Н. Ю. Психологія девіантної поведінки : навч. посібник. Київ : Либідь, 2011. 52 с.

[5] Оржеховська В. М., Федорченко Т. Є. Профілактика девіантної поведінки неповнолітніх : навч. посібник. Черкаси : Вид. Чабаненко Ю. А., 2008. 37 с.

[6] Про Національну стратегію розбудови безпечного і здорового освітнього середовища у Новій українській школі : Указ Президента України від 25 трав. 2020 р. № 195/2020. URL: https://www.president.gov.ua/documents/1952020-33789 (дата звернення: 11.09.2026).

[7] Савченко О. Я. Виховний потенціал початкової освіти : посібник для вчителів і методистів. 2-ге вид., доповн. Київ : Богданова А. М., 2009. 22 с.

PEDAGOGICAL PREVENTION OF DEVIANT BEHAVIOR IN PRIMARY EDUCATION LEARNERS

Sultanova N.

Admiral Makarov National University of shipbuilding. Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The study theoretically substantiates the essence, specificity, and ways of early pedagogical prevention of deviant behavior among primary school children within the modern educational environment. The concepts of "deviant behavior" and "destructive behavior" are specified in relation to primary education, characterizing their primary diagnostic markers. A set of effective practice-oriented preventive tools for primary school teachers under the conditions of the New Ukrainian School is identified, including game-based methods, fairy-tale therapy, art-pedagogical techniques, and modeling of "situations of success".

Keywords: pedagogical prevention, deviant behavior, destructive behavior, primary education learners, younger schoolchildren, safe educational environment, New Ukrainian School, pedagogy of partnership.

УДК 378.147:514.18:629.5

НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ СУДНОБУДУВАННЯ

Урсуленко І.О.,

викладач

Первомайський навчально-науковий інститут

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна

ivan.ursulenko@nuos.edu.ua

Анотація. Сучасний етап розвитку суднобудування та океанотехніки характеризується активним упровадженням цифрових технологій на всіх етапах життєвого циклу інженерної продукції – від формування концепції та проєктування до виготовлення, експлуатації й модернізації суден та морської

техніки. У цих умовах зростають вимоги до професійної підготовки майбутніх фахівців суднобудівної галузі, важливою складовою якої стає сформованість цифрових компетентностей.

Ключові слова: нарисна геометрія, комп'ютерна графіка, цифрові компетентності, інженерна освіта, суднобудування, автоматизоване проєктування, цифровізація освіти, 2D-моделювання, 3D-моделювання, професійна підготовка.

Одним із фундаментальних компонентів підготовки майбутнього інженера є дисципліна «Нарисна геометрія та комп'ютерна графіка». Її значення виходить за межі формування навичок виконання креслень. У процесі вивчення дисципліни розвиваються просторове та логічне мислення, інженерна уява, здатність аналізувати геометричну форму технічних об'єктів і представляти інформацію у графічному вигляді. Саме ці якості створюють основу для подальшого оволодіння сучасними системами автоматизованого проєктування та цифровими технологіями інженерної діяльності [1,2].

Цифрова трансформація суднобудування передбачає широке застосування систем автоматизованого проєктування, тривимірного моделювання, цифрових моделей виробів, електронної технічної документації та технологій візуалізації. Майбутній фахівець повинен не лише вміти користуватися відповідним програмним забезпеченням, а й розуміти принципи побудови геометричних моделей, взаємозв'язок між просторовою формою об'єкта та його проєкційним зображенням, а також уміти правильно інтерпретувати графічну інформацію.

У цьому контексті нарисна геометрія виконує фундаментальну функцію. Вона формує у студентів здатність мислити просторовими образами, аналізувати взаємне розташування геометричних елементів, розв'язувати задачі на визначення натуральних величин, взаємного перетину поверхонь та інших параметрів просторових об'єктів. Для майбутніх фахівців суднобудування ці навички є особливо важливими, оскільки конструкції суден, корпусні елементи, механізми та енергетичні установки характеризуються складною просторовою геометрією [4].

Комп'ютерна графіка забезпечує практичну реалізацію сформованих знань у цифровому середовищі. Використання систем автоматизованого проєктування дозволяє студентам переходити від традиційних графічних побудов до створення цифрових моделей і креслень. Важливим результатом навчання є формування здатності виконувати двовимірні креслення, створювати та редагувати тривимірні моделі, формувати проєкційні зображення, наносити розміри й технічні позначення та оформлювати конструкторську документацію відповідно до вимог стандартів.

Особливого значення набуває поєднання традиційних методів графічної підготовки із сучасними цифровими технологіями. Комп'ютерне моделювання не повинно розглядатися лише як заміна ручного виконання креслень. Ефективне використання цифрових інструментів можливе за умови розуміння студентом геометричної сутності об'єкта. Тому доцільним є такий підхід до викладання дисципліни, за якого спочатку формується розуміння геометричних закономірностей, а надалі здійснюється їх практична реалізація із застосуванням програмних засобів. [5].

Перспективним напрямом є впровадження професійно орієнтованих завдань, пов'язаних із майбутньою діяльністю студентів. Під час практичних занять доцільно використовувати графічні моделі елементів корпусних конструкцій суден, деталей суднових механізмів, трубопроводів, фланцевих з'єднань, валів, кронштейнів та інших інженерних об'єктів. Виконання таких завдань сприяє встановленню зв'язку між фундаментальними дисциплінами та професійною підготовкою майбутнього фахівця [6].

Важливим напрямом розвитку цифрових компетентностей є використання технологій двовимірного та тривимірного моделювання. Перехід від 2D-креслення до 3D-моделі дозволяє студенту комплексно сприймати інженерний об'єкт, досліджувати його геометричну форму та просторові властивості. Водночас формування креслення на основі тривимірної моделі допомагає краще зрозуміти взаємозв'язок між цифровою моделлю та традиційною конструкторською документацією.

Сучасна організація освітнього процесу також передбачає використання інтерактивних і проєктно-орієнтованих методів навчання. Доцільно пропонувати студентам комплексні практичні завдання, що включають аналіз конструкції, визначення геометричних параметрів, створення цифрової моделі, виконання креслення та підготовку технічної документації. Такий підхід сприяє розвитку самостійності, творчого мислення та здатності застосовувати отримані знання для розв'язання практичних інженерних завдань.

Важливу роль у формуванні цифрових компетентностей відіграє використання електронних освітніх ресурсів. Відеоматеріали, електронні методичні посібники, інтерактивні моделі, цифрові бібліотеки креслень та системи дистанційного навчання забезпечують можливість організації індивідуальної та самостійної роботи студентів. Це особливо актуально в умовах цифровізації вищої освіти, коли традиційні форми навчання доповнюються дистанційними та змішаними технологіями [3, 6].

Висновки. Дисципліна «Нарисна геометрія та комп'ютерна графіка» є важливою складовою формування цифрових компетентностей майбутніх фахівців суднобудування. Нарисна геометрія створює

фундамент для розвитку просторового та інженерного мислення, а комп'ютерна графіка забезпечує формування практичних навичок роботи з цифровими засобами створення та обробки графічної інформації. Інтеграція фундаментальної графічної підготовки, сучасних технологій автоматизованого проєктування та професійно орієнтованих завдань сприятиме підвищенню якості інженерної освіти та підготовці фахівців, здатних ефективно працювати в умовах цифрової трансформації суднобудування та океанотехніки.

Література

[1] Козяр М. М., Фещук Ю. В. Комп'ютерна графіка : AutoCAD : навчальний посібник. Луцьк : Вежа-Друк, 2015. 30 с.

[2] Сидоренко В. К., Ботвінкін Б. М. Нарисна геометрія та інженерна графіка : навчальний посібник. Київ : Вища школа, 1998. 25 с.

[3] Шевченко В. В. Інженерна та комп'ютерна графіка : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2017. 33 с.

[4] Shih R. H. Principles and Practice: An Integrated Approach to Engineering Graphics and AutoCAD. SDC Publications, 2024.

[5] International Organization for Standardization. ISO 128-1:2020. Technical product documentation (TPD) – General principles of representation – Part 1: Introduction and fundamental requirements. Geneva : ISO, 2020.

[6] Autodesk. AutoCAD. Official documentation and learning resources. URL: Autodesk AutoCAD Documentation.

DESCRIPTIVE GEOMETRY AND COMPUTER GRAPHICS AS A BASIS FOR DEVELOPING DIGITAL COMPETENCIES IN FUTURE SHIPBUILDING PROFESSIONALS

Ursulenko Ivan

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk Institute Pervomaisk, Mykolaiv region, Ukraine.

Abstract. The current stage of development in shipbuilding and ocean engineering is characterized by the active implementation of digital technologies across all stages of the engineering product lifecycle – from conceptualization and design to the manufacturing, operation, and modernization of vessels and marine equipment. Under these conditions, requirements for the professional training of future shipbuilding specialists are increasing, with the development of digital competencies becoming a crucial component of this training.

Keywords: descriptive geometry, computer graphics, digital competencies, engineering education, shipbuilding, computer-aided design (CAD), digitalization of education, 2D modeling, 3D modeling, professional training.

УДК 378.011.3-051:373.3:502/504

ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПОЧАТКОВОЇ ШКОЛИ ДО ФОРМУВАННЯ ПРИРОДНИЧОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ В УМОВАХ НОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ ШКОЛИ

Філімонова Т.В.,

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри початкової освіти
Навчально-наукового педагогічного інституту імені В.О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
tatiana.filimonova15@gmail.com

Анотація. У тезах розглянуто актуальні аспекти професійної підготовки майбутніх учителів початкової школи до формування природничої компетентності молодших школярів. Обґрунтовано необхідність удосконалення змісту та методики професійної підготовки здобувачів вищої педагогічної освіти відповідно до сучасних вимог початкової освіти та реалізації компетентнісного підходу. Акцентовано увагу на необхідності формування в майбутнього вчителя здатності створювати освітнє середовище, у якому дитина не лише засвоює природничі знання, а й набуває досвіду дослідження, пояснення природних явищ, прийняття обґрунтованих рішень та відповідальної взаємодії з довкіллям.

Ключові слова: майбутній учитель початкової школи, професійна підготовка, природнича компетентність, природнича освітня галузь, молодші школярі, компетентнісний підхід, дослідницька діяльність, Нова українська школа.

Вступна частина. Сучасна початкова освіта орієнтується не лише на засвоєння знань, а й на формування здатності застосовувати їх у навчальних і життєвих ситуаціях, що підвищує вимоги до професійної підготовки майбутнього вчителя. Особливого значення набуває природнича освіта, яка має формувати в учнів уміння спостерігати, досліджувати, встановлювати взаємозв'язки та застосовувати набуті знання. Державний стандарт початкової освіти орієнтує на досягнення результатів, що охоплюють знання, уміння, способи мислення та цінності [1], а професійний стандарт учителя визначає вимоги до його готовності організовувати компетентнісно орієнтоване навчання [2].

Проблеми компетентнісної професійної підготовки майбутніх учителів початкової школи досліджували О. Сорока, А. Крижановський, формування природознавчої компетентності майбутнього педагога – А. Бальоха, природничо-наукову підготовку майбутніх учителів початкової школи – Л. Височан. Отже, підготовка майбутнього вчителя до формування природничої компетентності молодших школярів є актуальною науково-педагогічною проблемою, що потребує подальшого теоретичного обґрунтування та практичного вдосконалення.

Мета роботи полягає в теоретичному обґрунтуванні особливостей підготовки майбутніх учителів початкової школи до формування природничої компетентності молодших школярів та визначенні ефективних методів, форм і засобів такої підготовки в умовах сучасної початкової освіти.

Основна частина. Підготовку майбутнього вчителя до формування природничої компетентності молодших школярів доцільно розглядати як системний процес, що поєднує природничий, психолого-педагогічний і методичний компоненти. Майбутній педагог має володіти природничими знаннями, розуміти вікові особливості учнів та вміти трансформувати зміст природничої освітньої галузі у доступну й практично спрямовану навчальну діяльність.

Готовність майбутнього вчителя до формування природничої компетентності визначаємо як інтегровану характеристику його професійної підготовленості, що виявляється у здатності проєктувати, організовувати, оцінювати й удосконалювати природниче навчання з урахуванням вікових особливостей дітей та сучасних освітніх вимог.

У структурі готовності можна виокремити чотири взаємопов'язані складники: мотиваційно-ціннісний, когнітивний, операційно-діяльнісний і рефлексивний. Мотиваційно-ціннісний передбачає усвідомлення значення природничої освіти, цінності природи та дослідницької діяльності. Когнітивний охоплює природничі, психолого-педагогічні й методичні знання. Операційно-діяльнісний характеризує здатність організовувати спостереження, досліди, моделювання, проблемне та проєктне навчання. Рефлексивний пов'язаний із аналізом результатів власної педагогічної діяльності, виявленням труднощів учнів і коригуванням освітнього процесу.

Важливою умовою формування такої готовності є дослідницька спрямованість професійної підготовки. Дослідницький підхід передбачає не лише засвоєння студентами методики організації досліджень, а й їх безпосереднє залучення до конструювання та проведення дослідницьких завдань [3]. Майбутні вчителі мають навчатися визначати проблему, формулювати запитання, передбачати можливі припущення учнів, добирати способи дослідження, фіксувати результати та формулювати висновки.

Особливого значення набуває формування вмінь організовувати спостереження, експериментування та моделювання як основні способи пізнання природи молодшими школярами. Важливо, щоб студент умів визначити мету дослідження, дібрати доступні для дітей завдання, передбачити можливі труднощі та організувати обговорення отриманих результатів.

Ефективним засобом підготовки є проблемне та проєктне навчання, у процесі якого майбутні вчителі вчаться створювати навчальні ситуації, що спонукають дитину висувати припущення, шукати способи розв'язання проблеми, аналізувати результати та робити висновки. Водночас проєктна діяльність сприяє формуванню вмінь планувати природничі дослідження, організовувати пошукову роботу й презентувати її результати.

Важливим напрямом є також підготовка майбутнього педагога до створення природничого освітнього середовища. Воно має забезпечувати можливості для спостереження, експериментування, роботи з природними матеріалами, створення моделей та фіксації результатів [4]. Освітнім простором можуть бути не лише клас і кабінет, а й шкільне подвір'я, парк, пришкільна ділянка та інші доступні природні об'єкти.

Практичну спрямованість професійної підготовки доцільно забезпечувати через мікровикладання, моделювання педагогічних ситуацій, розроблення фрагментів уроків, технологічних карт, дослідницьких і проєктних завдань. Студент має не лише продемонструвати методику проведення певної діяльності, а й спрогнозувати можливі відповіді та труднощі учнів, визначити способи підтримки їхньої пізнавальної активності.

Окремої уваги потребує підготовка майбутнього вчителя до формувального оцінювання природничих результатів навчання. Оцінювати доцільно не лише обсяг засвоєних знань, а й здатність учня застосовувати їх, пояснювати природні явища, проводити прості дослідження, робити висновки та відповідально взаємодіяти з природою.

Висновки. Отже, професійна підготовка майбутнього вчителя до формування природничої компетентності має бути практико орієнтованою та передбачати поєднання природничих знань із методичною діяльністю, дослідницьким, проблемним і проєктним навчанням, моделюванням педагогічних ситуацій та рефлексією. Її результатом має стати готовність педагога створювати освітні ситуації, у яких молодший школяр активно досліджує природний світ, пояснює результати власної діяльності та застосовує набуті знання.

Література

[1] Про затвердження Державного стандарту початкової освіти : Постанова Кабінету Міністрів України від 21.02.2018 № 87. База даних «Законодавство України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/87-2018-%D0%BF (дата звернення: 12.09.2026).

[2] Про затвердження професійного стандарту «Вчитель закладу загальної середньої освіти» : наказ Міністерства освіти і науки України від 29.08.2024 № 1225. URL: https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-profesiinoho-standartu-vchytel-zakladu-zahalnoi-serednoi-osvity (дата звернення: 12.09.2026).

[3] Грицай Н., Попельницька О. Дослідницький підхід у методичній підготовці майбутніх учителів природничих наук. Українська професійна освіта. 2024. № 15. DOI: 10.33989/2519-8254.2024.15.312212.

[4] Біленкова Л. М. Значення освітнього середовища в навчанні природничої освітньої галузі в початковій школі. Збірник наукових праць «Педагогічні науки». 2022. № 99. DOI: 10.32999/ksu2413-1865/2022-99-2.

PREPARING FUTURE PRIMARY SCHOOL TEACHERS TO FOSTER NATURAL SCIENCE COMPETENCE IN YOUNGER PUPILS WITHIN THE CONTEXT OF THE NEW UKRAINIAN SCHOOL

Filimonova T.V.

V.O. Sukhomlynsky Educational and Scientific Pedagogical Institute, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines key aspects of the professional training of future primary school teachers regarding the development of natural science competence in young learners. It substantiates the need to enhance the content and methodology of professional training for higher education students in the field of pedagogy, aligning them with modern primary education requirements and the implementation of a competence-based approach. Emphasis is placed on the necessity of fostering a teacher's ability to create an educational environment where the child not only acquires knowledge of natural sciences but also gains experience in conducting research, explaining natural phenomena, making informed decisions, and interacting responsibly with the environment.

Keywords: future primary school teacher, professional training, natural science competence, natural science educational area, primary school students, competence-based approach, research activity, New Ukrainian School.

УДК 94(477):378.6:001.89

ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНИЙ КОНТЕКСТ ЯК ЧИННИК ФОРМУВАННЯ ГРОМАДЯНСЬКОЇ ТА ПРОФЕСІЙНОЇ ІДЕНТИЧНОСТІ МАЙБУТНЬОЇ ТЕХНІЧНОЇ ЕЛІТИ

Шаповалова І.В.,

кандидат філософських наук, доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

iryna.shapovalova@nuos.edu.ua

Анотація. У статті проаналізовано роль та значення гуманітарного блоку дисциплін, зокрема історії України та української культури, у процесі формування національно-громадянської та професійної ідентичності студентів вищих технічних навчальних закладів. Обґрунтовано необхідність глибокої деколонізації та декомпіляції імперських міфів в історії вітчизняної науки і техніки. Висвітлено стратегічну роль українських науково-інженерних шкіл у світовому технологічному прогресі. Запропоновано комплексні методичні підходи до інтеграції історико-культурного контексту в підготовку сучасних інженерних кадрів.

Ключові слова: історія України, деколонізація науки, громадянська ідентичність, інженерна еліта, гуманітаризація вищої освіти, колективна пам'ять, патріотичне виховання.

Вступна частина. Сучасний етап розвитку України, що характеризується викликами повномасштабного військового протистояння, геополітичними трансформаціями та завданнями повоєнної відбудови, з усією гостротою висуває проблему формування свідомої, національно орієнтованої технічної інтелігенції. Інженерні кадри, фахівці з технологій, будівництва, енергетики та оборонно-промислового комплексу є безпосереднім рушієм національної безпеки та суверенітету держави [1, с. 15].

Проте тривалий час у вищій технічній школі спостерігалася тенденція до гіпертрофованого технократизму, коли основна увага приділялася виключно вузькоспеціалізованим Hard Skills, тоді як викладання суспільствознавчих та гуманітарних дисциплін сприймалося як вторинний елемент. Формування високого рівня технічної майстерності без належного знання історико-культурного контексту створює загрозу появи «виконавця-технократа», позбавленого громадянських орієнтирів, національної ідентичності та усвідомлення власної соціальної відповідальності перед суспільством.

Мета роботи. Концептуалізувати та обґрунтувати стратегічну роль викладання історії України та українознавчих дисциплін у процесі формування громадянської свідомості, патріотичної суб'єктності та професійної ідентичності (identity) майбутньої технічної еліти в умовах сучасних викликів.

Основна частина. Теоретико-методологічну базу дослідження становлять фундаментальні концепції націєтворення (Б. Андерсон, Е. Сміт), теорії «культурної та колективної пам'яті» (А. Ассман), а також сучасні праці з історії української науково-технічної думки та філософії освіти [2, с. 45; 3, с. 110].

Громадянська та професійна ідентичність фахівця не є вродженою або автоматичною похідною від набуття диплома про вищу освіту. Вона виступає результатом тривалої соціокультурної соціалізації, де вирішальну роль відіграє сприйняття засадничих історичних наративів, спільних цінностей та усвідомлення причетності до конкретної науково-технічної традиції [3, с. 125].

Деколонізація та реінтеграція історії української науки і техніки. Упродовж століть імперський та радянський дискурси систематично привласнювали видатні досягнення українських інженерів, винахідників і науковців, маргіналізуючи вітчизняний внесок у світовий прогрес або зараховуючи його до «загальноімперського» чи «російського» надбання [4, с. 88]. Курс історії України у технічному ЗВО має виконувати виразну деколонізаційну та просвітницьку функцію.

Навчальний матеріал мусить системно висвітлювати діяльність видатних постатей вітчизняної інженерної думки: від першопрохідців авіації та космонавтики (М. Кибальчич, О. Засядько, І. Сікорський, С. Корольов, Ю. Кондратюк) до фундаторів кібернетики, електрозварювання та матеріалознавства (В. Глушков, Є. Патон, Б. Патон, І. Пулюй) [5, с. 210]. Важливим аспектом є відновлення пам'яті про українські наукові осередки та інженерні школи (Київську, Харківську, Дніпровську, Львівську, Миколаївську), які формували технологічний потенціал світового рівня, попри утиски та репресії проти вітчизняної інтелігенції.

Формування патріотичної суб'єктності та державотворчого мислення. Історико-культурний контекст дозволяє студенту технічного профілю усвідомити, що будь-яке інженерне чи технологічне рішення не існує у вакуумі – воно завжди має суспільний, екологічний та державотворчий вимір [1, с. 42]. Розуміння пройденого українським народом шляху боротьби за незалежність формує у майбутніх фахівців суб'єктність: відчуття того, що саме вони є спадкоємцями національної інженерної культури та відповідальними за захист і відбудову держави.

Практичні методи інтеграції гуманітарного знання в освітній процес технічного ЗВО. Забезпечення ефективного впливу історико-культурних дисциплін на формування ідентичності вимагає відходу від формального пасивного викладання фактів та дат. Оптимальними інструментами є:

– *Наскрізна міждисциплінарність:* розробка спеціальних навчальних модулів «Історія галузевої науки та техніки в Україні» у межах загального курсу історії України для відповідних спеціальностей (наприклад, історія кораблебудування, енергетики, мостобудування чи авіабудування).

– *Студентські дослідницькі проєкти:* залучення студентів до створення цифрових архівів, віртуальних музеїв наукових шкіл своїх факультетів та кафедр, вивчення біографій видатних випускників ЗВО.

– *Критичний аналіз соціокультурних виборів науковців:* проведення семінарів-дискусій щодо етичних, моральних та патріотичних виборів, які робили вчені минулого в умовах тоталітарних режимів або воєнних випробувань.

Висновки. Гуманітарна підготовка студентів у технічних вищих навчальних закладах є не факультативним додатком, а стратегічним інструментом національної безпеки, деколонізації та націєтворення. Історія України та українська культура становлять той змістовий і ціннісний каркас, який перетворює висококласного технічного фахівця на свідомого громадянина, патріота та представника національної інженерної еліти, здатної вирішувати найскладніші виклики XXI століття.

Література

[1] Грицак Я. Нарис історії України: формування модерної нації XIX-XX ст. К.: Генеза, 2019. – 48 с.

[2] Anderson B. Imagined Communities: Reflections on the Origin and Spread of Nationalism. Revised Edition. London: Verso, 2006. – 240 p. URL: https://www.versobooks.com/products/847-imagined-communities

[3] Assmann A. Cultural Memory and Western Civilization: Functions, Media, Archives. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. – 420 p. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511996306

[4] Plokhy S. The Gates of Europe: A History of Ukraine. New York: Basic Books, 2015. – 432 p. URL: https://www.hachettebookgroup.com/titles/serhii-plokhy/the-gates-of-europe/9780465094868/

[5] Оноприєнко В. І. Історія української науки XIX-XX століть: навчальний посібник. К.: Либідь, 1998. – 30 с.

[6] Храмов Ю. О. Наукові школи в Україні: історико-теоретичний аналіз. К.: Фенікс, 2012. – 32 с.

[7] Smith A. D. Ethno-symbolism and Nationalism: A Cultural Approach. London: Routledge, 2009. – 184 p. DOI: https://doi.org/10.4324/9780203876558

HISTORICAL AND CULTURAL CONTEXT AS A FACTOR IN THE FORMATION OF CIVIC AND PROFESSIONAL IDENTITY OF THE FUTURE TECHNICAL ELITE

Shapovalova Iryna. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article analyzes the role of the humanities, particularly the history of Ukraine and Ukrainian culture, in forming the national-civic and professional identity of technical university students. The necessity of decolonizing the history of domestic science and technology and highlighting the contribution of Ukrainian engineering schools is substantiated. Practical methods of integrating historical and cultural context into professional training of future engineering specialists are revealed. The importance of the humanities block as a strategic tool of nation-building and national security is proved.

Keywords: history of Ukraine, decolonization of science, civic identity, engineering elite, humanization of higher education, collective memory, patriotic education.

УДК 316.74:378.14:004

СОЦІАЛЬНІ ВИКЛИКИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ: ТРАНСФОРМАЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ ВИКЛАДАЧА ТА СТУДЕНТА В ТЕХНІЧНОМУ ЗВО

Шаповалова І.В.,

кандидат філософських наук, доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
iryna.shapovalova @nuos.edu.ua

Анотація. У статті здійснено ґрунтовний соціологічний аналіз системних трансформацій освітнього середовища технічного університету під впливом цифрових технологій та гібридних форматів навчання. Детально проаналізовано зміну соціальних ролей викладача та студента у суб'єкт-суб'єктній взаємодії, а також явище рольової невизначеності. Виявлено та концептуалізовано соціокультурні ризики: цифрове відчуження, атомізацію студентського співтовариства, аномію традиційної академічної культури та нові форми соціальної стратифікації (цифровий розрив). Запропоновано методологічні засади проєктування розумного гібридного середовища (Blended Learning) задля збереження й відтворення соціального капіталу вищої школи.

Ключові слова: соціологія освіти, цифровізація, академічна культура, соціальний капітал, гібридне навчання, цифровий розрив, соціальні ролі, суб'єкт-суб'єктна взаємодія.

Вступна частина. Масова цифровізація вищої школи, яка суттєво прискорилася внаслідок глобальних викликів (пандемія COVID-19, повномасштабна війна в Україні та безпекові обмеження), кардинально змінила архітектуру освітнього простору. Якщо для гуманітарних напрямів дистанційні формати виявилися менш болісними, то для технічних закладів вищої освіти (ЗВО) перехід в онлайн став справжнім соціокультурним та методологічним шоком. Традиційна модель підготовки інженера історично спиралася на безпосередню аудиторну роботу, практичні лабораторні дослідження, роботу з реальними устаткувальними комплексами та тісну безпосередню комунікацію з науковими школами [1, с. 88].

Заміщення класичних форм освітньої комунікації цифровими платформами (MS Teams, Zoom, Moodle) зумовило глибинні зрушення в системі соціальних зв'язків між суб'єктами освітнього процесу. З огляду на це соціологічний аналіз трансформації взаємодії викладача та студента постає надзвичайно актуальним завданням, оскільки від якості цієї взаємодії залежить не лише рівень засвоєння знань, а й збереження академічної культури, професійна соціалізація та формування майбутньої науково-технічної еліти.

Мета роботи. Здійснити системний соціологічний аналіз викликів цифровізації освітнього процесу в технічних ЗВО, розкрити трансформацію рольових позицій викладача та студента, виявити ключові соціокультурні ризики та обґрунтувати шляхи оптимізації комунікативної взаємодії в умовах гібридного навчання.

Основна частина. Теоретико-методологічною основою дослідження слугують концепції інформаційного суспільства (М. Кастельс), теорія соціального та культурного капіталу (П. Бурдьє), коннективістська теорія навчання (Г. Сіменс) та фундаментальні праці із соціології вищої освіти [2, с. 140; 3, с. 65; 4, с. 12].

Трансформація рольових позицій та соціального статусу викладача. У класичній освітній парадигмі викладач технічного ЗВО виступав у ролі головного носія, транслятора та контролера експертного знання. Цифровізація та безперешкодний доступ до баз даних, онлайн-курсів провідних світових університетів та інструментів штучного інтелекту ліквідували цю монополію.

Соціологічні спостереження фіксують перехід від вертикальної (ієрархічної) до горизонтальної (мережевої) моделі взаємодії. Викладач вимушений опановувати нові соціальні ролі:

– *Фасілітатора та модератора***:** спрямовує дискусію та допомагає структурувати інформаційний шум;

– *Тьютора та ментора:* забезпечує індивідуальний супровід освітньої траєкторії студента;

– *Навігатора в потоці знань:* навчає студентів критеріям верифікації та критичного аналізу інформації.

Для багатьох викладачів старшого покоління ця трансформація супроводжується «рольовим шоком» та втратою традиційного символічного авторитету. У той же час студенти технічних спеціальностей, будучи цифровими аборигенами (Digital Natives), часто очікують від викладача не просто лекційного викладу, а високої цифрової компетентності та інтерактивності, що створює соціокультурну дистанцію між поколіннями [5, с. 102].

Соціокультурні ризики цифровізації освітнього середовища. Дослідження комунікаційних процесів у цифровому середовищі дозволяє виокремити декілька критичних соціологічних проблем:

– *Деструкція інституційної соціалізації та атомізація студентства.* Навчання у ЗВО – це не лише засвоєння алгоритмів чи формул, а й процес формування професійної спільноти, обмін соціальним капіталом, розвиток Soft Skills під час групової роботи. Дистанційний формат ізолює студентів, позбавляє їх позааудиторного академічного життя (студентські гуртки, наукові товариства, неформальне спілкування в коридорах та лабораторіях) [1, с. 95].

– *Ефект «анонімності за вимкненою камерою» та цифрове відчуження.* Під час онлайн-занять викладач часто стикається з «чорними квадратами» аватарів. Це створює феномен фантомної присутності, деструктивно впливає на емоційно-емпатичний контакт, знижує академічну відповідальність студентів та викликає вигорання у викладачів через відсутність зворотного зв’язку.

– *Поглиблення цифрової нерівності (Digital Divide).* Доступ до якісної освіти в умовах цифровізації починає опосередковуватися матеріально-технічними можливостями студента (наявність потужного ПК для запуску графічних та інженерних програм, стабільність високошвидкісного інтернету, наявність автономних джерел живлення). Це створює нові лінії соціальної стратифікації та дискримінації всередині студентської спільноти [6, с. 110].

– *Девальвація академічної культури та аномія.* Доступність генеративних нейромереж та цифрових шпоргалок призвела до кризи традиційних форм контролю знань. Коли студенти масово використовують інструменти ШІ для виконання завдань, а викладачі використовують цифрові детектори для їх перевірки, взаємодія перетворюється на «імітаційну гру». Це свідчить про стан академічної аномії – руйнування попередніх норм без формування нових дієвих регуляторів [7, с. 44].

Шляхи подолання комунікаційної кризи: концепція розумного гібридного середовища. Повний відкат до аналогового минулого є неможливим, оскільки цифрові інструменти забезпечують гнучкість та інклюзивність. Проте й повна цифровізація загрожує втратою якісної інженерної підготовки. Розв’язанням цієї суперечності є проєктування гібридної освітньої моделі (Blended Learning) [8, с. 78]:

– *Перенесення рутинних, інформаційно-ознайомчих завдань* та первинного тестування у цифрове середовище (асинхронний режим);

– *Фокусування очних (synchronous) занять* виключно на практичній роботі в реальних лабораторіях, наукових дискусіях, проєктних мозкових штурмах та персональному менторстві.

Висновки. Цифровізація вищої технічної освіти є складним, суперечливим соціокультурним процесом. Вона відкриває нові можливості для індивідуалізації навчання, але водночас створює ризики цифрового відчуження, втрати соціального капіталу та трансформації академічної етики. Збереження суб’єкт-суб’єктного характеру взаємодії викладача та студента вимагає переосмислення традиційних ролей, підвищення цифрової та педагогічної культури викладацького складу та розбудови розумного гібридного освітнього простору, де технології слугують інструментом, а не заміною людського контакту.

Література

[1] Астахова В. І. Соціологія вищої освіти : навчальний посібник. Харків: Вид-во НУА, 2012. 30 с.

[2] Кастельс М. Становлення суспільства мереж / пер. з англ. Київ : Видавничий дім «Альтернативи», 2000. 51 с.

[3] Бурдьє П. Практичний глузд / Пер. з фр. К.: ЦЕТ, 2003. – 50 с.

[4] Siemens G. Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. International Journal of Instructional Technology and Distance Learning. 2005. Vol. 2, No. 1. P. 3–10. URL: http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm

[5] Selwyn N. Education in a Digital World: Global Perspectives on Technology and Policy. Routledge, 2013. – 200 p. DOI: https://doi.org/10.4324/9780203876558

[6] Воронкова В. Г. Філософія цифрового суспільства: монографія. Запоріжжя: ЗДІА, 2018. 38 с.

[7] Williamson B. Big Data in Education: The digital future of learning, policy and practice. SAGE Publications, 2017. 256 p. DOI: https://doi.org/10.4135/9781529714920

[8] Полохало В. І. Академічна культура сучасної вищої школи: соціологічний вимір. Соціологія: теорія, методи, маркетинг. 2020. № 3. С.75–89.

SOCIAL CHALLENGES OF EDUCATION DIGITALIZATION: TRANSFORMATION OF TEACHER-STUDENT INTERACTION IN TECHNICAL HEIs

Shapovalova Iryna V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article provides a comprehensive sociological analysis of the systemic transformations within the educational environment of a technical university under the influence of digital technologies and hybrid learning formats. The shift in social roles of teachers and students within subject-subject interaction, as well as the phenomenon of role ambiguity, are analyzed in detail. Sociocultural risks such as digital alienation, atomization of the student community, anomie of traditional academic culture, and new forms of social stratification (the digital divide) are identified and conceptualized. Methodological foundations for designing a smart hybrid educational environment (Blended Learning) to preserve and reproduce the social capital of higher education are proposed.

Keywords: sociology of education, digitalization, academic culture, social capital, blended learning, digital divide, social roles, subject-subject interaction.

УДК 174:004.89:378.6

ФОРМУВАННЯ ЕТИЧНОЇ ТА СОЦІОКУЛЬТУРНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ У ДОБУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Шаповалова І.В.,

кандидат філософських наук, доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та філософії
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
iryna.shapovalova @nuos.edu.ua

Анотація. У статті здійснено ґрунтовний філософсько-етичний аналіз проблеми формування соціокультурної відповідальності майбутніх інженерів в умовах тотальної цифровізації та експансії технологій штучного інтелекту. Проаналізовано роль суспільствознавчих та філософських дисциплін у подоланні технократичної обмеженості підготовки фахівців технічного профілю. Обґрунтовано необхідність системного переходу до методологічних засад «етики за розробкою» (Ethics by Design). Запропоновано комплекс інструментів міждисциплінарної взаємодії та практичні методики формування ціннісно-орієнтованого інженерного мислення.

Ключові слова: штучний інтелект, етика техніки, соціокультурна відповідальність, гуманітаризація вищої освіти, інженерна етика, Ethics by Design, філософія науки, алгоритмічна невизначеність.

Вступна частина. Стрімкий розвиток та впровадження систем штучного інтелекту (ШІ), машинного навчання, автономних комплексів та нейромережевих моделей перетворюють сучасну інженерну діяльність із суто технологічної галузі на сферу підвищеного суспільно-етичного та соціокультурного ризику. Інженер XXI століття створює не просто окремий механізм, програму чи алгоритм – він безпосередньо конструює нове цифрове середовище існування людини, втручаючись у сфери приватності, інституційної безпеки, фундаментальних прав людини та екологічної рівноваги [1, с. 45].

У цьому контексті вища технічна освіта постає перед фундаментальним викликом: подолати гіпертрофований технократичний підхід, який зводить підготовку фахівця лише до опанування алгоритмами та інструментами, і забезпечити глибоку інтеграцію філософсько-етичних знань у навчальний процес. Втрата гуманітарної складової загрожує появою фахівців, які володіють високим технічним потенціалом, але позбавлені цінностей суспільної відповідальності та здатності передбачати віддалені наслідки власних розробок.

Мета роботи. Концептуалізувати методологічні засади та практичні шляхи формування етичної і соціокультурної відповідальності студентів технічних ЗВО у процесі викладання філософських та суспільствознавчих дисциплін в умовах масового впровадження технологій штучного інтелекту.

Основна частина. Теоретико-методологічну основу аналізу становлять фундаментальні концепції філософії техніки, теорія відповідальності Г. Йонаса, філософський аналіз технонауки, а також сучасні міжнародні концепції етики штучного інтелекту та прикладної етики [2, с. 112; 3, с. 78].

Етичні дилеми цифрової епохи та феномен «алгоритмічної невизначеності». Сучасний інженер опиняється в ситуації, коли традиційні моральні орієнтири потребують суттєвого перевизначення. Проблема «чорної скриньки» (Black Box Problem) у глибокому машинному навчанні ставить фундаментальне філософське питання: хто несе моральну та юридичну відповідальність за помилки чи деструктивні рішення, прийняті автономною системою [4, с. 34]?

У рамках курсу філософії науки та прикладної етики для студентів STEM-напрямів важливо розкривати такі ключові виклики:

– *Алгоритмічна дискримінація та упередженість (Data Bias):* штучний інтелект навчається на історичних даних, які часто містять людські стереотипи, соціокультурні упередження чи нерівність. Некритичне використання таких моделей у системах оцінювання, найму чи кредитування відтворює й поглиблює соціальну несправедливість [4, с. 60].

– *Етичні виклики автономних систем:* ситуації аварійного вибору в керуванні безпілотним транспортом (модифікована дилема вагонетки) потребують від розробника закладення ціннісних пріоритетів ще на етапі кодування [5, с. 52].

– *Приватність проти безпеки:* створення масових систем розпізнавання облич та збору персональних даних розмиває межі між забезпеченням громадського порядку та тотальним цифровим контролем і порушенням прав особистості [3, с. 91].

Концепція «Етики за розробкою» (Ethics by Design) як методологічний імператив. Ключовим завданням викладача гуманітарних дисциплін у технічному виші є донесення до студентів думки про те, що будь-яка технологія чи алгоритм не є ціннісно-нейтральними. Техніка завжди втілює в собі світогляд, цілі та імперативи її творців. Концепція Ethics by Design передбачає, що етичні принципи (повага до гідності, прозорість, підзвітність, захист приватності, інклюзивність) мають інтегруватися у проєктну документацію та архітектуру системи від самого початку її розробки, а не додаватися як зовнішній контроль після виходу продукту на ринок [3, с. 105].

Інструменти та методики гуманітаризації технічної освіти. Формування етичної відповідальності вимагає відходу від формального академічного викладу сухої теорії. Оптимальними практичними інструментами є:

– *Впровадження процедури «етичної експертизи проєктів»:* під час виконання курсових, дипломних або лабораторних робіт студенти інженерних спеціальностей готують обов'язковий розділ або «етичний паспорт розробки», де оцінюють потенційні ризики її використання для суспільства та довкілля [6, с. 120].

– *Міждисциплінарні бінарні семінари:* проведення спільних занять викладачами філософії/соціології та профільних інженерних кафедр для аналізу конкретних технологічних кейсів (Case-study method).

– *Соціально-філософська аналітика:* критичний аналіз міжнародних стандартів з етики ШІ (зокрема Рекомендацій ЮНЕСКО з етики штучного інтелекту та EU AI Act) для розуміння глобального контексту регулювання технологій [7, с. 15].

Висновки. Гуманітарний блок дисциплін у технічному університеті покликаний виконувати роль ціннісного та світоглядного фундаменту. Системна інтеграція етики штучного інтелекту у викладання філософії та суспільствознавчих наук забезпечує якісний перехід від вузького технічного функціоналізму до формування відповідальної інженерної еліти, здатної не лише створювати інновації, а й гармонізувати їх із потребами розвитку гуманного та справедливого суспільства.

Література

[1] Добронравова І. С. Філософія науки: підручник. К.: ВПЦ «Київський університет», 2018. 25 с.

[2] Йонас Г. Принцип відповідальності. У пошуках етики для технологічної цивілізації / пер. з нім. Київ : Дух і Літера, 2001. 40 с.

[3] Floridi L. The Ethics of Artificial Intelligence: Principles, Challenges, and Opportunities. Oxford: Oxford University Press, 2023. – 320 p. DOI: https://doi.org/10.1093/oso/9780198883098.001.0001

[4] Coeckelbergh M. AI Ethics. Cambridge: MIT Press, 2020. – 256 p. DOI: https://doi.org/10.7551/mitpress/12549.001.0001

[5] Wallach W., Allen C. Moral Machines: Teaching Robots Right from Wrong. Oxford: Oxford University Press, 2009. – 288 p. DOI: https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195374049.001.0001

[6] Власенко Ф. П. Філософсько-етичні виміри сучасного інженерного знання. Філософія освіти. 2021. № 2 (27). С. 115–128.

[7] Russell S. Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control. Viking, 2019. 352 p. URL: https://www.penguinrandomhouse.com/books/566456/human-compatible-by-stuart-russell/

FORMATION OF ETHICAL AND SOCIOCULTURAL RESPONSIBILITY OF FUTURE ENGINEERS IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Shapovalova Iryna V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article provides a comprehensive philosophical and ethical analysis of the problem of forming sociocultural responsibility among future engineers in the context of total digitalization and the expansion of artificial intelligence technologies. The role of the humanities and philosophical disciplines in overcoming the technocratic narrowing of engineering education is analyzed in detail. The necessity of a systemic transition to the methodological foundations of “Ethics by Design” is substantiated. A set of tools for interdisciplinary interaction and practical methodologies for forming value-oriented engineering thinking are proposed.

Keywords: artificial intelligence, ethics of technology, sociocultural responsibility, humanization of higher education, engineering ethics, Ethics by Design, philosophy of science, algorithmic uncertainty.

УДК 37.015.31:37.011.3-051

ПЕДАГОГІЧНА ТВОРЧІСТЬ ЯК РЕСУРС ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ПЕДАГОГА В УМОВАХ ВИКЛИКІВ XXI СТОЛІТТЯ

Якименко С.І.,
доктор педагогічних наук, професор
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
e-mail: Yakymenkosi@ukr.net
Якименко П.В.,
доктор педагогічних наук, доцент
Міжнародний класичний університет ім. Пилипа Орлика, м. Миколаїв, Україна
e-mail: serdolik1@hotmail.com

Анотація. У тезах обґрунтовано педагогічну творчість як важливий ресурс професійного розвитку сучасного педагога. Визначено основні виклики XXI століття, що зумовлюють необхідність творчого переосмислення змісту, методів і форм освітньої діяльності. Розкрито взаємозв’язок педагогічної творчості з професійною автономією, рефлексією, інноваційністю, цифровою компетентністю та здатністю до безперервного навчання. Окреслено умови, за яких творча діяльність стає механізмом професійного саморозвитку педагога.

Ключові слова: педагогічна творчість, професійний розвиток, педагог, творча діяльність, професійна компетентність, інновації, цифрова трансформація.

Вступна частина. Освіта XXI століття розвивається в умовах швидких технологічних змін, цифровізації, поширення штучного інтелекту, інформаційного перевантаження, суспільної нестабільності та постійного оновлення вимог до результатів навчання. За таких обставин професійна діяльність педагога вже не може обмежуватися відтворенням усталених методик. Вона потребує здатності бачити педагогічну ситуацію як відкриту проблему, знаходити варіативні рішення, конструювати нові способи взаємодії зі здобувачами освіти та критично оцінювати результати власної роботи.

У Концепції Нової української школи особлива увага приділяється вчителю, який має свободу творчості й розвивається професійно [2, с. 16]. Це положення підкреслює, що творчість є не додатковою характеристикою педагогічної праці, а однією з передумов її якості та розвитку. Сучасні міжнародні

підходи також акцентують на необхідності посилення професійної автономії педагога, його участі у створенні нових педагогічних практик, дослідженні та професійній співпраці [4, с. 84–85].

Мета роботи. Метою роботи є теоретичне обґрунтування педагогічної творчості як ресурсу професійного розвитку педагога та визначення її значення для відповіді на ключові освітні виклики XXI століття.

Основна частина. Педагогічна творчість є складним професійно-особистісним феноменом, що виявляється у здатності педагога створювати або продуктивно модифікувати способи розв'язання освітніх завдань відповідно до конкретної ситуації, потреб здобувачів освіти та цілей навчання. С. О. Сисоєва пов'язує її з процесом особистісної і професійної реалізації та самореалізації педагога у професійно-педагогічній діяльності; центрального значення при цьому набуває особистісно орієнтована розвивальна взаємодія суб'єктів освітнього процесу [1, с. 97]. Отже, педагогічна творчість спрямована не лише на отримання нового методичного результату, а й на розвиток самого педагога.

Саме в процесі творчого пошуку педагог виходить за межі алгоритмічного виконання професійних функцій. Необхідність проаналізувати нестандартну ситуацію, сформулювати педагогічну проблему, висунути кілька способів її розв'язання, обрати оптимальний варіант і оцінити його результативність активізує професійне мислення та рефлексію. У такому розумінні творчість стає механізмом накопичення індивідуального педагогічного досвіду: кожне усвідомлене рішення не лише розв'язує конкретне завдання, а й розширює професійний репертуар учителя.

Одним із ключових викликів сучасності є цифрова трансформація освіти. Цифрові платформи, генеративний штучний інтелект, мультимедійні ресурси та засоби дистанційної взаємодії розширюють інструментарій педагога, але водночас ставлять перед ним нові професійні й етичні завдання. Творчість у цифровому середовищі полягає не в механічному використанні нових сервісів, а в педагогічно доцільному їх поєднанні, критичній перевірці інформації, адаптації матеріалів до потреб конкретної групи та збереженні людяного характеру освітньої взаємодії. UNESCO наголошує, що цифрові технології мають підтримувати, а не замінювати освітні інституції та живу педагогічну взаємодію [4, с. 100–101].

Іншим викликом є зростання різноманітності освітніх потреб. Сучасний педагог працює з учнями або студентами, які відрізняються темпом навчання, попереднім досвідом, мотивацією, освітніми потребами та способами сприйняття інформації. Уніфікований сценарій заняття не завжди забезпечує залучення всіх учасників. Тому педагогічна творчість реалізується через варіативність завдань, диференціацію, проєктування ситуацій вибору, поєднання індивідуальної та групової роботи, використання міждисциплінарних зв'язків. Творчий педагог не відмовляється від методичних принципів, а гнучко застосовує їх відповідно до конкретного освітнього контексту.

Важливою ознакою професійного розвитку є здатність педагога перетворювати власний досвід на предмет аналізу. Творча діяльність без рефлексії може залишатися сукупністю випадкових нововведень. Натомість цикл «проблема – пошук рішення – апробація – оцінювання – корекція» перетворює інноваційну спробу на джерело професійного знання. У цьому контексті професійний розвиток доцільно розглядати не тільки як участь у курсах підвищення кваліфікації, а і як безперервне самонавчання безпосередньо у практиці.

Професійне зростання через творчість потребує відповідного освітнього середовища. До його важливих характеристик належать академічна та методична свобода, психологічна безпека, можливість експериментувати без страху перед конструктивною помилкою, доступ до якісних ресурсів, професійні спільноти, наставництво та обмін досвідом. Концепція розвитку педагогічної освіти орієнтує систему підготовки і професійного вдосконалення педагогів на безперервний професійний розвиток та оновлення компетентностей відповідно до суспільних змін [3, с. 2–4]. Водночас UNESCO розглядає викладання як професію, що має ґрунтуватися на співпраці, дослідженні, створенні знань і професійній автономії вчителя [4, с. 84–85].

З огляду на це можна виокремити кілька взаємопов'язаних функцій педагогічної творчості у професійному розвитку. Адаптивна функція допомагає гнучко реагувати на зміни освітнього середовища; інноваційна – створювати та апробувати нові способи навчання; рефлексивна – осмислювати власні професійні дії; мотиваційна – підтримувати інтерес до педагогічної діяльності й саморозвитку; комунікативна – вибудовувати партнерську взаємодію; акмеологічна – спрямовувати педагога на досягнення вищого рівня професійної майстерності. Ці функції взаємодіють: творче рішення породжує новий досвід, його рефлексія формує нове професійне знання, а це знання стає підґрунтям для наступних педагогічних рішень.

Водночас педагогічну творчість не слід ототожнювати з постійним прагненням до зовнішньої новизни. Професійно цінним є не будь-яке оригінальне рішення, а таке, що є педагогічно обґрунтованим, етичним, відповідає меті навчання та сприяє розвитку здобувача освіти. Саме тому творчість сучасного педагога має поєднувати креативність із критичним мисленням, предметною і методичною компетентністю, відповідальністю та здатністю оцінювати наслідки власних рішень.

Висновки. Отже, педагогічна творчість є дієвим ресурсом професійного розвитку педагога в умовах викликів XXI століття. Вона забезпечує здатність не лише адаптуватися до змін, а й активно проєктувати освітній процес, створювати нові практики, осмислювати власний досвід і розширювати професійні можливості. Особливого значення набуває поєднання творчості з рефлексією, цифровою компетентністю, професійною автономією, співпрацею та безперервним навчанням. Створення середовища, у якому педагог має право на обґрунтований пошук, професійний діалог і апробацію нових рішень, є важливою умовою розвитку як самого педагога, так і сучасної освіти.

Література

[1]. Сисоєва С. О. Основи педагогічної творчості: підручник. Київ: Міленіум, 2006. 34 с.

[2]. Нова українська школа: концептуальні засади реформування середньої школи. Київ: Міністерство освіти і науки України, 2016. 3 с.

[3]. Про затвердження Концепції розвитку педагогічної освіти: наказ Міністерства освіти і науки України від 16.07.2018 № 776. Київ: МОН України, 2018.

[4]. Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education. Report from the International Commission on the Futures of Education. Paris: UNESCO, 2021. 186 p.

[5]. Кремень В. Г. Освіта і наука в Україні – інноваційні аспекти. Стратегія. Реалізація. Результати. Київ: Грамота, 2005. 44 с.

[6]. Зязюн І. А. Педагогічна майстерність: підручник / за ред. І. А. Зязюна. 3-тє вид., допов. і переробл. Київ: СПД Богданова А. М., 2008. 37 с.

[7]. Ничкало Н. Г. Неперервна професійна освіта як світова тенденція. Професійна освіта: педагогіка і психологія: українсько-польський щорічник / за ред. Т. Левовицького, І. Вільш, І. Зязюна, Н. Ничкало. Київ; Ченстохова, 2000. Вип. 2. С. 57–80.

PEDAGOGICAL CREATIVITY AS A RESOURCE FOR TEACHERS' PROFESSIONAL DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF THE CHALLENGES OF THE 21ST CENTURY

Yakymenko S. I.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
Yakymenko P. V.
Pylyp Orlyk International Classical University, Mykolaiv, Ukraine, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper substantiates pedagogical creativity as an important resource for teachers' professional development. It identifies key challenges of the 21st century that require creative reconsideration of educational content, methods and forms of interaction. The relationship between pedagogical creativity, professional autonomy, reflection, innovation, digital competence and lifelong learning is outlined. The conditions under which creative activity becomes a mechanism of teachers' professional self-development are characterized.

Keywords: pedagogical creativity, professional development, teacher, creative activity, professional competence, innovation, digital transformation.

УДК 378:316.77:159.942:796

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ КОМУНІКАТИВНО-ЕМОЦІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ТРЕНЕРІВ-ВИКЛАДАЧІВ

Рябчук Р.О.,
аспірант кафедри початкової освіти ННПІ імені В. О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
buzzzen110201@gmail.com
Михальченко Н.В.,
доктор педагогічних наук, кандидат психологічних наук, заступник директора з навчально-наукової роботи ННПІ імені В. О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
madamnatali1976@ukr.net

Анотація. Систематизовано сучасні підходи до формування комунікативно-емоційної компетентності майбутніх тренерів-викладачів у процесі професійної підготовки. Обґрунтовано взаємодоповнювальність компетентнісного, особистісно орієнтованого, діяльнісно-контекстного, рефлексивного та інтегративного підходів. Показано доцільність поєднання моделювання професійних ситуацій, інтерактивної взаємодії, розвитку емоційної саморегуляції, зворотного зв'язку та цифрових засобів рефлексії. Визначено, що результативність підготовки залежить від перенесення сформованих комунікативних і емоційних умінь у реальні та змодельовані ситуації навчально-тренувальної взаємодії.

Ключові слова: комунікативно-емоційна компетентність; майбутні тренери-викладачі; професійна підготовка; сучасні підходи; емоційна саморегуляція; педагогічна взаємодія.

Професійна підготовка майбутнього тренера-викладача у XXI столітті потребує поєднання спортивно-методичної компетентності зі здатністю будувати продуктивну взаємодію, підтримувати мотивацію, надавати коректний зворотний зв'язок і регулювати емоційне напруження. Тому комунікативний та емоційний компоненти доцільно формувати як взаємопов'язану систему професійних дій. Г. П. Грибан, аналізуючи професійно-комунікативну компетентність сучасного тренера, підкреслює значення професійного мовлення, практичної взаємодії та ціннісних орієнтирів у становленні комунікативної компетентності [1, с. 107–113].

Дослідження спрямоване на теоретичне обґрунтування й систематизацію сучасних підходів до формування комунікативно-емоційної компетентності майбутніх тренерів-викладачів у процесі професійної підготовки.

Сучасний підхід визначає не окремий метод, а логіку організації підготовки: її цілі, зміст, способи діяльності та критерії результативності. Відповідно рольова гра, кейс, тренінг або цифровий симулятор є інструментами, тоді як методологічний підхід задає принципи їх добору й поєднання.

Компетентнісний підхід орієнтує освітній процес на здатність діяти у професійній ситуації. Для майбутнього тренера-викладача це означає вміння зрозуміло пояснювати завдання, слухати, мотивувати, педагогічно коректно оцінювати, керувати власною емоційною реакцією та адаптувати стиль спілкування до особливостей адресата. У дослідженні Liu Han ефективність комунікативної готовності майбутніх фахівців фізичної культури і спорту пов'язується з поєднанням знань, практичних умінь та інтерактивного досвіду [2, с. 417–427].

Особистісно орієнтований підхід акцентує повагу до індивідуальних потреб, досвіду й емоційних реакцій здобувача або спортсмена. Його реалізація передбачає емпатійне слухання, гнучкість комунікативної поведінки, дозовану директивність і педагогічну підтримку. О. Шукатка, А. Конох, Ю. Мосейчук і Л. Борисевич пов'язують розвиток комунікативної компетентності майбутніх фахівців фізичної культури з особистісною спрямованістю, практичною підготовкою та інтерактивними методами [3, с. 100–105].

Діяльнісно-контекстний підхід забезпечує набуття компетентності через виконання дій у ситуаціях, наближених до професійної реальності. Доцільними є кейси, рольові ігри, мікровикладання та моделювання спілкування після помилки чи поразки, конфлікту, демотивації або емоційного зриву. У таких завданнях студент одночасно аналізує ситуацію, прогнозує реакцію співрозмовника, обирає комунікативну стратегію й контролює власний емоційний стан [2, с. 417–427].

Рефлексивний підхід перетворює досвід взаємодії на усвідомлений професійний ресурс. Після змодельованого або реального заняття майбутній тренер-викладач має оцінити не лише результат, а й те, як слова, інтонації, невербальна поведінка та власні емоційні реакції вплинули на взаємодію. Для цього доцільні структурований самоаналіз, взаємооцінювання, рефлексивний щоденник і відеоаналіз фрагментів заняття.

Інтегративний підхід дає змогу пов'язати педагогічні, психологічні, комунікативні та спортивно-методичні знання навколо спільних професійних ситуацій. Цифрові засоби при цьому можуть підтримувати, але не підміняти безпосередню взаємодію: онлайн-сценарії, відеорефлексія та електронне портфоліо розширюють можливості регулярної практики й зворотного зв'язку. Експериментальне дослідження P. Zajonz, F. Lautenbach і S. Laborde щодо онлайн-тренування емоційного інтелекту спортивних тренерів засвідчило потенціал цілеспрямованих короткострокових інтервенцій [4, p. 722–739]. Водночас C. Ding і C. Nash в огляді 2026 року наголошують на неоднорідності доказової бази щодо емоційного інтелекту в тренерській діяльності, що вимагає подальшої перевірки освітніх програм [5, p. 159–188].

Отже, зазначені підходи доцільно застосовувати системно: компетентнісний визначає очікуваний результат; особистісно орієнтований – характер педагогічної взаємодії; діяльнісно-контекстний – спосіб набуття досвіду; рефлексивний – механізм його осмислення й корекції; інтегративний – зв'язок між компонентами професійної підготовки. Таке поєднання створює передумови для перенесення сформованих умінь у реальну навчально-тренувальну діяльність.

Формування комунікативно-емоційної компетентності майбутніх тренерів-викладачів має спиратися на взаємодію сучасних педагогічних підходів, а не на механічне накопичення окремих методів. Практична спрямованість, урахування особистості здобувача, моделювання професійних ситуацій, рефлексія та обґрунтоване використання цифрових засобів забезпечують цілісність цього процесу. Перспективу подальшого дослідження вбачаємо в конкретизації педагогічних умов реалізації визначених підходів та розробленні критеріїв, показників і рівнів сформованості комунікативно-емоційної компетентності майбутніх тренерів-викладачів.

Література

[1]. Грибан Г. П. Професійно-комунікативна компетентність як одна з вимог формування особистості сучасного тренера. Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15. Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт). 2023. Вип. 3К(162). С. 107–113. DOI: https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.3K(162).22

[2]. Liu Han. Особливості формування комунікативної готовності майбутніх фахівців фізичної культури і спорту до професійної діяльності. Вісник науки та освіти. 2024. № 6 (24). С. 417–427. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6165-2024-6 (24)-417-427

[3]. Шукатка О., Конох А., Мосейчук Ю., Борисевич Л. До проблеми формування комунікативної компетентності майбутніх фахівців фізичної культури у закладах вищої освіти. Освіта. Інноватика. Практика. 2025. Т. 13, № 5. С. 100–105. DOI: https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol13i5-015

[4]. Zajonz P., Lautenbach F., Laborde S. Emotional intelligence training for sports coaches – evaluation of a time-effective online intervention and its effects on coaching efficacy. Journal of Applied Sport Psychology. 2024. Vol. 36, No. 5. P. 722–739. DOI: https://doi.org/10.1080/10413200.2023.2296911

[5]. Ding C., Nash C. Emotional Intelligence (EI) in soccer coaching: A review. International Journal of Coaching Science. 2026. Vol. 20, No. 1. P. 159–188. DOI: https://doi.org/10.47684/IJCS.2026.20.1.159

MODERN APPROACHES TO DEVELOPING COMMUNICATIVE AND EMOTIONAL COMPETENCE OF FUTURE COACH-INSTRUCTORS

Riabchuk Roman Olehovych, Mykhalchenko Nataliia Vyacheslavivna

V. O. Sukhomlynskyi Educational and Scientific Pedagogical Institute

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Modern approaches to developing communicative and emotional competence of future coach-instructors in professional training are systematized. The complementary roles of competence-based, learner-centred, activity-contextual, reflective and integrative approaches are substantiated. It is shown that professional situation modelling, emotional self-regulation, systematic feedback and reflective use of digital tools should be combined rather than applied in isolation. The proposed synthesis is aimed at transferring communicative and emotional skills to real and simulated coaching and educational interactions.

Keywords: communicative and emotional competence; future coach-instructors; professional training; modern approaches; emotional self-regulation; pedagogical interaction.

УДК 376.37:373.2

НЕЙРОГІМНАСТИКА ЯК СУЧАСНИЙ ЗАСІБ РОЗВИТКУ МОВЛЕННЄВИХ ФУНКЦІЙ У ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ

Демиденко Т.А.,
Начальник відділу департаменту освіти і науки Миколаївської ОВА, Миколаїв, Україна
demiden@ukr.net

Анотація. У тезах розглянуто нейрогімнастику як сучасний засіб комплексного розвитку мовленнєвих функцій у дітей дошкільного віку. Проаналізовано її вплив на міжпівкульну взаємодію, сенсомоторну координацію, увагу, пам'ять, когнітивні та виконавчі функції, що є важливими передумовами формування мовлення. Обґрунтовано доцільність систематичного використання нейрогімнастичних вправ в освітній та корекційно-розвитковій роботі з дошкільниками. Визначено перспективність нейрогімнастики як допоміжного інструменту для стимулювання мовленнєвого, когнітивного та моторного розвитку дитини.

Ключові слова: нейрогімнастика, мовленнєві функції, діти дошкільного віку, міжпівкульна взаємодія, мовленнєвий розвиток.

Сучасний етап розвитку дошкільної освіти характеризується посиленням уваги до пошуку ефективних засобів розвитку мовлення та забезпечення гармонійного психофізичного розвитку дитини. Мовленнєві функції є важливою складовою загального розвитку дошкільника, оскільки забезпечують можливість комунікації, засвоєння знань, регуляції поведінки та успішної взаємодії з оточенням. Водночас формування мовлення тісно пов'язане з розвитком пізнавальних процесів, довільної уваги, пам'яті, моторної координації та міжпівкульної взаємодії.

Сучасний розвиток спеціальної педагогіки, логопедії та нейропсихології характеризується активним пошуком інноваційних методів, спрямованих на комплексний розвиток дитини дошкільного віку. Зростання кількості дітей із порушеннями мовленнєвого розвитку, недостатньою сформованістю когнітивних процесів, труднощами концентрації уваги, координації рухів та міжпівкульної взаємодії зумовлює необхідність упровадження ефективних корекційно-розвиткових технологій, які забезпечують всебічний вплив на психічний і мовленнєвий розвиток дитини.

Одним із перспективних напрямів сучасної логопедичної практики є використання нейрогімнастики. Вона являє собою систему спеціально організованих рухових вправ, спрямованих на стимуляцію роботи головного мозку, розвиток міжпівкульної взаємодії, удосконалення сенсомоторної координації, просторового орієнтування, уваги, пам'яті, мислення та інших психічних функцій, які безпосередньо пов'язані з формуванням мовлення. На відміну від традиційних методів розвитку мовлення, нейрогімнастика забезпечує комплексний вплив на нейропсихологічні механізми, що лежать в основі мовленнєвої діяльності.

На думку І. Фурси, нейрогімнастика розглядається як комплекс цілеспрямовано підібраних вправ, виконання яких забезпечує одночасне залучення рухової активності та когнітивних функцій. На відміну від звичайних фізичних вправ і традиційної пальчикової гімнастики, нейрогімнастичні завдання ґрунтуються на виконанні скоординованих рухів, що вимагають від дитини зосередженості, здатності швидко переключати увагу між різними видами діяльності, узгодженої роботи обох рук, дотримання певної послідовності дій, а також орієнтування у просторі [4].

За дослідженням К. Вариводи, у сучасній науковій літературі нейрогімнастика визначається як комплекс рухових і когнітивних вправ, спрямованих на стимулювання пізнавальної активності та оптимізацію функціонування головного мозку. Її застосування передбачає цілеспрямоване формування й зміцнення міжнейронних зв'язків, а також розвиток уваги, пам'яті, координації рухів, мислення та інших психічних функцій завдяки систематичному виконанню спеціально розроблених вправ [1].

Як зазначає Н. Левандовська, комплекс нейропсихологічних вправ спрямований на комплексний розвиток функціональних систем головного мозку, що лежать в основі мовленнєвої, пізнавальної та рухової активності дитини. Їх систематичне використання сприяє вдосконаленню міжпівкульної взаємодії, розвитку моторних навичок і сенсомоторної інтеграції, покращенню зорово-моторної координації, просторового орієнтування, пам'яті та гностичних процесів. Крім того, виконання нейропсихологічних завдань може позитивно позначатися на розвитку номінативної функції мовлення, регуляції мовленнєвої діяльності, виконавчих функцій і загального інтелектуального потенціалу дітей дошкільного віку [3].

Цікавою є думка, що одним із ключових напрямів нейрогімнастики є активізація узгодженої роботи правої та лівої півкуль головного мозку за допомогою спеціально розроблених вправ. У процесі їх виконання одночасно задіюються різні сенсорні системи дитини, зокрема рухова, зорова, слухова та

пропріоцептивна, завдяки чому забезпечується комплексний вплив на мозкову активність. Така взаємодія сприяє вдосконаленню міжпівкульних зв'язків, оптимізації процесів сприймання й обробки інформації, розвитку рухової координації, уваги, пам'яті та виконавчих функцій. Систематичне застосування нейрогімнастичних вправ спрямоване на формування та зміцнення нейронних зв'язків, що створює сприятливі умови для когнітивного, моторного й мовленнєвого розвитку дітей дошкільного віку [5].

Як дослідила К. Кирилюк, пмрактичний досвід використання нейрогімнастичних вправ свідчить про їх позитивний вплив на розвиток когнітивної сфери дітей. Систематичне виконання таких вправ сприяє підвищенню розумової працездатності, покращенню концентрації та стійкості уваги, розвитку пам'яті, оптимізації процесів сприймання й обробки інформації, а також удосконаленню взаємодії між півкулями головного мозку. Крім того, нейрогімнастика активізує функціонування різних мозкових [2].

На нашу думку, нейрогімнастика є перспективним засобом комплексного розвитку дітей дошкільного віку, оскільки поєднує рухову та когнітивну активність і спрямована на оптимізацію функціонування різних систем головного мозку. Виконання спеціально підібраних вправ забезпечує одночасне залучення рухового, зорового, слухового та пропріоцептивного аналізаторів, що сприяє вдосконаленню міжпівкульної взаємодії, сенсомоторної інтеграції, координації рухів, уваги, пам'яті та виконавчих функцій.

Особливе значення нейрогімнастика має для розвитку мовленнєвих функцій, оскільки формування мовлення тісно пов'язане з розвитком когнітивних, моторних і регуляторних процесів. Систематичне використання нейрогімнастичних вправ може створювати сприятливі умови для вдосконалення процесів сприймання й обробки інформації, регуляції мовленнєвої діяльності, розвитку номінативних процесів та інших компонентів мовленнєвої функціональної системи. Отже, нейрогімнастика може розглядатися як сучасний допоміжний засіб у роботі з дітьми дошкільного віку, який варто використовувати в освітній, розвивальній та корекційно-розвитковій практиці.

Література

[1] Варивода К. Нейрогімнастика як ефективний метод покращення когнітивних функцій школярів: аналітичний огляд. *Scientia et societus*. 2023. № 3. С. 115-122.

[2] Кирилюк К. Нейрогімнастика для першокласника: які вправи використовувати. *Всеосвіта.* URL: https://vseosvita.ua/c/pedagogy/post/45298 (дата звернення: 15.09.2026).

[3] Левандовська Н. Впровадження нейропідходу у сучасній логопедії. Рекомендовано до поширення в мережі Інтернет науково-технічною радою Мукачівського державного університету (протокол № 9 від 21 листопада 2024 р.). С . 276.

[4] Фурса І. Нейрогімнастика для дітей: вправи для розвитку мовлення. URL: https://logoped.clinic/uk/nejrogimnastika-dlya-ditej-vpravi-dlya-rozvitku-movlennya/ (дата звернення: 13.09.2026).

[5] Що таке нейрогімнастика і чому її варто робити з дітьми? Prana School. URL: https://prana.dp.ua/blog/shcho-take-neirohimnastyka-i-chomu-ii-varto-robyty/ (дата звернення: 14.09.2026).

NEUROGYMNASTICS AS A MODERN METHOD FOR DEVELOPING SPEECH FUNCTIONS IN PRE-SCHOOL CHILDREN

Demydenko T. A.

Head of the Department for Regional General Secondary Education Institutions and Inclusive Education, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines neurogymnastics as a modern method for the comprehensive development of speech functions in pre-school children. It analyses its impact on interhemispheric interaction, sensorimotor coordination, attention, memory, cognitive and executive functions, which are important prerequisites for speech development. The paper justifies the use of neurogymnastics exercises in educational and remedial-developmental work with pre-school children. It highlights the potential of neurogymnastics as a supplementary tool for stimulating a child's speech, cognitive and motor development.

Keywords: neurogymnastics, speech functions, pre-school children, interhemispheric interaction, speech development.

УДК 378(477.73)(091)«1991/2010»

ВИЩА ОСВІТА НА МИКОЛАЇВЩИНІ В 1990-Х – НА ПОЧАТКУ 2000-Х РР.

Жданов В.В.,
аспірант кафедри педагогіки та освітнього менеджменту
Навчально-наукового педагогічного інституту імені В. О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
djadjapudja@gmail.com

Анотація. У статті висвітлено основні напрями розвитку вищої освіти Миколаївщини після проголошення незалежності України. Розглянуто процес акредитації навчальних закладів, зміну їхнього статусу, розширення мережі університетів, інститутів, коледжів, філій і навчально-наукових центрів. Охарактеризовано реорганізацію Миколаївського кораблебудівного інституту в Український державний морський технічний університет та подальше надання йому статусу національного. Простежено основні етапи трансформації Миколаївського державного педагогічного інституту, розвиток Миколаївського сільськогосподарського інституту та діяльність Миколаївського політехнічного коледжу. Висвітлено зміни в організації вступу, підготовці фахівців, матеріально-технічному забезпеченні й науковій роботі закладів освіти. Встановлено, що протягом першої половини 1990-х рр. розвиток вищої школи регіону ускладнювався економічною кризою, безробіттям і скороченням студентського контингенту. Із другої половини десятиліття освітня мережа Миколаївщини почала активно розширюватися, що сприяло посиленню конкуренції між навчальними закладами, урізноманітненню напрямів підготовки та формуванню Миколаєва як важливого освітнього і наукового центру Півдня України.

Ключові слова: акредитація, вища освіта, заклади вищої освіти, Миколаївщина, освітня мережа, університетська освіта.

Після проголошення незалежності України в системі вищої освіти розпочалися масштабні перетворення. Одним із перших етапів реорганізації стала акредитація закладів, за результатами якої підтверджувався або переглядався їхній статус.

Першим миколаївським закладом вищої освіти, який успішно пройшов акредитацію та набув університетського статусу, став кораблебудівний інститут. У 1994 р. відповідно до рішення Кабінету Міністрів України Миколаївський кораблебудівний інститут ім. адмірала С. О. Макарова реорганізовано в Український державний морський технічний університет [1, с. 550].

Подальше підвищення статусу закладу пов’язане із загальнодержавним і міжнародним визнанням результатів його діяльності, а також вагомим внеском у розвиток української освіти та науки. Указом Президента України від 25 березня 2004 р. університету надано статус національного. Після цього він отримав назву Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Важливі перетворення відбувалися і в системі педагогічної освіти регіону. У 1996 р. за рішенням Міжгалузевої акредитаційної комісії Міністерства освіти України Миколаївський державний педагогічний інститут внесено до державного реєстру навчальних закладів, які мали право здійснювати підготовку фахівців за різними напрямами. У 1999 р. інститут реорганізували в педагогічний університет, а у 2002 р. заклад набув статусу державного університету. Наступного року університету присвоєно ім’я видатного українського педагога Василя Олександровича Сухомлинського [3 ,с. 104]. Зважаючи на наявний науковий потенціал і здобутки його вчених, у грудні 2009 р. наказом Міністерства освіти і науки України університет включено до переліку закладів вищої освіти, у яких проводився експеримент із підготовки вчителів за інноваційними технологіями. 21 серпня 2010 р. заклад отримав статус національного університету [8, с. 285].

Серед нововведень, які запроваджувалися у вищій школі, важливе місце посідали тестування вступників і перегляд правил прийому. Здійснення цих заходів мало забезпечити якомога об’єктивніше оцінювання рівня знань абітурієнтів і студентів.

Водночас розвиток вищої освіти протягом першої половини 1990-х рр. супроводжувався поступовим скороченням кількості студентів. Така тенденція зумовлена економічною кризою, поширенням безробіття та обмеженими можливостями працевлаштування після завершення навчання [7, с. 263].

У другій половині 1990-х рр. освітня ситуація почала змінюватися: відкривалися нові навчальні заклади та факультети. Одночасно посилювалося значення вищої освіти в житті суспільства. Збільшення кількості людей з вищою освітою набувало особливої актуальності в умовах переходу людства до використання новітніх інформаційних технологій.

Розширення мережі освітніх установ на Миколаївщині розпочалося вже в першій половині 1990-х рр. У 1993 р. в Миколаєві відкрито навчально-промисловий центр міжнародного туризму і

менеджменту. У березні 1995 р. навчально-консультативний центр перетворився на філію Київського слов'янського університету. Ще однією важливою подією стало урочисте посвячення у студенти перших 175 першокурсників Миколаївської філії НаУКМА, яке відбулося 1 вересня 1996 р. Того самого року в обласному центрі розпочав роботу навчально-науковий центр Одеського державного університету ім. І. І. Мечникова [4, с. 153].

Нові освітні структури виникали не лише в Миколаєві. У 1995 р. в Первомайську відкрито філію Кіровоградського інституту регіонального управління та економіки. Станом на 2000 р. у місті вже нараховувалося шість закладів вищої освіти.

Упродовж 1999–2000 навчального року на території Миколаївщини функціонувало 25 вищих навчальних закладів. До їх числа належали Український державний морський технічний університет, педагогічний університет, аграрна академія, а також вісім філій і факультетів інших закладів. Серед них діяли підрозділи Національного університету «Києво-Могилянська академія», Київського слов'янського університету, Одеської юридичної академії, Одеського державного університету ім. І. І. Мечникова, Київського державного університету культури та інших установ [5, с. 128].

Таким чином, перша половина 1990-х рр. стала для вищої освіти Миколаївщини складним періодом, що, зокрема, виявилося у скороченні студентського контингенту. Із 1996 р. становище почало поступово поліпшуватися. Позитивним наслідком розширення освітньої мережі стало формування конкуренції між навчальними закладами, яка сприяла вдосконаленню системи освіти та поліпшенню умов навчання.

Помітні зміни відбувалися і в Миколаївському сільськогосподарському інституті, який у 1994–1995 навчальному році розвивався як сучасний на той час заклад вищої освіти. У його навчальних корпусах обладнано лекційні аудиторії та приміщення для проведення практичних, семінарських і лабораторних занять. На всіх факультетах діяли спеціалізовані лабораторії, оснащені необхідним устаткуванням і різноманітними приладами. Факультет механізації сільського господарства мав парк сільськогосподарської техніки й таксопарк. Під час навчання студенти могли додатково опанувати найбільш поширені робітничі професії. Основні зусилля науковців закладу були зосереджені на продовженні досліджень, започаткованих у попередні роки, та пошуку способів розв'язання нових проблем сільськогосподарського виробництва [2, с. 84].

Окреме місце в системі професійної освіти регіону посідав Миколаївський політехнічний коледж, який підпорядковувався Міністерству освіти України. Заклад щороку випускав фахівців із суднокорпусобудування, суднових машин і механізмів, монтажу електроустаткування й автоматики суден, монтажу та експлуатації електрообладнання підприємств і цивільних споруд. Також у коледжі здійснювалася підготовка спеціалістів із технічного обслуговування верстатів із програмним управлінням і робототехнічних комплексів, обробки матеріалів на верстатах та автоматичних лініях, програмування для ЕОМ і автоматизованих систем, бухгалтерського обліку й аудиту [6, с. 113].

Отже, початок 1990-х рр. став важливим етапом трансформації системи вищої освіти Миколаївщини. Акредитація навчальних закладів, зміна їхнього статусу, оновлення напрямів підготовки та поступове розширення освітньої мережі заклали підґрунтя для подальшого розвитку університетської освіти в регіоні. Водночас економічна криза, безробіття та труднощі з працевлаштуванням випускників спричинили скорочення студентського контингенту й ускладнили процес реформування вищої школи.

Із другої половини 1990-х рр. ситуація поступово стабілізувалася. Відкриття філій і навчально-наукових центрів, підвищення статусу провідних миколаївських закладів освіти, модернізація їхньої матеріальної бази та посилення конкуренції сприяли розширенню можливостей для здобуття вищої освіти. Таким чином, започатковані в перші роки незалежності перетворення визначили основні напрями подальшого розвитку Миколаївщини як важливого освітнього і наукового центру Півдня України.

Література

[1] Історія рідного краю: Миколаївщина / М. М. Шитюк (кер. авт. кол.), О. О. Баковецька, Н. М. Буглай та ін. Миколаїв : Іліон, 2015. 62 с.

[2] Миколаївський державний аграрний університет. Миколаїв: Дизайн та поліграфія, 2009. 188 с.

[3] Миколаївський державний університет імені В. О. Сухомлинського: віхи історії (1913–2008): монографія / Укл.: В. Д. Будак, Л. В. Старовойт, О. П. Хаєцький, С. В. Підопригора. Миколаїв: Іліон, 2009. 184 с.

[4] Миколаївщина: шляхами тисячоліть: обл. наук.-практ. конф., присвяч. 70-річчю утворення Миколаївської області, 15 вересня 2007 р. / Ред. кол.: О. М. Гаркуша (гол.) та ін. Миколаїв, 2007. 22 с.

[5] Павлик І. С., Тригуб П. М., Білюк О. В. Історія Миколаївщини. Миколаїв: Вид-во УДМТУ, 1996. 21 с.

[6] Соболь П. І. Нариси історії Миколаївщини XX століття. Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2005. 15 с.

[7] Шкварець В. П. Історія рідного краю. Миколаївщина: погляд крізь віки. Миколаїв, 2002. 37 с.

[8] Шкварець В. П., Мельник М. Ф. Миколаївщина: погляд крізь століття. Нарис історії. Миколаїв, 1994. 38 с.

HIGHER EDUCATION IN THE MYKOLAIV REGION DURING THE 1990s AND EARLY 2000s

Zhdanov V. V.
V. O. Sukhomlinskyi Educational and Research Pedagogical Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article examines the main trends in the development of higher education in the Mykolaiv Region following Ukraine's declaration of independence. It considers the accreditation of educational institutions, changes in their status, and the expansion of the network of universities, institutes, colleges, branches, and educational and research centres. The reorganisation of the Mykolaiv Shipbuilding Institute into the Ukrainian State Maritime Technical University and its subsequent acquisition of national university status are described. The main stages in the transformation of the Mykolaiv State Pedagogical Institute, the development of the Mykolaiv Agricultural Institute, and the activities of the Mykolaiv Polytechnic College are traced. Changes in admission procedures, professional training, material and technical facilities, and the research activities of educational institutions are highlighted. It is established that during the first half of the 1990s, the development of higher education in the region was complicated by the economic crisis, unemployment, and a decline in student enrolment. From the second half of the decade, the educational network of the Mykolaiv Region began to expand rapidly, contributing to greater competition among educational institutions, the diversification of fields of study, and the establishment of Mykolaiv as an important educational and research centre in Southern Ukraine.

Keywords: accreditation, educational network, higher education, higher education institutions, Mykolaiv Region, university education.

UDC 629.5.072:004.946

VIRTUAL REALITY AS A MEANS OF TRANSITIONING FROM THEORETICAL TRAINING TO THE DEVELOPMENT OF PRACTICAL COMPETENCIES FOR SHIPBOARD PERSONNEL

Kyrychenko K.V.,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Department of Navigation and Ship Handling
Kherson State Maritime Academy, Ukraine, Odesa
kvklecturer@gmail.com

Abstract. The quality of seafarer training is a crucial factor in maritime safety, particularly given current personnel shortages and the significant impact of the human factor on maritime incidents. Traditional training methods do not always ensure an adequate level of practical skills and situational awareness among navigators. The use of VR technologies enables the simulation of realistic navigational scenarios, integrates cognitive, behavioral, and emotional training components, and fosters practical competencies. An immersive VR environment can serve as an effective tool for enhancing professional seafarer training and improving maritime safety.

Keywords: ship navigation, maritime training, seafarers, virtual reality, immersive technologies, VR training, human factor, maritime safety.

The quality of professional training for seafarers is a critical factor in ensuring the resilience of global logistics chains, given that maritime transport accounts for over 90 % of global trade. However, the industry is currently facing a severe shortage of personnel. To ensure the stable operation of the merchant fleet, the sector requires the recruitment of an additional 17,902 officers annually by 2026. This pressure drives an accelerated pace of career advancement, critically reducing the time available for developing practical skills and consolidating experience.

Major maritime accidents–most notably the *Costa Concordia* disaster–have drawn significant attention to safety issues, demonstrating that even with modern technical equipment, navigational safety relies heavily on human actions. In this context, the human factor is viewed as a key element influencing the onset and progression of accidents. Errors in decision-making, poor crew coordination, violations of established procedures, inadequate risk assessment, or a lack of emergency preparedness can significantly exacerbate the consequences of an accident.

A high level of professional crew competence serves as a vital tool for mitigating the impact of the human factor. Seafarer training must go beyond imparting knowledge of regulatory requirements and technical procedures; it must also foster the practical skills essential for effective vessel operation, emergency response, and crew interaction. For this reason, issues regarding the education, professional training, and competence of personnel play a crucial role in the maritime safety system [1].

Under these conditions, traditional academic methods reveal their limitations: data indicates [2] that over 80 % of maritime incidents are driven by the human factor, with approximately 40 % of errors directly linked to a lack of simulator-based training [3]. The role of the IMO Sub-Committee on Human Element, Training and Watch keeping in standardizing training is becoming increasingly significant, as maritime safety demands a shift from passive knowledge acquisition to immersive methods capable of intensifying cognitive learning processes.

The effectiveness of a ship navigator's training is determined by the accuracy with which they construct mental models of complex technical systems. Traditional training often relies on abstract concepts found in textbooks, forcing cadets to independently construct 3D mental images from flat visuals. In contrast, VR technologies enable the integration of cognitive, behavioral, and emotional learning into a unified cycle [4].

Unlike partial-immersion navigation simulators, fully immersive systems engage the emotional learning system a key factor in developing situational awareness under stressful conditions.

Conclusions. Virtual reality is the most effective tool for mitigating the negative impact of the human factor in maritime education. The implementation of specialized VR models fosters a stable professional identity among cadets through the effects of depersonalization and the modification of self-awareness within the virtual space.

References

[1] Gundić A., Vujičić S., Maglić L., Grbić L. Reducing a Human Factor in Cruise Ships Accidents by Improving Crew Competences. Scientific Journal of Maritime Research. 2021. Vol. 15, No. 2, P. 415–421. https://doi.org/10.12716/1001.15.02.20.

[2] Miyusov, M. V., Nikolaieva, L. L. and Smolets, V. V. The Future Perspectives of Immersive Learning in Maritime Education and Training. Transactions on Maritime Science. Split, Croatia, 2022, 11 (2). https://doi.org/10.7225/toms.v11.n02.014.

[3] Sánchez-Beaskoetxea J., Basterretxea-Iribar I., Sotés I., Maruri Machado M. d. l. M. Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame? Maritime Transport Research. 2021. Vol. 2. Article 100016. https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100016.

[4] Lieder F., Griffiths T. L. Resource-rational analysis: Understanding human cognition as the optimal use of limited computational resources. Behavioral and Brain Sciences. 2020. Vol. 43. Article e1. P. 1–60. https://doi.org/10.1017/S0140525X1900061X.

УДК 78.03:37.036:378

СУЧАСНА РОК-МУЗИКА У ФОРМУВАННІ ЕСТЕТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ

Щербак І.В.,
кандидат педагогічних наук, доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
shcher.i.v@gmail.com

Анотація. Тези присвячені визначенню особливостей та потенціалу сучасної рок-музики у формуванні естетичної культури студентської молоді. Розглянуто естетичну культуру як важливу складову особистісного розвитку та визначено роль музичного мистецтва у формуванні естетичного сприймання, художнього смаку та здатності до оцінювання мистецьких явищ. Окреслено соціокультурне значення рок-музики та обґрунтовано педагогічні можливості її використання в освітньому середовищі закладу вищої освіти.

Ключові слова: рок-музика, естетична культура, студентська молодь, музичне мистецтво, естетичне сприймання, музичний смак.

Вступна частина. Сучасна студентська молодь перебуває в умовах активного розвитку музичного та цифрового культурного середовища, що істотно впливає на її естетичні орієнтації, музичні уподобання та способи самовираження. Важливим складником цього середовища є рок-музика, яка поєднує художньо-естетичний зміст із можливостями емоційного та творчого самовираження особистості. У цьому контексті актуальним є розгляд сучасної рок-музики не лише як різновиду популярного музичного мистецтва, а і як потенційного чинника формування естетичної культури студентської молоді.

Мета роботи полягає у визначенні особливостей та потенціалу сучасної рок-музики у формуванні естетичної культури студентської молоді.

Основна частина. Естетична культура особистості виявляється у здатності емоційно сприймати, оцінювати та осмислювати явища дійсності та мистецтва з позицій естетичних цінностей. Її формування

передбачає не лише засвоєння певної сукупності художніх знань, а й розвиток естетичних потреб, почуттів, смаків, оцінок і здатності до творчої діяльності. Важливим чинником цього процесу є активне ставлення особистості до естетичних цінностей, що передбачає їх свідоме сприймання, переживання та осмислення [2, с. 247]. Зважаючи на це, студентський вік є періодом розвитку естетичної культури, оскільки саме в цей час відбувається активне формування культурних орієнтирів, музичних уподобань та критеріїв оцінювання мистецьких явищ.

Особливе значення у цьому процесі належить музичному мистецтву, яке безпосередньо впливає на емоційну сферу людини та створює умови для індивідуального естетичного переживання. Музичне сприймання не зводиться до пасивного слухання, а передбачає взаємодію емоцій, почуттів, думок та особистого досвіду слухача. Саме через таку взаємодію формується естетичний досвід та виникає осмислення художньої цінності музичного твору [5, с. 268].

Водночас музичні уподобання студентської молоді не завжди ґрунтуються на усвідомлених художньо-естетичних критеріях, що актуалізує потребу розвитку здатності молодої людини орієнтуватися в різноманітті музичних цінностей та критично оцінювати їх. Отже, значущість музичного мистецтва у формуванні естетичної культури визначається не лише його емоційним впливом, а й можливістю розвивати художній смак, естетичне сприймання та здатність до свідомої оцінки мистецьких явищ.

Важливою складовою сучасної музичної культури є рок-музика, що поєднує музичні характеристики з ширшим соціокультурним змістом. Як узагальнена назва низки напрямів популярної музики, рок сформувався на основі рок-н-ролу та ритм-енд-блюзу і характеризується виразною ритмікою, специфічним звучанням і переважно колективною формою виконання [3, с. 215]. Однак його значення для молодіжної культури визначається не лише музично-стильовими особливостями. Рок історично пов’язаний із потребами, цінностями та самовираженням молодого покоління, що зумовило його розгляд не тільки як музичного жанру, а й як соціокультурного феномену [4, с. 2].

Потенціал рок-музики доцільно пов’язувати передусім із можливістю розвитку усвідомленого музичного сприймання та оцінювання. Різноманітність стильових напрямів року створює умови для порівняння музичних творів за характером звучання, художньою виразністю, змістом та виконавською майстерністю. Популярність музичного продукту сама по собі не є показником його художньої цінності, тому важливим завданням музично-естетичного виховання є формування здатності розрізняти мистецькі явища, аргументовано оцінювати їх та усвідомлювати власні музичні уподобання [1, с. 241–242].

Особливості сучасної рок-музики – емоційна виразність, стильова різноманітність, поєднання музичного й текстового компонентів та орієнтація на творче самовираження – створюють передумови для різних форм естетичної взаємодії студентської молоді з музичним мистецтвом. Її потенціал полягає у можливості не лише викликати емоційний відгук, а й стимулювати осмислення змісту музичного твору, аналіз його художніх засобів, формування власних критеріїв оцінювання та розвиток творчої активності. Таким чином, вважаємо, що естетичний вплив рок-музики доцільно пов’язувати не з самим фактом її слухання, а з характером взаємодії особистості з музичним матеріалом.

Такий підхід дає змогу розглядати сучасну рок-музику не лише як об’єкт споживання, а як можливий ресурс естетичного розвитку особистості. Її емоційна насиченість, різноманітність стилістичних засобів та орієнтація на самовираження можуть стимулювати емоційний відгук, творчість і формування власного художнього смаку за умови активного та критичного сприймання музичного матеріалу. У цьому аспекті важливою є роль освітнього середовища, у якому студент не просто знайомиться з популярними музичними творами, а навчається аналізувати їх художню своєрідність, співвідносити різні музичні явища та обґрунтовувати власні естетичні оцінки [4, с. 2–4].

Педагогічний потенціал рок-музики може реалізовуватися за умови її включення в активну освітню та мистецьку діяльність студентів. Доцільним є аналіз та обговорення музичних творів, порівняння різних стильових напрямів, визначення художніх і виражальних засобів, аргументоване оцінювання музичного матеріалу, а також залучення студентів до концертної та творчої діяльності. Все це відповідає розумінню музичного мистецтва як засобу формування особистості та необхідності розвитку у студентської молоді здатності орієнтуватися в різноманітті музичних цінностей [1; 4].

Особливого значення набуває не нав’язування певних музичних уподобань, а створення умов для усвідомленого вибору та естетичного оцінювання. Знайомство з різними зразками рок-музики, їх порівняльний аналіз, обговорення змісту та художньої виразності, виконання музичних творів і підготовка творчих проєктів можуть сприяти розвитку музичного смаку, емоційної культури, творчого самовираження та здатності аргументовано формулювати власне естетичне ставлення до музики.

Висновки. Отже, сучасна рок-музика є вагомою складовою музичного та соціокультурного середовища студентської молоді, що вирізняється стильовою різноманітністю, емоційною виразністю та значним потенціалом для творчого самовираження. Її використання в освітньому середовищі ЗВО може сприяти розвитку музичного смаку, естетичного сприймання, емоційної культури та здатності студентів до аргументованої оцінки мистецьких явищ. Разом з тим її естетично-виховний потенціал реалізується не

через пасивне споживання музичного продукту, а завдяки його усвідомленому сприйманню, аналізу, порівнянню та включенню студентів у різні форми творчої діяльності. Таким чином, рок-музику доцільно розглядати не лише як різновид популярної музики, а як складову сучасного культурного середовища студентської молоді та потенційний засіб формування її естетичної культури, за умови педагогічно обґрунтованого її використання в освітньому процесі.

Література

[1]. Бурлака Ю. С. Проблема використання молодіжної музичної субкультури в естетичному вихованні студентів університетів. *Педагогічні науки.* 2011. № 58, т. 1. С. 239–243. URL: https://ps.journal.kspu.edu/index.php/ps/uk/article/view/3865 (дата звернення: 18.09.2026).

[2]. Луцюк Ю. Формування естетичної культури студентів у процесі викладання мистецтва. *Методологічні та методичні проблеми викладання у сучасному освітньому процесі* : матеріали XI наук.-практ. інтернет-конф., 24 листоп. 2021 р. Луцьк : КЗВО «Луцький педагогічний коледж», 2021. С. 246–248. URL: https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2023/05/kaf-unesco-stud-zb-5.pdf#page=247 (дата звернення: 20.09.2026).

[3]. Мостова С. Рок-музика: походження та перспективи розвитку. *Новітні дослідження культури і мистецтва: пошуки, проблеми, перспективи* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 18 трав. 2023 р. Київ : НАКККіМ, 2023. С. 215–217. URL: https://elib.nakkkim.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4958/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%2018%2005%202023.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=215 (дата звернення: 23.09.2026).

[4]. Сідлецька Т. Формування музично-естетичних орієнтацій студентської молоді. *Інституційний репозитарій ВНТУ*. 2010. С. 1–5. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/12934 (дата звернення: 21.09.2026).

[5]. Швець Н. Музика як частина глобальної цифрової екосистеми: трансформація естетичного сприйняття. *Київське музикознавство*. 2026. № 5. С. 267–277. DOI: https://doi.org/10.33643/kmus.2026.05.82 (дата звернення: 19.09.2026).

CONTEMPORARY ROCK MUSIC IN THE FORMATION OF THE AESTHETIC CULTURE OF UNIVERSITY STUDENTS

Shcherbak Ihor

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article focuses on identifying the specific features and potential of contemporary rock music in the formation of the aesthetic culture of university students. Aesthetic culture is considered as an important component of personal development, and the role of musical art in developing aesthetic perception, artistic taste, and the ability to evaluate artistic phenomena is determined. The sociocultural significance of rock music is outlined, and the pedagogical potential of its use in the educational environment of higher education institutions is substantiated.

Keywords: rock music, aesthetic culture, university students, musical art, aesthetic perception, musical taste.

УДК 37.018.43

ДИСТАНЦІЙНЕ НАВЧАННЯ УКРАЇНСЬКИХ ШКОЛЯРІВ ЗА КОРДОНОМ ПІД ЧАС ВІЙНИ: ОСВІТНІ ВИКЛИКИ

Глубоченко К.О.,

кандидат наук з державного управління,

доцент кафедри економіки Херсонського навчально-наукового інституту

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

kateryna.hlubochenko@nuos.edu.ua

Анотація. Повномасштабна війна в Україні спричинила масштабне переміщення дітей шкільного віку за межі країни та суттєво змінила умови реалізації їхнього права на освіту. Для значної частини українських школярів, які перебувають за кордоном, дистанційне навчання в українських закладах освіти стало механізмом збереження зв'язку з національною освітньою системою, українською мовою та культурою. Водночас поєднання навчання в українській школі онлайн із навчанням у школі країни перебування створює низку освітніх, психологічних, організаційних і технологічних викликів. У тезах

розглянуто основні проблеми дистанційного навчання українських школярів за кордоном та обґрунтовано необхідність подальшої системної підтримки дистанційної української освіти як важливого ресурсу збереження людського капіталу та освітньої безперервності в умовах війни.

Ключові слова: дистанційне навчання; українські діти за кордоном; освітня міграція; освітня інтеграція; українська школа; людський капітал.

Повномасштабне вторгнення Російської Федерації в Україну спричинило одну з найбільших хвиль вимушеної міграції населення в сучасній історії Європи. Значну частину вимушених мігрантів становлять діти та підлітки шкільного віку. Їхнє переміщення за кордон поставило перед українською системою освіти нове стратегічне завдання – забезпечити можливість продовження навчання та зберегти зв'язок дітей з українським освітнім і культурним простором навіть за умов їхнього тривалого перебування поза межами країни.

На початковому етапі повномасштабної війни дистанційне навчання переважно розглядалося як вимушений інструмент забезпечення безперервності освіти. Проте в умовах тривалої війни його значення істотно розширилося. Для дітей, які виїхали за кордон, українська дистанційна школа може виконувати функцію освітнього «містка» між країною походження та країною тимчасового проживання. Вона дає можливість продовжувати вивчення української мови, історії, культури та інших компонентів української освітньої програми, підтримувати контакти з українськими однолітками й педагогами та зберігати можливість повернення до української системи освіти.

Водночас дистанційне навчання за кордоном не є простим продовженням довоєнної моделі онлайн освіти, що була розвинута в часи пандемії. Наразі українські школярі опиняються у ситуації подвійної освітньої інтеграції: вони одночасно залучені до освітнього середовища країни перебування та підтримують навчання в українській школі. Це створює додаткове навантаження та потребує пошуку нових організаційних і педагогічних моделей.

Саме тому метою цієї роботи є аналіз викликів, пов'язаних з підтримкою дистанційного навчання українських школярів за кордоном необхідністю подальшої системної підтримки дистанційної української освіти як важливого ресурсу збереження людського капіталу та освітньої безперервності в умовах війни.

Одним із ключових викликів даної ситуації є поєднання двох освітніх систем. Українські діти, які перебувають за кордоном, у багатьох випадках навчаються у місцевих школах, де освітній процес відбувається мовою країни перебування, відповідно до її навчальних програм і вимог. Паралельно частина дітей продовжує навчання в українських закладах дистанційно. Відмінності у навчальних програмах, розкладі, системах оцінювання та вимогах до учнів можуть призводити до значного навчального навантаження [1]. Особливо складною є ситуація для підлітків старшого шкільного віку, оскільки саме в цей період зростає інтенсивність профільного навчання, відбувається професійне самовизначення та формується освітня траєкторія, пов'язана з майбутнім вступом до закладу вищої освіти. Piotrowska (2024), аналізуючи досвід українських школярів закордоном, зазначає, українські навчальні заклади через дистанційне навчання дають дітям не лише академічні знання. Вони також відкривають молоді можливості для соціальних контактів, вивчення рідної мови і культурних норм, отримання професійної інформації та формування уявлення про наявні перспективи [2]. Для таких учнів необхідність одночасно відповідати вимогам двох освітніх систем може впливати на якість засвоєння матеріалу, мотивацію та можливість повноцінно брати участь у шкільному житті.

Іншим викликом є мовна адаптація. Навчання у школі країни перебування часто передбачає поступовий перехід дитини на іншу мову освітнього середовища. Це є важливою умовою інтеграції, однак тривале зменшення використання української мови в повсякденному житті може призводити до послаблення мовних навичок, особливо у дітей молодшого віку. Дистанційне навчання в українській школі в цьому контексті виконує не лише освітню, а й мовно-культурну функцію.

Третім важливим викликом є підтримка соціальних зв'язків. Освіта – це не тільки передача знань, а й соціалізація. Для дитини, яка була змушена залишити Україну, український клас і контакти з учителями та однолітками можуть залишатися важливою частиною звичного соціального середовища. Дистанційний формат, однак, не може повністю замінити безпосередню взаємодію. Тому особливо важливими стають інтерактивні форми навчання, групові проєкти, спільні позакласні заходи, консультації та інші формати, які сприяють формуванню відчуття належності до української шкільної спільноти. При цьому якість дистанційної освіти все ще залежить від здатності української освітньої системи адаптуватися до швидкоплинних інновацій, адже «прогрес у сфері дистанційної освіти в Україні насамперед залежить від здатності системи освіти запропонувати конкурентоспроможні професійні знання та ефективні методи їх передання за допомогою технологій дистанційного навчання» [3, с.15].

Попри зазначені труднощі, дистанційне навчання українських дітей за кордоном має значний стратегічний потенціал. Насамперед воно дозволяє зберігати безперервність української освітньої

траєкторії. Дитина, яка продовжує навчатися в українській школі, зберігає зв'язок із національними освітніми стандартами, навчальними програмами та системою оцінювання.

Таким чином, підтримка дистанційного навчання має розглядатися також як інвестиція у збереження людського капіталу України. Українські діти та підлітки є майбутніми учасниками ринку праці, від яких залежатиме післявоєнне відновлення країни. Освітня політика сьогодні значною мірою визначатиме можливості України зберегти зв'язок із цією частиною майбутнього людського капіталу. У зв'язку з цим Україні доцільно продовжувати інвестувати в розвиток дистанційної освіти для школярів, які перебувають за кордоном. Така підтримка має бути системною та довгостроковою.

Література

[1] Mentzelopoulou, M.M., & Orav, A. (2025). *Displaced Ukrainians: Challenges and outlook for integration in the EU*. EPRS. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/769497/EPRS_BRI(2025)769497_EN.pdf

[2] Piotrowska, M. (2024). Inclusion of children and youth in the national education system. In *Humanitarian Aid and Empowerment of Ukrainian Refugees* (pp. 128-144). Routledge. https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.4324/9781003505778-9/inclusion-children-youth-national-education-system-marlena-piotrowska

[3] Литвинчук А.О., Кир'янов А.В., Іриневич Ю.В., Гайдук І.С. Тенденції розвитку дистанційної освіти в Україні як чинника стабільності та безперебійності освітнього процесу під час війни. Освітня аналітика України. 2023. № 4 (25). С. 5–18. URL: https://science.iea.gov.ua/wp-content/uploads/2024/01/1_Lytvynchuk_Ko_425_2023_5-18.pdf

REMOTE LEARNING FOR UKRAINIAN SCHOOLCHILDREN ABROAD DURING THE WAR: EDUCATIONAL CHALLENGES

Glubochenko Kateryna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The full-scale invasion in Ukraine has led to the mass displacement of school-age children abroad and significantly altered the conditions for implementation of their right to education. For a large number of Ukrainian schoolchildren living overseas, remote learning through Ukrainian educational institutions has become a means of maintaining a connection with the national education system, Ukrainian language, and Ukrainian culture. This paper examines the key issues surrounding remote learning for Ukrainian schoolchildren abroad and substantiates the need for continued systemic support for Ukrainian remote education as a vital resource for preserving human capital and ensuring educational continuity amidst the war.

Keywords: distance learning; Ukrainian children abroad; educational migration; educational integration; Ukrainian school; human capital.

УДК 378.147:51]:004.738.5

ВИКОРИСТАННЯ GEOGEBRA У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ: МЕТОДИЧНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ОСВІТНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Заболотна Д.В.,

студентка спеціальності 014.08 Середня освіта (Фізика та астрономія)

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

dzabolotna449@gmail.com

Анотація. У тезах розглянуто методичні можливості GeoGebra в навчанні математики: функції візуалізації, динамічного моделювання, математичного експерименту та програмування, а також міжнародний досвід перевірки її ефективності. На основі аналізу наукових публікацій визначено провідні освітні результати систематичного застосування середовища – поглиблення розуміння матеріалу, розвиток аналітичного мислення, зростання мотивації.

Ключові слова: GeoGebra, навчання математики, візуалізація, динамічне моделювання, STEM-освіта, інформаційно-комунікаційні технології, освітні результати.

Сучасний етап розвитку математичної освіти характеризується активним упровадженням цифрових технологій у навчальний процес, що зумовлено специфікою самого предмета математики: абстрактність понять часто ускладнює їх засвоєння. Одним із найбільш затребуваних інструментів цифрової складової

навчання математики сьогодні є динамічне математичне програмне забезпечення GeoGebra, яке поєднує в одному середовищі геометрію, алгебру, побудову таблиць, графіки та статистичні обчислення. Актуальність теми визначається тим, що, попри значну кількість публікацій з окремих аспектів застосування GeoGebra, питання узагальнення її методичних можливостей та освітніх результатів на різних рівнях математичної освіти залишається відкритим.

Аналіз джерел засвідчує, що науковці здебільшого поділяють спільну думку щодо провідних дидактичних функцій GeoGebra, зокрема її навчально-методичного потенціалу. Л. Гусак та Л. Радзіховська підкреслюють, що GeoGebra слугує засобом візуалізації математичних об'єктів і водночас середовищем для математичного експерименту, спрямованого на виявлення їхніх властивостей [1]. Саме таке поєднання наочної демонстрації з експериментальним дослідженням принципово відрізняє GeoGebra від статичних засобів унаочнення: здобувач освіти динамічно змінює параметри об'єкта й спостерігає наслідки в реальному часі, що наближує навчання до дослідницької діяльності.

На рівні шкільної освіти показовим є досвід використання GeoGebra під час розв'язування задач з параметром. М. Віра та П. Самусенко наголошують, що поєднання традиційних методів із демонстрацією динамічної моделі задачі сприяє формуванню в учня не лише математичної, а й інформаційної компетентності [2]. Задачі з параметром є тим розділом, де динамічна візуалізація забезпечує можливість дослідження зміни конфігурації математичних об'єктів у процесі варіювання параметра, що сприяє коректному встановленню кількості та характеру розв'язків.

У міжнародному контексті ідею багатофункціональності GeoGebra підтверджують Р. Зятдінов та Дж. Валлес, які пропонують розглядати можливості середовища через синтез трьох складових – моделювання, візуалізації та програмування (MVP) [3]. На їхню думку, саме поєднання цих функцій робить GeoGebra придатним для навчання не лише математики, а й ширшого кола STEM-дисциплін – фізики, інженерії, аналітичної геометрії [3]. Цей підхід є доповненням до розглянутих вище вітчизняних досліджень: якщо українські автори здебільшого акцентують на дидактичній функції візуалізації, то зарубіжні науковці показують, що потенціал GeoGebra не вичерпується унаочненням, а поширюється на формування навичок моделювання реальних процесів і елементарного програмування, що є актуальним у контексті сучасних вимог до цифрової компетентності здобувачів освіти.

Емпіричне підтвердження ефективності GeoGebra на рівні шкільної геометрії надають Ж.-Б. Ндагіджімана зі співавторами, які провели дослідження за участю 279 учнів перших класів середньої школи в Руанді: автори встановили, що учні експериментальної групи, які опановували теми точок, прямих і кутів за допомогою GeoGebra в умовах «розумного класу», статистично значуще ($p < 0{,}001$) перевершили результати контрольної групи, яка навчалася традиційним способом [4]. Це дослідження має особливу цінність, оскільки не обмежується описом методичних можливостей GeoGebra, а надає кількісний доказ її освітньої результативності, підтверджуючи тезу, сформульовану на початку роботи: систематичне застосування GeoGebra справді поглиблює розуміння матеріалу, а не лише урізноманітнює форму його подання.

Узагальнюючи опрацьовані джерела, можна виокремити такі освітні результати систематичного застосування GeoGebra: поглиблене розуміння матеріалу, розвиток аналітичного мислення, формування навичок моделювання, зростання мотивації [1], що підтверджується як методичними спостереженнями вітчизняних дослідників, так і кількісними результатами зарубіжного дослідження [4].

GeoGebra є багатофункціональним дидактичним засобом, доцільним на всіх рівнях математичної освіти – від шкільних задач з параметром до підготовки здобувачів STEM-напрямів у закладах вищої освіти, що підтверджується як вітчизняним, так і міжнародним досвідом.

Література

[1] Гусак Л. П., Радзіховська Л. М. Особливості використання GeoGebra в процесі вивчення вищої та прикладної математики. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. 2026. № 79. С. 83–92. DOI: https://doi.org/10.31652/2412-1142-2026-79-83-92

[2] Віра М., Самусенко П. Застосування програмного засобу GeoGebra до розв'язування алгебраїчних задач з параметром. Фізико-математична освіта. 2023. Т. 38, № 1. С. 7–13. DOI: https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-001

[3] Ziatdinov R., Valles J. R., Jr. Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. Mathematics. 2022. Vol. 10, No. 3. Art. 398. P. 1–16. DOI: https://doi.org/10.3390/math10030398

[4] Ndagijimana J.-B., Mukama E., Lakin L., Khan S., Munyaruhengeri J. P. A., Dushimimana J. C., Habimana O., Manirakiza P., Musengimana J., Mushimiyimana H. Contributions of GeoGebra software within the socio-cultural proximity on enhancing students' conceptual understanding of mathematics. Cogent Education. 2024. Vol. 11, No. 1. Art. 2436296. P. 1–24. DOI: https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2436296

THE USE OF GEOGEBRA IN TEACHING MATHEMATICS: METHODOLOGICAL OPPORTUNITIES AND EDUCATIONAL OUTCOMES

Zabolotna Daria
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The theses examine the methodological potential of GeoGebra in teaching mathematics at school and in higher education: its visualization, dynamic modelling, mathematical experiment and programming functions, as well as international empirical evidence of its effectiveness. Based on the reviewed publications, the main educational outcomes of its systematic use are identified – deeper understanding of material, analytical thinking, increased motivation.

Keywords: GeoGebra, mathematics teaching, visualization, dynamic modelling, STEM education, information and communication technologies, educational outcomes.

УДК 37.013.73:159.9

ПСИХОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ГУМАНІСТИЧНО-АКСІОЛОГІЧНИХ ЗАСАД ОСВІТИ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

Сушко В.В.,
доктор філософії (PhD), в. о. завідувача кафедри суспільних наук
volodymyr.sushko@nuos.edu.ua
Дендеренко О.В.,
студентка ІІ курсу другого магістерського рівня вищої освіти зі спеціальності С4 Психологія
elenaden2209@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна

Анотація. У тезах розкрито психологічні чинники трансформації гуманістично-аксіологічних засад сучасної освіти. Акцентовано на психологічній безпеці, стійкості та життєстійкості учасників освітнього процесу, автономії та внутрішній мотивації, суб'єктності, потребі в належності, емпатії, ціннісно-смисловій саморегуляції та психологічних наслідках війни й цифровізації. Обґрунтовано, що гуманізація освіти сьогодні передбачає не лише декларування цінності особистості, а також і створення психологічних умов, де здобувач освіти та педагог зберігають гідність, відчуття безпеки, можливість вибору, компетенції, зв'язок з іншими та здатність до відповідального смислотворення.

Ключові слова: психологія освіти, гуманізм, аксіологія, цінності, психологічна безпека, резильєнтність, життєстійкість, мотивація, суб'єктність, психічне здоров'я.

Сучасна освіта переживає трансформацію, що має не лише інституційний, технологічний або дидактичний вимір, а передусім психологічний. Освітнє середовище є простором, де людина не просто засвоює знання, а формує ставлення до себе, інших людей, праці, свободи, відповідальності та майбутнього. Гуманістично-аксіологічні засади освіти можуть реалізовуватися через конкретні психологічні механізми: переживання безпеки й довіри, внутрішню мотивацію, потребу в автономії та належності, самооцінку, рефлексію, емпатію, смислотворення та здатність до саморегуляції. В умовах воєнного часу, тривалого стресу, цифрової інтенсифікації та невизначеності саме ці механізми стають особливо вразливими й водночас визначальними для збереження людиноцентричного характеру освіти.

Метою роботи є визначення й психологічне осмислення провідних чинників трансформації гуманістично-аксіологічних засад освіти в умовах сучасних кризових, воєнних і цифрових змін. Методологічну основу становлять особистісно орієнтований, аксіологічний, суб'єктний, системний та ресурсний підходи. Ми зосереджуємо увагу на тому, що гуманістична парадигма освіти зберігає свою значущість, проте методологія її реалізації повинна враховувати нову психологічну реальність, де, нажаль, сьогодні в умовах війни доводиться переживати тривалий стрес, травматизацію, втрати, дистанційність комунікації, інформаційне перевантаження, зростання ролі штучного інтелекту та необхідність постійного самостійного вибору.

Одним із психологічних чинників перетворень гуманістично-аксіологічних засад сучасної освіти, на нашу думку, є трансформація базового відчуття безпеки. Дослідження Н. Бєльської та М. Мельник, проведене серед 14 556 учасників освітнього процесу після початку повномасштабної війни, засвідчило зниження показників резильєнтності та їх зв'язок із суб'єктивним відчуттям безпеки, вимушеним переміщенням і залученістю до навчання [1]. Це означає, що гуманістична освіта в кризовій ситуації

повинна оцінювати ефективність не лише за академічними результатами, а також і за тим, чи створює вона умови для психологічної стабілізації, передбачуваності, підтримки та відновлення довіри.

Наступним чинником є зміна структури мотивації та освітньої суб'єктності. У сучасному інформаційному середовищі така модель дедалі менше відповідає реальності, оскільки здобувач має широкий доступ до альтернативних джерел знань і значно більше можливостей самостійно конструювати власну освітню траєкторію. Теорія самодетермінації Р. Раяна та Е. Десі пояснює, що стійка внутрішня й автономна мотивація підтримується задоволенням трьох базових психологічних потреб – в автономії, компетентності та пов'язаності з іншими [4, с. 1–11]. Для гуманістично-аксіологічної моделі освітнього простору є принципово те, що студент не може бути реальним суб'єктом освіти через систематично примусову зовнішню мотиваційність.

Ще одним чинником ми вбачаємо резильєнтність і життєстійкість як нові аксіологічно значущі характеристики здобувача освіти. В умовах тривалої невизначеності цінність успішності доповнюється цінністю здатності відновлюватися після невдач, зберігати діяльність під тиском і гнучко перебудовувати життєві стратегії. В. Предко на матеріалі учасників освітнього процесу під час війни показує прямий зв'язок життєстійкості з інтернальністю, суб'єктивним контролем та здатністю зберігати активність після стресових подій [2, с. 70–77].

А. Мастен у мультисистемному підході визначає резильєнтність як здатність динамічної системи успішно адаптуватися до викликів і підкреслює взаємозалежність особистісних, сімейних, шкільних, громадських та інституційних ресурсів [5, с. 1–11]. Для освіти це означає, що стійкість здобувача не можна відокремлювати від якості стосунків, доступності підтримки, організації навчального навантаження, культури закладу та ширшого соціального контексту.

Наступним чинником є стан психічного здоров'я педагогів і здобувачів освіти. Л. Карамушка, аналізуючи психічне здоров'я персоналу організацій в умовах війни, виявляє проблемні тенденції у його основних компонентах і наголошує на значенні особистісних та організаційних ресурсів підтримки [3, с. 124–133].

Не менш важливим чинником є також зміна психології міжособистісної взаємодії під впливом цифровізації. Різні форми навчання розширили доступність освіти, однак водночас посилили дефіцит безпосередньої соціальної присутності, фрагментарність уваги й ризик емоційного дистанціювання.

Сукупність зазначених чинників безпосередньо впливає на логічну структурованість гуманістично-аксіологічної парадигми. Її психологічним ядром стає не абстрактне проголошення цінності людини, а підтримка таких умов, за яких людина реально переживає й усвідомлює себе суб'єктом, зокрема освітнього процесу, маючи голос і простір вибору, відчуваючи компетентність, належність і безпеку, здатна осмислювати власний досвід, рефлексувати, регулювати емоційні стани, звертатися по допомогу й відповідально діяти.

Отже, провідними психологічними чинниками трансформації гуманістично-аксіологічних засад освіти в умовах сьогодення є зміна відчуття безпеки, наслідки хронічного стресу та війни, стан психічного здоров'я, розвиток резильєнтності та життєстійкості, посилення потреби в автономії й суб'єктності, трансформація мотивації, цифровізація комунікації, поширення ШІ, дефіцит соціальної пов'язаності та необхідність ціннісно-смислової саморегуляції. Зазначені чинники не скасовують гуманістичну парадигму, а роблять її психологічний зміст конкретнішим і вимогливішим.

Література

[1] Бєльська Н. А., Мельник М. Ю. Дослідження резильєнтності учасників освітнього процесу в умовах воєнного стану. Освіта та розвиток обдарованої особистості. 2022. № 2 (85). С. 98-106.

[2] Предко В. В. Психологічні особливості взаємозв'язку життєстійкості та локусу контролю учасників освітнього процесу в умовах війни. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 12. Психологічні науки. 2023. Вип. 21 (66). С. 70-77.

[3] Карамушка Л. М. Психічне здоров'я персоналу організацій в умовах війни: основні вияви та ресурси. Вчені записки Університету «КРОК». 2022. № 3 (67). С. 124-133.

[4] Ryan R. M., Deci E. L. Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. Contemporary Educational Psychology. 2020. Vol. 61. Article 101860. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2020.101860.

[5] Masten A. S. Resilience of children in disasters: A multisystem perspective. International Journal of Psychology. 2021. Vol. 56, No. 1. P. 1-11. DOI: 10.1002/ijop.12737.

PSYCHOLOGICAL FACTORS IN THE TRANSFORMATION OF THE HUMANISTIC AND AXIOLOGICAL FOUNDATIONS OF EDUCATION IN CONTEMPORARY CONDITIONS

Sushko Volodymyr, Denderenko Olena

Kherson Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Abstract. The paper examines psychological factors transforming the humanistic and axiological foundations of contemporary education. Particular attention is paid to psychological safety, resilience and hardiness, autonomy and intrinsic motivation, subjectivity, relatedness, empathy, value-and-meaning self-regulation, as well as the psychological effects of war and digitalization. It is argued that humanization of education requires not only recognition of the person as a value, but also the creation of psychological conditions in which learners and educators can preserve dignity, safety, agency, competence, social connectedness and the capacity for responsible meaning-making.

Keywords: educational psychology, humanism, axiology, values, psychological safety, resilience, hardiness, motivation, subjectivity, mental health.

УДК 37.013.42:316.614

ТРАНСФОРМАЦІЯ СОЦІАЛІЗУЮЧОЇ ФУНКЦІЇ ОСВІТИ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ

Матвієнко Л.В.,
Кандидат історичних наук, доцент,
Завідувач кафедри соціально-гуманітарних дисциплін і філософії
liudmyla.matviienko@nuos.edu.ua
Сонечко О.С.,
Фахівець кафедри соціально-гуманітарних дисциплін і філософії
olha.sonechko@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація: У статті розглянуто значення функції соціалізації освіти як одного з основних завдань комплексу освітніх інститутів. Особлива увага приділяється впливу інтерактивного середовища на безпосереднє спілкування педагогів та здобувачів освіти.

Ключові слова: Соціальні інститути, освіта, соціалізація, агенти соціалізації, освітній вплив.

Соціальні інститути як певна форма об’єднання людей протягом століть мають вельми значний вплив на формування суспільства, визначення напрямків його розвитку, взаємодію представників різноманітних соціальних, етнічних, економічних, політичних груп та спільнот. Кожен з комплексів соціальних інститутів має значний перелік функцій та завдань, виконання яких впливає на розвиток та формування суспільних відносин.

Освітні інститути – один з основних агентів соціалізації, з яким кожна людина має справу протягом значної частини свого життя. Від дитячих садочків та шкіл і до вищих навчальних закладів – весь цей значний проміжок часу ми знаходимося під функціональним впливом вищенаведених закладів. Традиційно ми розглядаємо освіту як один з ключових, найголовніших інститутів соціалізації особистості, бо саме з його допомогою ми отримуємо професійні знання. Але, насправді, роль освітніх інститутів є набагато більшою та глибшою. Так, освітні інститути забезпечують засвоєння певної кількості соціальних цінностей та норм. Вони неабияким чином впливають на формування різноманітних моделей поведінки індивідів, на отримання тих чи інших соціальних статусів (статусних комплексів), дотримання певних моделей соціальної поведінки – тобто, соціальних ролей.

Але, чим більш розвинутим стає суспільство, тим більшим стає перелік завдань та функцій, що їх виконує той чи інший соціальний інститут. І комплекс освітніх інститутів тут не є виключенням.

Так, функція соціалізації в освіті ще не так давно (в рамках історичного виміру, звісно) мала основним завданням допомагати людині «увійти» в новий, «дорослий» світ, отримати нові знання, можливості їх застосування та самореалізуватися. Сьогодні, у сучасному вимірі суспільних відносин, на неї покладаються нові завдання.

Сам процес соціалізації особи наразі зазнає дуже великих змін. Такі явища, як глобалізація, розповсюдження нових форм комунікацій, полегшена мобільність населення, швидка трансформація ринку праці – всі ці чинники вимагають гнучкого пристосування людини до нових умов життєдіяльності. За таких

умов освітні інститути мають передавати не тільки традиційно усталений навчальний та соціальний досвід, але й безпосередньо впливати на формування здатності людини орієнтуватися в умовах постійних суспільних змін.

В таких умовах соціалізуюча функція освіти починає виконувати нові для себе завдання. В процесі освітньої соціалізації людина має навчитися швидко приймати відповідні рішення (наприклад, виробничі), трансформувати власні завдання та шукати найбільш ефективні шляхи їх виконання. Це потребує певних компетенцій, відповідного рівня розуміння та відповідальності, критичного мислення.

Якщо в традиційному вимірі основними агентами освітньої соціалізації завжди були вчителі та викладачі, то сьогодні традиційна зв'язка «учень – вчитель» чи «студент – викладач» вже не розглядається як єдина можлива. Здобувачі освіти на усіх навчальних рівнях (школи, коледжі, заклади вищої освіти тощо) соціалізуються під впливом сучасних технологій. Соціальні мережі, цифрові платформи (як навчальні, так і розважальні), онлайн-спільноти, різноманітні прояви віртуального світу – всі ці чинники мають значний вплив на процес соціалізації який, в свою чергу, починає отримувати частково цифровий вигляд. Тобто, безпосереднє спілкування, взаємодія та суспільні відносини поступово трансформуються під впливом цифрового середовища, що стає невід'ємною частиною нашого життя.

Водночас, під впливом вищенаведених чинників поступово починають змінюватися статуси та ролі, носіями яких є працівники освіти. У традиційному вимірі вчителі та викладачі мали виконувати прості, зрозумілі завдання: навчати, транслювати знання, виховувати, оцінювати виконані завдання. На сьогодні роль педагогів поступово видозмінюється. Представники освіти мають можливість (а інколи й необхідність) організовувати власні освітні середовища, використовуючи ті ж самі онлайн-платформи, цифрове середовище, різноманітні канали комунікації, інтерактивні можливості тощо. Тобто, відбувається зменшення безпосередньої взаємодії педагогів та здобувачів освіти, натомість, більш розвинутими та поширеними стають нові канали комунікації. Таким чином, відповідно, змінюється і ставлення здобувачів освіти до соціалізуючого впливу освіти і, відповідно, до комплексу освітніх інститутів в цілому.

Отже, можна зробити висновок, що функція соціалізації освіти в сучасному суспільстві зазнає значних змін під впливом нових потреб та вимог сучасності але, в той же час, має перспективи трансформуватися задля підготовки підростаючого покоління до нових, динамічних соціальних реалій сучасного суспільства.

Література

[1] Ворчакова І., Кравчук О., Матвієнко Л., Сонечко О. Історичні, соціально-політичні, публічно-управлінські та інституціональні виміри української державності : монографія. Одеса : ТакиБук, 2025. 15 с. (С. 116–148).

[2] Alieksieienko T. F. (2023) Socialization contexts of the development of school students in the conditions of digitalization of the educational environment and war: status and problems (Based on the materials of the empirical section). *Education: Modern Discourses*. (6). P. 59–67.

THE TRANSFORMATION OF THE SOCIALIZING FUNCTION OF EDUCATION IN A CONTEMPORARY SOCIETY

Matviienko Lyudmila Volodimirivna, Sonechko Olga Sergiivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The article explores the role of the socializing function of education as one of the key functions performed by the system of educational institutions. Particular attention is given to the impact of the interactive environment on direct communication between educators and learners. The study highlights the changing nature of educational socialization in the context of contemporary society and the increasing influence of interactive forms of communication on the educational process.

Keywords: social institutions, education, socialization, agents of socialization, educational influence.

УДК 37.016:[028:792]

НОВІ ПЕДАГОГІЧНІ ПРАКТИКИ ВИВЧЕННЯ ЛІТЕРАТУРИ В УМОВАХ ОСВІТНІХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

Мхитарян О.Д.,
кандидат педагогічних наук,
Навчально-науковий педагогічний інститут імені В. О. Сухомлинського
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
olga.mkhytarian@nuos.edu.ua

Анотація. У дослідженні розглянуто театралізацію читацької діяльності учнів засобами плейбек-театру як одну з продуктивних педагогічних практик у період інтенсивного реформування української школи. Обґрунтовано потенціал театральної педагогіки для активізації читання, інтерпретації, емоційно-образного переживання художнього тексту та творчої взаємодії здобувачів освіти. Визначено методичні умови продуктивного використання плейбеку: цілеспрямованість театральної дії, текстову опору, варіативність інтерпретацій, чітку організацію діяльності та рефлексивне повернення до художнього твору. Наголошено, що театралізація має не підміняти аналіз тексту, а поглиблювати його, забезпечуючи інтеграцію літературної та мистецької діяльності школярів.

Ключові слова: нові педагогічні практики, навчання літератури, читацька діяльність, театральна педагогіка, плейбек-театр, театралізація, художній текст, Нова українська школа.

Сучасні освітні трансформації зумовлюють переосмислення способів узаємодії учня з художнім текстом. Орієнтація Нової української школи на компетентнісний, діяльнісний, особистісно зорієнтований та інтегративний підходи актуалізує форми навчання, що забезпечують активне читання, осмислення й інтерпретацію прочитаного, емоційно-образне переживання, висловлення здобувачами освіти власної думки, їх творчу діяльність та комунікацію з іншими. У попередньому дослідженні нами обґрунтовано необхідність удосконалення методичного інструментарію формування читацької компетентності школярів у реаліях НУШ [3, с. 69–82]. Відтак літературне заняття має перетворюватися на простір діалогу, співтворчості та особистісного осмислення вихованцями художнього твору, що актуалізує поєднання літературної освіти з іншими видами мистецької роботи, зокрема використання засобів театральної педагогіки.

Мета тез – визначити методичні умови використання нових педагогічних практик у шкільному навчанні літератури на прикладі театралізації читацької діяльності учнів засобами плейбеку.

Поняття «нова педагогічна практика» доцільно пов’язувати не лише з використанням незвичного навчального прийому, а передусім зі зміною характеру пізнавальної взаємодії вихованців. Ідеться про перехід від репродуктивного опрацювання ними змісту прочитаного до створення освітніх ситуацій, у яких учень виступає активним читачем, інтерпретатором, співтворцем і рефлексивним учасником навчання. Це дає змогу розглядати театралізацію не як видовищне доповнення до літературного заняття, а як засіб організації читацької діяльності школярів.

Театральна педагогіка ґрунтується на проживанні змісту освіти через імпровізаційну гру, продуктивну дію, колективну творчість і створення відкритого творчого середовища [2, с. 19]. У навчанні літератури це особливо важливо, оскільки художній твір потребує не тільки інтелектуального осягнення, а й образного, емоційного та ціннісного переживання. Водночас театралізація не повинна підміняти власне читання або аналітичну роботу школярів із текстом. Педагогічна цінність інтеграції акторських практик у вивчення художнього твору полягає в тому, що за допомогою дії, руху, голосу, міміки та взаємодії учні можуть глибше осмислити художню деталь, образ персонажа, символіку твору, внутрішній стан героя або певну сюжетну ситуацію.

Визначальною методичною умовою упровадження театральних аспектів у навчання літератури є збереження балансу між предметними й мистецькими завданнями. Акторський інструментарій має бути функціонально пов’язаний із конкретним освітнім результатом: допомагати учням аналізувати художню деталь, розкривати характер персонажа, простежувати причинно-наслідкові зв’язки, осмислювати символ, перевіряти інтерпретаційну гіпотезу або здійснювати рефлексію [1–2]. Такий підхід відповідає принципу інтеграції мистецького та професійно-педагогічного компонентів навчання.

Однією з продуктивних практик, що дає змогу поєднати читання, інтерпретацію, імпровізацію та колективну взаємодію, є ***плейбек-театр***, специфіка якого полягає в інтерактивній взаємодії учасників, імпровізаційній акторській дії та художньому відображенні запропонованої історії, враження або образу [2, с. 21–22]. У педагогічному форматі ця практика набуває ознак ситуаційного навчання: один учасник пропонує історію, враження чи образ, а інші відтворюють його за допомогою руху, голосу, міміки, музики

та коротких реплік. Для літературного заняття принципово важливо адаптувати плейбек до специфіки художнього тексту [1–2]. Предметом театрального відображення можуть бути історії персонажів, враження від прочитаного, атмосфера твору, внутрішній монолог героя, символічний образ або ключова художня ситуація. У такому разі театральна імпровізація стає продовженням читацького аналізу, а не окремою розважальною діяльністю.

Педагогічний потенціал плейбеку пов'язаний із можливістю прийняття різних інтерпретацій, спільним переживанням художньої ситуації, розвитком комунікативності, емпатії, креативності та здатності бачити образ або подію з різних перспектив [2, с. 25–27]. Разом із тим у шкільному середовищі така практика має залишатися в межах педагогічної мети: її завданням є поглиблення результатів літературної освіти, а не перетворення уроку на психотерапевтичну процедуру.

Результативною в організації навчального процесу під час вивчення художнього твору може бути така послідовність: мотиваційна ситуація → актуалізація читацького досвіду → робота з текстовою опорою → театральне відображення → рефлексія → повернення до тексту → узагальнення. Принципово важливим є саме повернення до тексту, що дає змогу учням порівняти створений сценічний образ із авторським текстом, аргументувати власну інтерпретацію, зіставити різні варіанти прочитання та сформулювати висновок. Адже в цьому випадку театральна дія не завершує аналіз художнього твору, а поглиблює його.

Узагальнення результатів дослідження [2] дає змогу визначити основні *методичні умови* продуктивного використання театралізації в навчанні літератури: 1) театральна дія має бути цілеспрямованою та підпорядкованою конкретному завданню роботи з текстом; 2) необхідно зберігати текстову опору й не нав'язувати учням єдиний спосіб інтерпретації художньої ситуації; 3) доцільним є поступове формування готовності школярів до театральної взаємодії через вправи на увагу, рух, голос, взаємодію та саморегуляцію; 4) ефективність забезпечує чіткий алгоритм організації діяльності; 5) завершення театралізації передбачає рефлексивне повернення до художнього тексту. ***Отже, нові педагогічні практики вивчення літератури в умовах освітніх трансформацій варто розглядати передусім як способи оновлення характеру читацької діяльності здобувачів освіти, а не як механічне додавання інноваційних прийомів до традиційного літературного заняття.***

Перспективним є подальше проєктування системи театрально-освітніх ситуацій для шкільного вивчення різних жанрів і етапів вивчення художнього твору, а також розроблення методичного інструментарію підготовки словесника до використання перформативних практик у НУШ.

Література

[1] Концева В. Інноваційні методи навчання на уроках літератури: використання елементів плейбек-театру: вебінар // Освітній проєкт «На урок». – 2024. – Режим доступу: https://youtu.be/BnZG0ESvtqc.

[2] Мхитарян О. Д. Оптимізація читацької діяльності учнів засобами плейбек-театру // Вересень. – 2025. – Том 3 (№ 106). – Миколаїв : Миколаївський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти, 2025. – С. 18–31. – DOI: https://doi.org/10.54662/veresen. 3 .2025 .02.

[3] Мхитарян О. Д. Формування читацької компетентності учнів у реаліях Нової української школи // Вересень. – № 4 (95). – 2022. – Миколаїв : Миколаївський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти, 2022. – С. 69–82. DOI: https://doi.org/10.54662/veresen.4.2022.06.

NEW PEDAGOGICAL PRACTICES IN References EDUCATION UNDER CONDITIONS OF EDUCATIONAL TRANSFORMATIONS

Mkhytaryan Olha Dmytrivna

V. O. Sukhomlynskyi Educational and Scientific Pedagogical Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The study examines the dramatization of students' reading activities through playback theatre as one of the productive pedagogical practices amid the intensive reform of the Ukrainian school system. The potential of theatre pedagogy to enhance reading, interpretation, emotional and imaginative engagement with literary texts, and students' creative interaction is substantiated. The methodological conditions for the productive use of playback theatre are identified: purposeful theatrical action, reliance on the literary text, diversity of interpretations, clear organization of activities, and reflective return to the literary work. It is emphasized that dramatization should not replace textual analysis but deepen it by integrating literary and artistic activities in school education.

Keywords: new pedagogical practices, literature education, reading activity, theatre pedagogy, playback theatre, dramatization, literary text, New Ukrainian School.

UDC 378.147.811

THE PHENOMENON OF SCIENTIFIC CREATIVITY IN THE CONTEXT OF TRAINING PROSPECTIVE ENGINEERS OF THE SHIPBUILDING INDUSTRY

Romanchuk N.O.,
PhD in Pedagogics, Associate professor, Department of Physics and Mathematics,
nataliiaromanchuk11@gmail.com
http://orcid.org/0009-0002-8399-0865
Maiboroda O.V.,
PhD in Economics, Associate professor, Department of Physics and Mathematics,
aoks82.09.25@gmail.com
http://orcid.org/0000-0001-9206-4316
Petkov I.V.,
PhD in Physics and Mathematics, Associate professor, Department of Physics and Mathematics,
igorpetkov83@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-2740-290X
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An essential condition for the modernization of engineering education is the integration of education and research, along with the innovative creative activity of prospective specialists in the shipbuilding industry. Developing the creative potential of engineering students is one of the key objectives of training prospective specialists at Admiral Makarov National University of Shipbuilding. The results of the study indicate that effective training of specialists for the shipbuilding industry should provide engineering students with opportunity to develop their creative potential, meet their need for creative self-development, and develop the ability to scientific research to solve technical problems.

Keywords: engineering students, technical education, shipbuilding industry, creative approach, scientific creativity.

Problem Statement. The main trends in the education and training of prospective engineers in the shipbuilding industry include the fundamentalization of education, a humanistic orientation, the enhancement of the spiritual and general cultural components, and the development of a creative approach to solving non-standard technical problems and social situations. The development of a competent technical specialist equipped with scientific creativity skills has been identified as the principal objective of engineering education and training at Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUOS).

The performance of an engineer is fundamentally cognitive, transformative, intellectual, and creative. A modern engineering specialist should possess not only knowledge of engineering, manufacturing technologies, and mathematics, but also the ability to apply a creative approach to profession. Engineering professional needs to be able to anticipate the development of professional situations, assess their consequences, and make responsible decisions. This requires prospective engineers to develop skills for the creative solution of production tasks.

The Aim of Research. Despite the intensity of research of the theoretical foundations and methodological approaches to the training of prospective engineers, the problem of developing scientific creativity remains insufficiently developed. Therefore, the conditions for developing scientific creativity among prospective engineers in the shipbuilding industry require further development and substantiation.

Presentation of the Main Material. According to the findings of contemporary researchers, a modern engineering specialist should possess not only knowledge of engineering and modern manufacturing technologies but also the ability to engage in invention and apply a creative approach to professional activities [4, p. 75]. In particular, researchers emphasize the need to train engineering specialists for scientific activities, conducting research, and the practical implementation of their own creative ideas and concepts [1, p. 303]. An analysis of the relevant studies demonstrates that the training of specialists for the shipbuilding industry should provide engineering students with opportunities to develop their creative potential and foster their need for creative self-development [3, p. 12]. Scientific creativity of an engineering professional is regarded by contemporary researchers as a personal characteristic defined by the ability to engage in creative activity, generate new and original ideas, and make non-standard and responsible technical decisions [2, p. 12].

An analysis of current labor market trends has demonstrated the growing demand for specialists with well-developed creative, flexible, and versatile thinking. Therefore, a key objective of contemporary engineering education is to train innovative-thinking specialists capable of further self-development and self-improvement. The conducted study demonstrates that a high level of mastery of the required professional competencies can be

achieved by integrating the scientific training of engineering students with the development of skills for the creative application of theoretical knowledge in the production process. Accordingly, it is important not only to teach prospective specialists in the shipbuilding industry to apply knowledge and technologies, but also to prepare them to take an active role in society and to use advances in science and technology for creative activity throughout their professional lives.

We regard an individual's creative potential as the foundation for the development of engineering students as subjects of educational and creative activity in institutions of higher technical education. The study demonstrates that the scientific creativity of prospective engineers in the shipbuilding industry is a dynamic personality structure manifested through the integration of value-based, cognitive, and activity-related components. Within the context of this study, engineering creativity is considered as the ability to generate new ideas, develop non-standard solutions and proposals, and create original inventions.

The scientific creativity of a prospective engineer is defined as a continuous process of identifying and developing individual creative abilities. Under these conditions, the engineering student acts as a subject of creative interaction within the educational process. This involves an awareness of the need for continuous creative self-realization based on contemporary scientific achievements, as well as a sense of responsibility for the outcomes of creative activity.

Active cognitive, independent, and creative intellectual activity of engineering students is essential. We employed methods and technologies for organizing learning activities that contributed to developing prospective engineers' abilities to independently search for the necessary information, identify problems and determine rational ways of solving them, critically evaluate the information obtained, and apply it in practice. The research findings demonstrate that the use of active learning formats and methods, including group discussions, video conferences, dialogic situations, and training sessions, contributed to the development of engineering students' creative thinking and stimulated their cognitive and creative activity.

Conclusions. The findings of the research demonstrated that the effectiveness of the process of developing scientific creativity is positively influenced by the following conditions: developing motivation for scientific work; acquiring knowledge of the methodology for organizing scientific research; ensuring the active participation of engineering students in this process; and gaining experience in conducting scientific and creative activities. Scientific creativity is understood as the readiness and ability of an engineering specialist in the shipbuilding industry to engage in purposeful scientific and research activities in the field of industrial production. Developing experience in scientific creativity involves fostering the creative potential and scientific culture of engineering students, as well as actively engaging them in fundamental research within the relevant industry.

References

[1] Amrulloh, Galushasti, 2022 – Amrulloh, M. Sh., Galushasti, A. (2022). Professional development teacher to improve skills of science process and creativity of learners. *EduLearn*, 16 (3): 299–307. Doi: https://doi.org/ 10.11591/edulearn.v16i3.20404.

[2] Chen, Yuan, 2021 – Chen, H.-H., Yuan, Y.-H. (2021). The Study of the Relationships of Teacher's Creative Teaching, Imagination, and Principal's Visionary Leadership. *SAGE Open*, 11 (3):215824402110299. Doi: https://doi.org/ 10.1177/21582440211029932.

[3] Molefe, Aubin, 2021 – Molefe, L., Aubin, J.-B. (2021). Exploring how science process skills blend with the scientific process: Pre-service teachers' views following fieldwork experience. *South African Journal of Education*, 41 (2):1–13. Doi: https://doi.org/10.15700/saje.v41n2a1878.

[4] Slisko, 2021 – Slisko, J. (2021). Facebook-supported tasks for exploring critical and creative thinking in a physics teaching course. *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, 13 (1): 58–82. Doi: https://doi.org/10.34105/j.kmel.2021.13.004.

УДК 796:613.2

ЗДОРОВИЙ СПОСІБ ЖИТТЯ – НАЙКРАЩА ПРОФІЛАКТИКА ЗАХВОРЮВАНЬ

Кулин І.,
старший викладач кафедри фізичного виховання
Сокол О.,
старший викладач кафедри фізичного виховання
Навчально-науковий гуманітарний інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна, Миколаїв
olgavs697@gmail.com

Анотація. Здоров'я – це стан фізичного, духовного та соціального благополуччя, а не тільки відсутність хвороб і фізичних дефектів. Здоров'я – найцінніше, що ми маємо. Здоровий спосіб життя – це спосіб життя, заснований на принципах моральності, раціонально організований, активний, трудовий, що загартовує і, в той же час, захищає від неблагополучних дій оточуючого середовища, що дозволяє до глибокої старості зберігати моральне, психічне та фізичне здоров'я.

Ключові слова: здоров'я, навички, спорт, шкідливі звички, основні складові частини здоров'я, навчання у ВНЗ, стрес, рухова активність.

Постановка проблеми. Інтенсифікація навчального процесу у вищих навчальних закладах, виконання студентами великого обсягу навчальної роботи в умовах дефіциту часу, зниження адаптивних механізмів, тривожності у зв'язку з оголошенням тривоги призводить до того, що у багатьох студентів спостерігається тенденція до зниження рухової активності, фізичної і підготовленості, а в цілому – погіршення здоров'я.

Метою статті є теоретичний аналіз проблеми здорового способу життя студентів; виявлення шляхів вирішення проблеми формування здорового способу життя студентів.

У наш час набуло актуальності питання здорового способу життя. Здоровий спосіб життя включає в себе наступні основні елементи: плідну працю, раціональний режим праці і відпочинку, викоренення шкідливих звичок, раціональне харчування, оптимальний руховий режим.

Відповідно до зазначеного вище, основними сучасними ризиками для здоров'я у молодому віці є наступні: нераціональне харчування та гіподинамія спричиняють появу надмірної ваги і ожиріння, що призводить до виникнення хронічних захворювань шлунково-кишкового тракту та серцево-судинної системи; тривалі психоемоційні стреси впливають на нервову систему людини, погіршуючи її розумову діяльність; алкоголізм, тютюнопаління, наркоманія зумовлюють низку захворювань

Фізична культура – запорука здорового способу життя. Зміцнення і збереження здоров'я є пріоритетним напрямом основних законодавчих актів і нормативно-правових документів з фізичної культури. Так, у Концепції фізичного виховання, цільовій комплексній програмі «Фізичне виховання – здоров'я нації», Законі України «Про фізичну культуру і спорт» наголошується, що фізична культура і спорт, які є складовою загальної культури, сприяють навчанню студентів, підвищуючи їх розумову і фізичну працездатність.

Однак, основною причиною погіршення стану здоров'я студентів є відсутність усвідомлення важливості дотримання здорового образу життя як запоруки міцного здоров'я.

Процес виховання свідомого ставлення молоді до власного здоров'я починається з першого курсу навчання у вищому навчальному закладі і забезпечується рядом педагогічних умов, а саме:

1) поєднанням навчального процесу з практичною діяльністю студентів;
2) знайомством молоді з основами здорового способу життя, формуванням свого власного здорового стилю життя;
3) формуванням цільової настанови і мотивації студентів на зміцнення свого здоров'я і набування відповідних знань, умінь і навичок [1].

Особливе значення в умовах збереження і зміцнення здоров'я студентів мають фізичні вправи. Рухова активність покращує життя організму в цілому, стимулює інтелектуальну діяльність людини, підвищує продуктивність розумової праці, позитивно впливає на її психічну та емоційну діяльність. Реалізація цих положень полягає в систематичному використанні доступних кожному студенту форм фізичної культури (ранкова гімнастика, прогулянки, заняття рухливими видами спорту, танцями). Фізична культура і спорт необхідні для соціального становлення молодої людини в сучасному суспільстві. Фізичне навантаження в обсязі 8-10 годин на тиждень є нормою рухової активності студентів, що запобігає фізичній деградації студентської молоді [4].

Аналізуючи літературні джерела, розуміємо, що серед численних причин різкого погіршення рівня здоров'я студентства важливими є такі: глобальні соціально-економічні проблеми; низька матеріально-технічна база закладів освіти; відсутність мотиваційної поведінки до ведення здорового способу життя; недоопрацьована структура системи охорони здоров'я; фінансові проблеми; розумові й фізичні перевантаження в закладах освіти.

Заходи фізичної культури, що проводяться у закладах освіти, об'єднують студентство. Під час спортивно-масових, фізкультурно-оздоровчих заходів та змагань варто орієнтувати молодь на ведення здорового способу життя, проводити роз'яснювальні роботи щодо важливості забезпечення власного здоров'я задля професійної та суспільної діяльності. Усе це є рушійною силою у формуванні здоров'я зберігаючої культури поведінки студентів. Результатом таких заходів є висвітлення їх у соціальних мережах та засобах масової інформації. Зазвичай це формує дозвілля молоді, адже після таких проєктів спорт та здоровий спосіб життя стають для студентства обов'язковими. Варто зазначити, що зі збільшенням участі молоді у суспільному житті покращується її змістовний духовний та культурний світогляд [2].

З огляду на необхідність впровадження тенденцій здорового способу життя студентам варто прислухатись до таких порад:

- своєчасна підготовка до іспитів упродовж всього семестру;
- поєднання розумової праці, відпочинку та сну;
- удосконалення комунікативних якостей студентів між собою і викладачами ВНЗ;
- дотримання всіх норм харчування та санітарно-гігієнічних правил;
- самоконтроль студентів власного здоров'я;
- виховання потреби у спорті [3].

Висновки. Формування здорового способу життя студентів реалізується шляхом оздоровчої діяльності, створенням сприятливих для здоров'я санітарно-гігієнічних, психологічних і соціальних умов, а також вихованням позитивної мотивації до власного здоров'я, потреби у здоровому способі життя, сприянням у засвоєнні студентами знань, умінь і навичок, необхідних для збереження, зміцнення та відновлення здоров'я, і є невід'ємним елементом у навчально-виховному процесі. З цією метою необхідно створювати і реалізовувати програми та проєкти на місцевому та державному рівнях, в яких би формувалась необхідність отримання здорового стилю життя, розраховані на широке коло студентів.

Найефективнішим стимулом для змін є нав'язана зовні практика, яка одночасно звільняє студента від частини його академічних зобов'язань. Водночас для того, щоб усунути відчуття нав'язування, необхідно дати студенту можливість вибирати, який вид практики для нього є найбільш корисним серед кількох варіантів.

Література

[1] Данилко В., Кравченко Т. Формування здорового способу життя студентської молоді засобами фізичного виховання. Теорія та практика фізичної культури та спорту. 2023. № 1. С. 55–61.

[2] Про рекомендації парламентських слухань про становище молоді в Україні «Молодь за здоровий спосіб життя»: Постанова Верховної Ради України від 3 лют. 2011 р. № 2915-VI. Відомості Верховної Ради України. 2011. № 24. С. 173.

[3] Черній В. Історичні аспекти розвитку поняття здорового способу життя. Проблеми формування здорового способу життя молоді : матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, магістрантів та аспірантів / під заг. ред. Р. Р. Сіренко. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2011. С. 57–63.

[4] Медико-соціологічне дослідження способу життя і його впливу на здоров'я людини / В. Й. Шатило, О. В. Дмитрук, І. М. Д'яченко, І. М. Круковська, В. М. Косенко, С. Д. Поплавська, О. О. Хватова, О. С. Шоханов. Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. 2022. № 3 (93). С. 16–21. DOI: https://doi.org/10.11603/1681-2786.2022.3.13431.

A HEALTHY LIFESTYLE IS THE BEST PREVENTION AGAINST DISEASE

Ivan Kulin, Olga Sokol
Admiral Makarov National Shipbuilding University

Abstract. Health is a state of physical, spiritual, and social well-being, not merely the absence of disease or physical infirmity. Health is our most valuable asset. A healthy lifestyle is one based on moral principles; it is rationally organized, active, and industrious, serving to build resilience while protecting against adverse environmental factors, thereby enabling one to maintain moral, mental, and physical health well into old age.

Keywords: health, skills, sport, harmful habits, key components of health, higher education, stress, physical activity.

УДК 613.2:378

РАЦІОНАЛЬНЕ ХАРЧУВАННЯ СТУДЕНТІВ – ЗАПОРУКА ЗДОРОВ'Я

Сокол О.,
старший викладач кафедри фізичного виховання
Кулин І.,
старший викладач кафедри фізичного виховання
Навчально-науковий гуманітарний інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна, Миколаїв
olgavs697@gmail.com

Анотація. Здорове харчування студентської молоді – одна з найважливіших проблем сьогодення, яка формує здоров'я і добробут нації в цілому. Раціональне харчування студентів – це фізіологічно повноцінне споживання їжі з урахуванням їхнього віку, статі, рівня фізичної активності та напруженої розумової праці. Правильне харчування забезпечує нормальний ріст і розвиток організму, визначає розумовий і фізичний розвиток, оптимальне функціонування всіх органів і систем, формування імунітету та адаптаційних резервів організму [1].

Ключові слова: здоров'я, харчування, розвиток організму.

Постановка проблеми. Здорове харчування студентської молоді є однією з найбільших проблем сьогодення, яка формує здоров'я та добробут нації загалом. Правильне харчування забезпечує нормальний ріст і розвиток організму, визначає розумовий та фізичний розвиток, оптимальне функціонування всіх органів і систем, формування імунітету та адаптаційних резервів організму [1].

Методи дослідження. Аналіз наукової та методичної літератури, що розкривають питання здорового харчування студентської молоді.

Результати дослідження та їх обговорення. Харчування – це засіб підтримки життя, росту, розвитку і працездатності людини. А раціональним є таке харчування, яке відповідає потребам організму і виробленим ним енергетичним витратам. Основним принципом раціонального харчування є його збалансованість і правильний режим. Для правильної організації харчування необхідно визначити значення для людини окремих харчових речовин і виразно уявляти собі потребу в них залежно від віку, професії, клімату і соціально-побутових умов [2; 4].

Особливу увагу привертає стан здоров'я та умови харчування молоді, оскільки є умовою створення міцного суспільства. Науковим обґрунтуванням ефективного використання харчування як фактора збереження здоров'я людини і профілактики захворювань є теоретичний розгляд взаємозв'язку харчування та життєдіяльності організму [3].

Науковою організацією раціонального харчування людини, незалежно від її віку та умов праці, є загальні фізіологічно-гігієнічні вимоги до харчового раціону, режиму харчування і умов прийняття їжі.

Основним чинником, що визначає провідну біологічну передумову для організації раціонального харчування студентів є вік (переважно 17–24 роки), який характеризується доволі інтенсивним обміном речовин і статевими особливостями.

Організовуючи харчування студентів, треба враховувати специфічні умови розпорядку дня, завантаженість індивідуальними завданнями, час початку занять, роботу в студентських наукових гуртках, заняття спортом, активними формами відпочинку і праці тощо.

Навіть у стані повного спокою студент витрачає 1500–1800 кілокалорій (кКал) на добу, а під час навчальних занять енергетичні витрати збільшуються майже вдвічі.

У студентів, особливо молодших курсів, калорійність їжі повинна бути на 5–10 % вищою, ніж добовий розхід енергії. Під час академічних занять потреби в енергії студентів мають становити 3300 кКал, студенток – 2800 кКал. На добу студенти найбільше потребують таких харчових речовин: білків – 96–113 г, зокрема тваринних – 58–68 г; жирів – 90–106 г, зокрема рослинних – 27–32 г; вуглеводів – 383–451 г; вітамінів: ретинолу – 1,5 мг, аскорбінової кислоти – 70–82 мг, тіаміну – 1,7–2 мг, рибофлавіну – 2,2–2,6 мг, піридоксину – 2,0–2,3 мг, нікотинової кислоти – 18–22 мг; мінеральних елементів: кальцію – 800 мг, фосфору – 1600 мг, магнію – 500 мг, заліза – 15 мг [2].

Головним джерелом енергії є вуглеводи і жири, які в енергетичному забезпеченні організму мають становити 56 % і 30 % відповідно. 14 % усіх калорій організму повинні становити білки, котрі використовуються здебільшого для будівельних (пластичних) потреб організму.

Нестача або надлишок будь-якого компоненту харчування може зумовити погіршення стану здоров'я. У весняний період часто спостерігаються ознаки дефіциту вітамінів (набряки ясен, сухість шкіри, атрофія чи гіпертрофія слизової оболонки язика тощо). З'являється швидка втомлюваність, поганий настрій, погіршується

загальне самопочуття. Головною причиною цього стану є одноманітність харчування, недостатня кількість овочів, фруктів, молочних страв та інших біологічно цінних продуктів харчування.

У харчуванні студентів не завжди виправдане надмірне споживання хліба, виготовленого з борошна вищого ґатунку, кондитерських виробів і солодощів. Водночас недооцінено значення молока та молочних продуктів, овочів, баштанних культур, ягід, риби, рослинних олій тощо.

Добовий раціон студентів має складатися з 300–320 г м'ясних і рибних продуктів, 0,5 л молока і молочних продуктів, 400–500 г хліба та хлібобулочних виробів, 50–100 г цукру і кондитерських виробів, 300 г картоплі, 250–300 г овочів, 200 г фруктів, 40 г круп і макаронних виробів, 50 г вершкового масла, 20–25 г рослинної олії, 30 г сиру, 15 г сметани, 20 г твердого сиру, 1 яйце на два дні.

Якщо студенти активно займаються спортом і фізичною культурою, добова потреба в усіх компонентах зростає відповідно до енергетичних витрат організму, тобто до 4500–5000 кКал у чоловіків і до 3500–4000 кКал у жінок.

Особливу увагу варто приділяти режимові харчування, що охоплює розподіл продуктів і страв певного хімічного складу та калорійності протягом дня.

Сніданок повинен містити 25–30 % добової калорійності. На сніданок рекомендовано споживати м'ясні або рибні страви з гарніром (краще з овочами), склянку молока, каву або чай. Під час великої перерви буде корисним другий сніданок – 10–15 % добової калорійності (бутерброд з горнятком чаю, булка з кефіром тощо). Це забезпечить високу працездатність до кінця занять.

Після занять доцільно пообідати. Обід повинен містити 35–40 % добової калорійності. На обід рекомендовано споживати не менше чотирьох страв: закуски (краще овочеві, заправлені рослинною олією), першої гарячої страви, другої – м'ясної або рибної страви і чогось солодкого (компот, кисіль тощо).

Вечеря повинна містити 15–20 % добової калорійності. Вечеряти варто овочевими, молочними стравами, стравами з яєць, борошна, тобто такими стравами, що легко засвоюються. Також за вечерею можна випити склянку кефіру, йогурту тощо [2].

Раціональне харчування це фізіологічно повноцінне харчування здорових людей із врахуванням їх віку, статі, характеру праці та інших чинників. Раціональне харчування студентів сприяє збереженню здоров'я, опірності шкідливим факторам навколишнього середовищ а, високій фізичній й розум овій працездатності, а також активному довголіттю.

Висновки і пропозиції.

При раціональному харчуванні потрібно дотримуватись:

- харчового раціону;
- режиму харчування;
- умов вживання їжі.

Забезпечити нормальну життєдіяльність організму можна за допомогою правильного (раціонального) харчування. Харчування є раціональним, якщо воно повністю забезпечує потребу в їжі у кількісному і якісному відношеннях, відновлює всі енергетичні витрати, сприяє правильному росту і розвитку організму, збільшує його опір шкідливим впливам зовнішнього середовища, сприяє розвитку функціональних можливостей і підвищує працездатність людини. Добова витрата енергії повинна повністю покриватися за рахунок енергії, отриманої з їжі.

Література

[1] Гуліч М. П. Раціональне харчування та здоровий спосіб життя – основні чинники збереження здоров'я населення / М. П. Гуліч // Проблемы старения и долголетия. – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 128–132.

[2] Банковська Н. В. Гігієнічна оцінка стану фактичного харчування дорослого населення України та наукове обґрунтування шляхів його оптимізації: автореф. дис. … канд. мед. наук : 14.02.01. Київ, 2008. 24 с.

[3] Григоренко О. М. Еволюція теорії та концепції харчування людини. Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. 2011. № 1 (49). С. 205–217. URL: http://www.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/Vdnuet/tehn/2011_1/Grigor.pdf (дата звернення: 21.09.2026).

[4] Конышев В. Критерий правильного питания. Физкультура и спорт. 2013. № 1. С. 10–11.

Balanced Nutrition for Students – The Key to Good Health

Olga Sokol, Ivan Kulin

Admiral Makarov National Shipbuilding University

Abstract. Healthy nutrition among university students is one of the most important contemporary issues, as it shapes the health and well-being of the nation as a whole. A balanced diet for students entails the consumption of nutritionally adequate food that takes into account their age, gender, level of physical activity, and the demands of intensive mental work. Proper nutrition ensures normal bodily growth and development; it determines mental and physical development, the optimal functioning of all organs and systems, and the formation of the body's immunity and adaptive reserves [1].

Keywords: health, nutrition, physical development.

УДК [373.2.016:82-93]:004

СУЧАСНІ ЦИФРОВІ РЕСУРСИ В ОЗНАЙОМЛЕННІ ДІТЕЙ ІЗ ДИТЯЧОЮ ЛІТЕРАТУРОЮ

Трифонова О.С.,
докторка педагогічних наук, професорка,
в. о. завідувачки кафедри дошкільної освіти
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
e-mail: olena.tryfonova@nuos.edu.ua

Анотація. У статті висвітлено досвід використання сучасних цифрових ресурсів в ознайомленні дітей дошкільного віку з дитячою літературою.

Ключові слова: дитяча література, діти дошкільного віку, цифрові ресурси, інтерактивний літературний контент.

Вступ. Сучасне суспільство характеризується стрімкими соціокультурними та технологічними змінами, що зумовлюють трансформацію підходів до навчання і виховання дітей дошкільного віку. Дитина зростає в насиченому цифровому середовищі, а цифрові ресурси стають складовою сучасного освітнього простору, розширюючи способи подання, сприймання та опрацювання інформації [1]. Водночас ефективність їх використання значною мірою визначається педагогічно доцільним добором цифрового контенту та взаємодією дитини з дорослими в освітньому середовищі [2]. З огляду на психолого-педагогічні особливості дошкільного віку актуальності набувають цифрові формати, що поєднують текстові, візуальні, аудіальні та інтерактивні компоненти: буктрейлери, аудіо- та відеоказки, комікси, електронні книги-панорами тощо. Електронні засоби не замінюють дитячу книжку в її класичному розумінні, а розширюють можливості залучення дітей до слухання і читання дитячої літератури, урізноманітнюють форми взаємодії з художнім твором та сприяють його доступності в сучасному цифровому середовищі.

Мета статті – визначити дидактичні можливості сучасних цифрових ресурсів в ознайомленні дітей дошкільного віку з художньою літературою та обґрунтувати доцільність їх використання в розвитку мовленнєвих, пізнавальних і творчих здібностей дітей.

Виклад основного матеріалу. Аналіз сучасних цифрових засобів в ознайомленні дітей з художньою літературою дозволяє констатувати їх розмаїття в освітньому просторі. З-поміж них:

мобільні додатки для слухання і читання дитячих творів, таких як: Read Along by Google, eKidz.eu – ці додатки поєднують розпізнавання мовлення за допомогою штучного інтелекту та ігрові тести, за допомогою яких дитина оволодіває первинними навичками читання, вправляється в техніці рідного мовлення, в неї розвивається фонематичний слух та інтонаційні засоби виразності мовлення;

електронні бібліотеки та платформи для читання (Національна бібліотека України для дітей, СторіЯ, Library for All, Biblioo.org)**,** що є безкоштовними та доступними для всіх; схвальним є розміщенням творів за жанрами та з урахуванням віку дитини;

мультимедійні книги (е-книгарні FastAR Kids, Vivat; інтерактивна освітня платформа AR Book), що мотивують дитину до слухання і читання творів, розгляду ілюстрацій, оскільки збагачені анімаційними й звуковими ефектами, ігровими завданнями, елементами доповненої реальності та допомагають кращому засвоєнню творів дітьми з різними типами сприйняття (аудіалам, візуалам, кінестетикам) та дітьми з особливими освітніми потребами;

платформи для створення власного літературного контенту (Canva, Kahoot!, Storyboard That, TuxPaint), які допомагають створити цікаві інтерактивні вікторини, кросворди, завдання за змістом прочитаного твору (наприклад, знайти головного героя за його цитатою; словникова робота – добір слів-характеристик до героїв казки та ін.), озвучувати казки, малювати цифрові ілюстрації, створити квест-кімнату (наприклад, дитина відгадує загадки для знаходження загубленого казкового персонажа, чи фрагменту твору; виконує завдання для продовження казкової історії тощо), що, безумовно, сприяє глибшому розумінню дитиною змісту твору.

Особливе місце з-поміж цифрових ресурсів посідають саме ті, що дозволяють створити власний літературний контент. Так, на практичних заняттях під час самостійної роботи з навчальної дисципліни «Дитяча література» майбутні вихователі навчаються створювати *буктрейлери*. Буктрейлер – це короткий відеоролик, який стисло розповідає про сюжет твору, спонукаючи інших до його прочитання. Така діяльність поєднує роботу з художнім текстом і цифровими засобами його представлення, сприяючи розвитку творчого та аналітичного мислення майбутніх вихователів.

Створення буктрейлера передбачає послідовну поетапну роботу: спочатку читання й аналіз твору (з'ясування теми та ідеї твору), надалі написання сценарію ролика, добір відповідних картинок, фонової

музики і нарешті монтаж і запис. Дитина одночасно бачить анімований кадр, чує фонову музику, дібрану відповідно до змісту твору, слухає голоси персонажів. Таке поєднання візуального, аудіального та вербального компонентів забезпечує мультимодальне сприймання художнього твору й може посилювати емоційне залучення дитини до його змісту.

Розробка *коміксів* за мотивами прочитаного розвиває образне мислення, навички розуміння сюжетної лінії твору, його прихованого змісту; вміння найточніше передавати емоції персонажів через колір та форму за допомогою графічних онлайн-інструментів. Це можуть бути як портрети головних героїв, обкладинки до творів, так і сюжет будь-якого твору з діалоговими «віконцями».

Запис *аудіоказок і дитячих подкастів* сприяє розвитку емпатії, слухової уваги, вдосконаленню техніки читання, формуванню вміння передавати за допомогою інтонаційних засобів характер і емоційний стан персонажів, перевтілюватися в їхні образи, а також методично доцільно добирати музичний супровід і шумові ефекти.

Створення *інтерактивних цифрових ілюстрацій, плакатів, ментальних карт* за змістом художнього твору, зокрема карт мандрівок героїв казки чи інтерактивних локацій, дає змогу візуалізувати сюжет і взаємозв'язки між його компонентами та забезпечує активну взаємодію дитини з літературними образами через дотикове керування.

Важливу роль в ознайомленні з дитячою літературою відіграє принцип партнерської взаємодії – вихователі – батьки – діти. Відповідно до якого педагог рекомендує батькам якісний застосунок із інтерактивними книгами, аудіоказками, що відповідають віковим та психологічним особливостям дитини дошкільного віку; надає методичні рекомендації щодо літературознавчого аналізу за змістом твору (наприклад, обговорити вчинки головних персонажів казки; задати запитання; намалювати разом улюбленого героя; придумати вікторину тощо), емоційної підтримки дитини під час слухання дитячої літератури. Особливої уваги потребують консультації вихователів із батьками щодо правил безпечного користування ґаджетами, «цифрових технологій у взаємодії з дитиною» [3].

Висновки. Цифрові ресурси в ознайомленні дітей дошкільного віку з дитячою літературою є сучасним потужним інструментом поряд із традиційною книгою, яку не замінюють, а навпаки розширюють її значення у вихованні й навчанні дитини дошкільного віку, роблячи цей процес захопливим і доступним. Цифровий контент покращує сприймання дитиною інформації з різних каналів – текстового, візуального, звукового, орієнтуючи дитину насамперед на художнє слово та його аналіз; мотивує дитину до інтерактивної взаємодії із літературою, забезпечуючи розуміння причинно-наслідкових зв'язків у вчинках головних персонажів, метафор, образних порівнянь; розвиває слухове сприймання, уяву, критичне мислення й мовленнєво-творчі здібності за змістом художнього твору.

Література

[1] Левінець Н. (2024). Характеристика цифрових дидактичних матеріалів у роботі з дітьми дошкільного віку. *Теоретико-методичні проблеми виховання дітей та учнівської молоді*. *28* (1). 261–273. https://doi.org/10.32405/2308-3778-2024-28-1-261-273

[2] Суятинова К. Є. Партнерська взаємодія сім'ї та закладу дошкільної освіти у процесі формування цифрової компетентності дошкільників. *Наука і освіта*. 2024. № 2. С. 41–46. DOI: https://doi.org/10.24195/2414-4665-2024-2-6

[3] Концепція цифрової гігієни дітей дошкільного віку. 2025. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-2025-%D1%80#Text (дата звернення: 25.09.26 р.).

MODERN DIGITAL RESOURCES FOR INTRODUCING CHILDREN TO CHILDREN'S References

Olena Tryfonova
Doctor of Pedagogical Sciences, professor,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

The article highlights the experience of using modern digital resources to introduce preschool children to children's literature.

Keywords: children's literature, preschool children, digital resources, interactive literary content.

УДК 629.5:331.36

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ПЕРСОНАЛУ СУДНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТА ІНДУСТРІЇ 5.0

Щедролосєв О.В.,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Суднобудування та ремонту суден
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
Коновалова Г.В.,
кандидат наук, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден
konovalovaiiianna@gmail.com
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Обґрунтовано актуальність формування професійних компетентностей персоналу суднобудівних підприємств в умовах цифровізації та Індустрії 5.0. Систематизовано основні напрями підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації персоналу з урахуванням технологічних змін у галузі. Узагальнено відповідність між потребами сучасного суднобудівного виробництва, необхідними компетентностями та можливостями освітньої підготовки. Визначено пріоритетність цифрових, робототехнічних, екологічних, управлінських і міждисциплінарних компетентностей та обґрунтовано необхідність модульної й безперервної професійної освіти у взаємодії підприємств із закладами освіти.

Ключові слова: суднобудування, професійні компетентності, цифровізація, Індустрія 5.0, підготовка персоналу, перепідготовка, підвищення кваліфікації, цифрові технології, кадровий потенціал.

Вступна частина. Суднобудування належить до високотехнологічних і наукомістких галузей, у яких технологічні зміни безпосередньо впливають на вимоги до професійної підготовки персоналу. Цифрове проєктування, автоматизація, роботизація, розвиток інформаційних систем, посилення вимог до екологічності виробництва та поширення міждисциплінарних форм роботи зумовлюють необхідність оновлення змісту професійних компетентностей працівників. У цих умовах підготовка кадрів має бути орієнтована не лише на засвоєння традиційних технологій суднобудування, а й на здатність персоналу працювати з новими цифровими та виробничими інструментами.

Мета роботи. Метою роботи є систематизація вимог до професійних компетентностей персоналу суднобудівних підприємств в умовах цифровізації та Індустрії 5.0 і визначення ролі підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації у забезпеченні відповідності персоналу сучасним потребам виробництва.

Основна частина. Системний розвиток кадрового потенціалу суднобудівного підприємства передбачає поєднання різних рівнів професійної освіти, виробничого навчання та безперервного підвищення кваліфікації. Підготовка персоналу забезпечує здобуття теоретичних знань і практичних умінь відповідно до кваліфікаційних вимог; перепідготовка дає змогу змінювати професійний профіль працівника відповідно до нових завдань виробництва; підвищення кваліфікації спрямоване на поглиблення вже набутих професійних знань і навичок та освоєння нових технологій.

Для суднобудівних підприємств принципово важливим стає узгодження кадрової політики з технологічними змінами. Раціональний підбір і розставлення кадрів мають доповнюватися прогнозуванням потреб у компетентностях, розвитком кадрового резерву та регулярним оновленням навчальних програм. Такий підхід дає змогу пов’язати потреби підприємства з можливостями професійної освіти та виробничого навчання.

Узагальнення матеріалів дослідження дає підстави виділити п’ять взаємопов’язаних груп компетентностей, актуальних для персоналу сучасного суднобудівного підприємства: технологічні; цифрові; робототехнічні та автоматизаційні; екологічні; управлінські й міждисциплінарні. Технологічні компетентності забезпечують володіння базовими процесами суднобудування, цифрові – роботу з CAD/CAE, 3D-моделюванням та іншими цифровими засобами, робототехнічні – програмування і налаштування роботизованого обладнання, екологічні – застосування принципів зеленого суднобудування, управлінські та міждисциплінарні – координацію проєктів, командну взаємодію та використання цифрових інструментів управління.

Особливого значення набувають міжфункціональні ролі: керівники проєктів, фахівці з технічного обслуговування, IT та кібербезпеки. Одночасно цифрова трансформація змінює вимоги до робітничих професій. Зварювальникам необхідно опановувати сучасні методи, зокрема роботизоване зварювання; креслярам – сучасні засоби САПР і 3D-моделювання; фахівцям з логістики – цифрові системи управління запасами та аналітичні інструменти. Отже, оновлення компетентностей має охоплювати всі рівні персоналу, а не лише інженерно-технічні посади.

На цій основі доцільно переходити від фрагментарного навчання до модульних освітніх траєкторій, які поєднують професійні дисципліни з цифровими, екологічними та міждисциплінарними компонентами. Важливою умовою є практична орієнтація навчання та його узгодження з реальними технологічними процесами підприємств.

Таблиця 1 – Відповідність потреб суднобудівного виробництва, компетентностей та освітньої підготовки

ПОТРЕБА СУДНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА	НЕОБХІДНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ	ЩО МАЄ ЗАБЕЗПЕЧИТИ ОСВІТА
Цифрове проєктування	CAD/CAE, 3D-моделювання	практичні цифрові модулі
Роботизація виробництва	програмування та налаштування роботів	лабораторна підготовка
Автоматизація	цифрові системи управління	проєктне навчання
Кібербезпека	захист виробничих і суднових систем	спеціалізовані дисципліни
Зелене суднобудування	екологічні технології	міждисциплінарна підготовка
Управління проєктами	BIM/цифрові засоби, project management	практичні проєкти з підприємствами

Запропонована матриця показує, що потреби цифровізованого суднобудівного виробництва безпосередньо трансформуються у вимоги до змісту освітніх програм. Отже, ефективність кадрової підготовки визначається не кількістю окремих навчальних заходів, а здатністю системи освіти та підприємства спільно формувати компетентності, необхідні для конкретних технологічних процесів.

Практичним механізмом реалізації такого підходу є партнерство підприємств із закладами освіти, що передбачає участь роботодавців у визначенні змісту освітніх модулів, організації практичної підготовки та оновленні компетентнісних вимог. Безперервність навчання при цьому має забезпечувати можливість оперативної перепідготовки працівників у разі зміни технологій, обладнання або виробничих завдань.

Підвищення кваліфікації і досить є популярним на підприємствах з ряду причин: дешевше підготовки фахівців, менша тривалість навчання в порівнянні з підготовкою персоналу, цільова спрямованість навчання на вузькому колі навчальних модулів для фахівців і керівників, наприклад «Персонал», «Маркетинг», «Цінні папери», «Стандартизація», «Якість» і т. д.



Рисунок 1 – Схема формування принципів підвищення кваліфікації

Висновки. Формування професійних компетентностей персоналу суднобудівних підприємств в умовах цифровізації та Індустрії 5.0 потребує переходу від традиційної моделі кадрової підготовки до безперервної компетентнісно орієнтованої системи. У роботі систематизовано п'ять взаємопов'язаних груп компетентностей – технологічні, цифрові, робототехнічні та автоматизаційні, екологічні, управлінські й міждисциплінарні – та встановлено їх відповідність ключовим технологічним потребам сучасного суднобудування.

Показано, що оновлення компетентностей має охоплювати всі категорії персоналу – від робітничих професій до інженерів, IT-фахівців і керівників проєктів. Практичним результатом є систематизація відповідності між потребами виробництва, необхідними компетентностями та формами освітньої підготовки. Подальший розвиток кадрового потенціалу доцільно пов'язувати з модульними освітніми траєкторіями, практичним навчанням і постійною взаємодією суднобудівних підприємств із закладами освіти.

Література

[1] Pais T., Vergassola G., Gaiotti M., Rizzo C. M., Valtanen J., Kivela S., Lenarduzzi W., Hauninen M., Laot A. H., Gilles P. P., El Faziki M., Nechita M., Popescu G., Thormodsæter J., Severeide K., Mendibil A., Miguelez F., Campos J. A., Sanchez-Beaskoetxea J., Boullosa-Falces D., Rossi A. An Overview of the Shipbuilding Labour Market: Technology and Science for the Ships of the Future. Proceedings of the 21st International Conference on Ships and Maritime Research (NAV 2025), Messina, Italy, 18–20 June 2025. SAGE Publications, 2025. P. 655–662. DOI: 10.3233/PMST250079.

[2] Lipis E., Schislyaeva E. Qualification and mobility of transport complex personnel in the digitalization of shipbuilding. Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 63. P. 2138–2150. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.240.

[3] Яглицький Ю. К. Підготовка виробництва в суднобудуванні з використанням інформаційних технологій: навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2018. – 300 с.

FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF SHIPBUILDING ENTERPRISE PERSONNEL IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION AND INDUSTRY 5.0

Shchedrolosiev Oleksandr Viktorovych, Konovalova Hanna Vasylivna

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The relevance of developing professional competencies of shipbuilding enterprise personnel in the context of digitalization and Industry 5.0 is substantiated. The main directions of personnel training, retraining and advanced training are systematized with regard to technological changes in the industry. The correspondence between the needs of modern shipbuilding production, required competencies and educational opportunities is summarized. The priority of digital, robotic, environmental, managerial and interdisciplinary competencies is identified, and the need for modular and continuous professional education in cooperation between enterprises and educational institutions is substantiated.

Keywords: shipbuilding, professional competencies, digitalization, Industry 5.0, personnel training, retraining, advanced training, digital technologies, human-resource potential.

УДК 378:[37.011.3-051:78]:784

ВОКАЛЬНА МАЙСТЕРНІСТЬ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ МУЗИЧНОГО МИСТЕЦТВА ЯК СКЛАДОВА ЙОГО ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ

Щетиніна Г.Ю.,

здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти

спеціальності А4 Середня освіта / А4.13 Мистецтво. Музичне мистецтво

galinabron25@gmai.com

Науковий керівник: Щербак І. В., кандидат педагогічних наук, доцент,

shcher.i.v@gmail.com

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Стаття присвячена визначенню ролі вокальної майстерності у структурі професійної компетентності майбутнього вчителя музичного мистецтва. Розглянуто сутність професійної компетентності та вокальної майстерності, визначено їх взаємозв'язок та професійне значення вокальної підготовки для майбутнього педагога-музиканта.

Ключові слова: вокальна майстерність, професійна компетентність, майбутній вчитель музичного мистецтва.

Вступна частина. Професійна підготовка майбутнього вчителя музичного мистецтва передбачає формування комплексу компетентностей, необхідних для здійснення музично-педагогічної діяльності. Важливою складовою такої підготовки є вокальна майстерність, оскільки професійна діяльність вчителя музичного мистецтва безпосередньо пов'язана з виконанням вокальних творів, демонстрацією художньо-виразної інтерпретації та організацією музичної діяльності учнів. У цьому контексті вокальна майстерність постає не лише як сукупність виконавських умінь, а як професійно значуща якість майбутнього вчителя.

Мета роботи полягає у визначенні ролі вокальної майстерності у структурі професійної компетентності майбутнього вчителя музичного мистецтва та обґрунтуванні її професійного значення.

Основна частина. Професійну компетентність майбутнього вчителя музичного мистецтва доцільно розглядати як інтегративну характеристику фахівця, що поєднує його основні професійно-особистісні якості та готовність реалізовувати їх у різноманітних ситуаціях професійної діяльності [2, с. 54]. Її формування передбачає не лише засвоєння системи теоретичних знань, а й набуття практичних умінь застосовувати їх у музично-педагогічній роботі, передавати знання учням та організовувати різні види музичної діяльності.

Специфіка професійної компетентності майбутнього вчителя музичного мистецтва зумовлена багатоаспектністю його діяльності, яка поєднує педагогічний, виконавський та організаційний складники. Відповідно, професійна підготовка має забезпечувати готовність майбутнього фахівця до вокально-хорової, інструментальної та диригентської діяльності, художньо-педагогічного аналізу музичних творів, розвитку музичних здібностей учнів та розкриття художнього образу музичного твору [5, с. 182].

У наукових дослідженнях професійна компетентність вчителя музичного мистецтва характеризується як складне багатокомпонентне утворення, що охоплює мотиваційні, когнітивні, діяльнісні, комунікативні, особистісні, емоційно-вольові та оцінно-рефлексивні складники [3, с. 401]. Така структура відображає необхідність поєднання фахових знань, практичних умінь, музичних здібностей та професійно-особистісних якостей, що забезпечують ефективне здійснення музично-педагогічної діяльності. Варто зауважити, що серед фахових характеристик майбутнього вчителя особливого значення набувають виконавські вміння, зокрема вокальні, оскільки саме вони безпосередньо пов'язані з практичною реалізацією його професійної діяльності.

Проблематика вокальної майстерності та професійної вокальної підготовки майбутніх вчителів музичного мистецтва представлена у працях дослідників вокальної педагогіки, зокрема, В. Антонюк, Л. Гавриленко, Н. Гребенюк, Б. Гнидь, Г. Падалки, С. Ріггса, О. Рудницької, І. Цуканова, Ю. Юцевича, Р. Юссона та інших науковців. У їхніх дослідженнях висвітлюються питання розвитку співацького голосу, вокальної техніки, виконавської культури та професійної підготовки фахівця, що засвідчує багатовимірність вокальної майстерності, та поєднання в ній технічних, художньо-виконавських та професійно-педагогічних аспектів.

У науковій літературі вокальна майстерність розглядається як високий рівень володіння голосом та виконавською діяльністю. Науковці визначають її як рівень досконалого володіння вокальним голосом, що дає змогу передавати найтонші почуття та емоційні стани, а також розкривати художній образ вокального твору за допомогою комплексу засобів виразності. Важливим для нашого дослідження є розуміння вокальної майстерності саме в контексті професійної діяльності майбутнього вчителя музичного мистецтва – як вияв високого рівня вокальної діяльності педагога, що ґрунтується на інтегративній єдності власного вокального розвитку та оволодінні методикою вокального навчання учнів [4, с. 513]. Отже, вокальна майстерність учителя не обмежується виконавською досконалістю, а передбачає здатність використовувати вокальні вміння у процесі професійної педагогічної діяльності.

Близький підхід простежується у визначенні П. Волошина, який розглядає вокальну майстерність вчителя музичного мистецтва як складний синтез вокально-технічних умінь, художньо-освітнього досвіду та педагогічної компетентності [1, с. 59]. Такий підхід дає підстави розглядати її як інтегративну професійно значущу якість, у якій поєднується технічна досконалість голосу, емоційна виразність виконання, художнє осмислення твору та готовність застосовувати набуті вміння у педагогічній роботі.

Узагальнюючи, можемо стверджувати, що вокальна майстерність майбутнього вчителя музичного мистецтва є складним утворенням, що поєднує вокально-технічну підготовку, художньо-виконавські вміння та педагогічну спрямованість. Її професійне значення визначається тим, що голос вчителя є не лише засобом власного музичного самовираження, а й важливим інструментом демонстрації музичного матеріалу, художньої інтерпретації творів та організації вокально-музичної діяльності учнів.

Зазначимо, що вокальна майстерність пов'язана з виконавською складовою професійної компетентності майбутнього вчителя музичного мистецтва, оскільки передбачає сформованість вокально-технічних умінь, здатність художньо інтерпретувати музичний твір, передавати його образно-емоційний зміст та використовувати різноманітні засоби музичної виразності. В той же час досконале володіння голосом сприяє розвитку професійної впевненості педагога, його здатності якісно демонструвати музичний матеріал та бути виконавським орієнтиром для учнів. Таким чином, вокальна майстерність забезпечує не

лише належний рівень практичної музичної діяльності, а й формує важливу основу професійної самореалізації вчителя.

Професійне значення вокальної майстерності виявляється також у педагогічному, комунікативному та художньо-естетичному вимірах. Вчитель використовує власний голос як засіб педагогічного впливу, спілкування та передачі художнього змісту, а виразне вокальне виконання допомагає зацікавити учнів, активізувати їхнє емоційне сприймання музики та формувати відповідне ставлення до мистецтва. Тому, на нашу думку, сформована вокальна майстерність сприяє розвитку виконавських, педагогічних, комунікативних, художньо-естетичних та творчих якостей майбутнього вчителя та є одним із важливих засобів реалізації його професійної компетентності.

Висновки. Отже, вокальна майстерність майбутнього вчителя музичного мистецтва є не лише показником рівня його виконавської підготовки, а й професійно значущою якістю, що забезпечує ефективне здійснення музично-педагогічної діяльності. Її сформованість сприяє забезпеченню можливості поєднувати виконавські, педагогічні, комунікативні, художньо-естетичні та творчі можливості фахівця, що дає підстави розглядати вокальну майстерність як важливу складову професійної компетентності майбутнього вчителя музичного мистецтва.

Література

[1]. Волошин П. Методика формування вокальної майстерності майбутніх учителів музичного мистецтва в умовах сучасної освіти України. *Психолого-педагогічні проблеми сучасної школи*. 2026. № 1 (15). С. 57–63. DOI: https://doi.org/10.31499/2706-6258.1 (15).2026.359637

[2]. Желанова В. Модель професійної компетентності майбутнього вчителя музичного мистецтва. *Педагогіка та психологія.* 2020. № 63. С. 51–59. DOI: http://doi.org/10.34142/2312-2471.2020.63.06

[3]. Жога Р. А. Структура фахової компетентності майбутніх учителів музичного мистецтва. *Вісник науки та освіти. Серія: Педагогіка*. 2023. № 2 (8). С. 397–409. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6165-2023-2 (8)-397-409

[4]. Косяк Л., Закора А. Визначення поняття «вокально-сценічна майстерність майбутнього вчителя музичного мистецтва» у наукових дослідженнях. *Шляхи розвитку науки в сучасних кризових умовах* : тези доп. І міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 28–29 трав. 2020 р. Дніпро, 2020. Т.1. С. 512–515. URL: https://pedagogy.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/03/T.1-28.05.2020-29.05.2020.pdf#page=512 (дата звернення: 21.09.2026).

[5]. Сбітнєва Л. Формування професійної компетентності майбутнього вчителя музичного мистецтва у процесі фахового навчання. *Духовність особистості: методологія, теорія і практика.* 2021. Т. 1. № 2 (101). С. 179–187. DOI: https://doi.org/10.33216/2220-6310-2021-101-2_1-179-187

VOCAL MASTERY OF THE FUTURE MUSIC TEACHER AS A COMPONENT OF PROFESSIONAL COMPETENCE

Shchetynina Halyna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article focuses on determining the role of vocal mastery in the structure of the professional competence of future music teachers. The essence of professional competence and vocal mastery is examined, their interrelationship is identified, and the professional significance of vocal training for future music teachers is substantiated.

Keywords: vocal mastery, professional competence, future music teacher.

УДК 378.011.3-051:373.2:005.336.2]:37.091.3:004

ІГРОВІ ТА ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ

Тесленко С.О.,*кандидат педагогічних наук,*
доцент кафедри дошкільної освіти
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
teslenkosvetlana808@gmail,com

Анотація: У статті розглянуто проблему формування професійної компетентності майбутніх фахівців дошкільної освіти в умовах цифрової трансформації освітнього середовища. Проаналізовано сутність поняття «професійна компетентність» та визначено педагогічний потенціал ігрових і цифрових технологій у професійній підготовці майбутніх вихователів.

Ключові слова: цифрові технології, професійні компетентності, підготовка майбутнього фахівця.

Проблема формування професійної компетентності майбутніх фахівців дошкільної освіти залишається актуальною в умовах цифровізації суспільства та освітнього середовища. Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій зумовлює нові вимоги до професійної підготовки майбутніх вихователів, які мають володіти сучасними педагогічними технологіями, інформаційно-цифровими компетентностями та вміти педагогічно доцільно використовувати цифрові ресурси.

Мета статті: розглянути проблему професійної підготовки майбутніх фахівців дошкільної освіти засобами цифрових та ігрових технологій.

Дослідження проблеми професійної підготовки майбутніх фахівців дошкільної освіти зумовило насамперед визначення сутності понять «професійна компетентність», «цифрові технології». У Енциклопедії освіти поняття «професійна компетентність» розглядають як інтегративну характеристику ділових і особистісних якостей фахівця, що відображає рівень знань, умінь, досвіду, достатніх для досягнення мети з певного виду професійної діяльності, а також моральну позицію фахівця [3, с. 722]. Отже, професійна компетентність – це сукупність знань і вмінь, необхідних фахівцю для здійснення ефективної професійної діяльності: вміння аналізувати і прогнозувати результати праці, використовувати сучасну інформацію в освіті.

Т. Марич та Л. Борейчук, зазначають, що основним призначенням професійної підготовки майбутніх фахівців дошкільної освіти є гармонійний розвиток їхньої особистості в соціальному та індивідуальному вимірах. Науковці розглядають професійну компетентність педагога як інтегративну характеристику, що виявляється у здатності знаходити й створювати ефективні шляхи розв'язання професійно-педагогічних завдань, пов'язаних із навчальною, дослідницькою та виховною діяльністю [1, с. 89].

Професійна підготовка майбутніх фахівців дошкільної освіти в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова здійснюється відповідно до вимог державної освітньої політики, чинних нормативно-правових документів у сфері освіти, професійного стандарту «Вихователь закладу дошкільної освіти» та Стандарту вищої освіти за спеціальністю 012 «Дошкільна освіта» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Зазначені нормативні документи визначають вимоги до змісту професійної підготовки майбутнього вихователя, окреслюють програмні результати навчання та комплекс компетентностей, необхідних для ефективного здійснення професійної діяльності. Професійна компетентність вихователя формується на основі поєднання теоретичних знань і практичних умінь, що забезпечує його готовність до розроблення, упровадження та вирішення навчальних і дослідницьких завдань. Важливість оволодіння педагогічним інструментарієм у професійній діяльності підкреслював ще Я. А. Коменський, наголошуючи на необхідності спеціальної підготовки вчителя до використання засобів навчання та виховання. Ця ідея набуває нового змісту в умовах цифрової трансформації освіти, коли педагогічний інструментарій розширюється завдяки ігровим, цифровим, мультимедійним та інтерактивним технологіям.

Ігрові технології розглядаємо як сукупність методів, прийомів і форм організації освітньої діяльності, що ґрунтуються на моделюванні професійних та педагогічних ситуацій, ділових іграх, педагогічному моделюванні та інших видах навчальної діяльності з ігровим компонентом. Їх використання створює умови для активного залучення здобувачів освіти до освітнього процесу, розвитку творчого мислення, комунікативних умінь, здатності приймати рішення та діяти в умовах змодельованих професійних ситуацій.

Цифрові технології, своєю чергою, розширюють можливості організації освітнього процесу, забезпечуючи доступ до цифрових ресурсів, створення, опрацювання, зберігання та поширення інформації, а також використання інтерактивних інструментів для навчання, комунікації та спільної діяльності. У контексті

професійної підготовки майбутніх вихователів цифрові технології доцільно розглядати не лише як технічні засоби, а як інструмент педагогічного проєктування, творчої діяльності та професійної взаємодії. М. Деренюк цифрові технології розглядає як інтегровану систему цифрових засобів, освітніх ресурсів і педагогічних методів, що забезпечує організацію, супровід і трансформацію освітнього процесу, сприяючи підвищенню його ефективності та формуванню ключових компетентностей здобувачів освіти [2, с. 91].

Поєднання ігрових та цифрових технологій створює умови для активної суб'єкт-суб'єктної взаємодії викладача і здобувачів освіти. Студент отримує можливість не лише висловити власну позицію, а й аргументувати її, обґрунтовувати прийняті рішення, співпрацювати з іншими учасниками освітнього процесу та здійснювати рефлексію власної діяльності. Особливо цінним є те, що застосування ігрових технологій дозволяє максимально наблизити професійну підготовку до реальних умов майбутньої педагогічної діяльності: проєктувати заняття та освітні ситуації, створювати педагогічні проєкти, моделювати взаємодію з дітьми й батьками, аналізувати професійні проблеми та знаходити шляхи їх розв'язання. Наведемо приклад такої роботи. Так, під час практичного заняття з дисципліни «Екологія та природознавство з методикою» було використано ділову гру «Методична рада» з теми «Особливості формування у дітей навичок сталого розвитку». Така форма роботи забезпечила активне залучення студентів до обговорення проблеми, створила атмосферу творчої взаємодії та професійного занурення в змодельовану педагогічну ситуацію. Водночас формування професійної компетентності майбутніх вихователів потребує не лише розвитку вміння використовувати ігрові технології, а й оволодіння цифровими інструментами для створення власного освітнього контенту. Саме тому під час вивчення дисципліни «Нові інформаційні технології з методикою» здобувачі вищої освіти опановували можливості сучасних цифрових сервісів, зокрема Kahoot, LearningApps, Wordwall, InShot та інших ресурсів. У процесі практичної роботи студенти створюють інтерактивні вікторини, дидактичні ігри, ребуси, мультимедійні матеріали та відеопродукти, які надалі можуть бути використані під час вивчення методик дошкільної освіти та проходження педагогічної практики. Зокрема, студентами було розроблено проєкт «Онлайн-батьківський куточок», реалізованого на базі Центру розвитку дітей викладачів, студентів та аспірантів «Малюк НУК». Важливо, що така підготовка здійснюється не ізольовано від реальних професійних потреб, а в безпосередньому зв'язку з актуальними викликами сучасної дошкільної освіти та практичними завданнями діяльності вихователя.

Отже, системне використання ігрових та цифрових технологій у професійній підготовці майбутніх вихователів сприяє формуванню їхньої професійної компетентності, підвищує мотивацію до навчання, розвиває творчий потенціал і забезпечує готовність до педагогічної діяльності в умовах цифрової трансформації дошкільної освіти.

Література

[1] Боремчук Л. І., Марач Т. М. Формування професійної компетентності майбутніх фахівців дошкільної освіти. Інноваційна педагогіка. 2025. Вип. 80, т. 1. С. 88-91. URL: (дата звернення: 23.09.2026).

[2] Деренюк М. П. Цифрові освітні технології як чинник підвищення якості освітнього процесу в закладах професійної та вищої освіти. Педагогічний альманах. 2026. Вип. 62. С. 89-98.

[3] Енциклопедія освіти / Академія педагогічних наук України; гол. ред. В.Г. Кремень. Київ: Юрінком Інтер. 2008. 104 с.

GAME-BASED AND DIGITAL LEARNING TECHNOLOGIES AS A MEANS OF DEVELOPING THE PROFESSIONAL COMPETENCE OF FUTURE EARLY CHILDHOOD EDUCATION SPECIALISTS

Teslenko S.O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The article examines the issue of developing professional competence among future early childhood education specialists within the context of the digital transformation of the educational environment. It analyzes the essence of the concept of "professional competence" and identifies the pedagogical potential of game-based and digital technologies in the professional training of future educators.

Keywords: digital technologies, professional competencies, training of future specialists.

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

RESEARCH OF TOWING CHARACTERISTICS OF THE CONCEPT OF THE LARGEST AT CASPIAN SEA DCCV64 780 TEU SHALLOW-DRAUGHT MULTIPURPOSE CONTAINER VESSEL FOR AD PORTS GROUP
Kuzmenko A.M., Savelieva I.V., Egorov O.G., Demidiuk O.V. 3

СТРУКТУРА КЛАСТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПОБУДОВИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН НА ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХАХ УКРАЇНИ
Гурський С.В. 6

ПЛАНУВАННЯ ДІАГНОСТИКИ ВИРОБНИЧОГО КАПІТАЛУ СУДНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ПОВОЄННИЙ ЧАС
Жукова О.Ю. 9

CONVERSION OF AN INLAND CARGO BARGE INTO A MODULAR FLOATING AQUACULTURE PLATFORM: STRUCTURAL ASSESSMENT
Ungureanu C., Perijoc S., Gavan E. 11

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ
Буссов Д.Є. 14

СУЧАСНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОРАБЛЕБУДІВНОЇ ОСВІТИ
Нєкрасов В.О., Ястреба О.П. 16

FUEL CELLS AS A KEY ELEMENT OF A HYBRID SHIP POWER PLANT
Korobko V., Berning T. 20

СУЧАСНІ ТРЕНДИ В ДІЯЛЬНОСТІ РЕГІСТРІВ СУДНОБУДУВАННЯ
Слободян С.О., Харитонов Ю.М. 22

СЕКЦІЯ 1. ПРОЄКТУВАННЯ, КОНСТРУЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ СУДНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ОКЕАНОТЕХНІКИ

ПАРАМЕТРИЧНЕ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄМІВ ТА РОЗПОДІЛ МАС У МОДУЛЬНИХ СУДНАХ ОБМЕЖЕНОГО РАЙОНУ ПЛАВАННЯ
Єгоров О.Г., Урум Б.В. 25

CREATION OF PHILOSOPHY OF SUBSEA CONSTRUCTION VESSELS FOR THE CASPIAN REGION
Egorov O.G., Abdullayev O.M. 27

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯМ ПРИВ'ЯЗНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА
Войтасик А. М. 29

ВПЛИВ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ НА ВИКОРИСТАННЯ МОРСЬКИХ ДРОНІВ У ПІДВОДНИХ БУКСИРУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ
Трунін К.С. 32

ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙНУ КАТЕРІВ ДЛЯ РИБОЛОВЛІ З КОМПОНУВАЛЬНИМ ВАРІАНТОМ – ЦЕНТРАЛЬНА КОНСОЛЬ
Коваль С.С. 34

СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИЩОЇ ОСВІТИ У ГАЛУЗІ СУДНОБУДУВАННЯ
Бідніченко О.Г. 35

ОРГАНІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОСТОРУ ФОРДЕКУ НА ЯХТАХ РІЗНОГО РОЗМІРУ: ТЕНДЕНЦІЇ СУЧАСНОГО
Сергієнко О.М. 38

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ МЕБЛІ ТА ТРАНСФОРМОВАНЕ ОБЛАДНАННЯ В ДИЗАЙНІ ІНТЕР'ЄРІВ СУДЕН ЯК ЗАСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТОРОВОГО СЕРЕДОВИЩА
Соколов В.А. 40

ЩОДО ВИБОРУ ФОРМИ КОРПУСУ ПІДВОДНОГО АПАРАТА ПЛАНЕРНОГО ТИПУ
Бабенко В.В., Кочін В.О., Мороз В.В., Старовєров Д.М. 42

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНИКИ
Бабкін Г.В. 44
ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НОСОВИХ ОБВОДІВ КОРПУСІВ ПІДВОДНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ГАУСМОДИФІКОВАНИХ ЦИКЛОЇДАЛЬНИХ КРИВИХ
Котляр Д.В. 47
АНАЛІЗ ШВИДКІСНИХ ЧОВНІВ ДЛЯ ВНУТРІШНІХ ВОДОЙМ І РОЗРОБКА СТАТИСТИЧНОЇ МЕТОДИКИ ДЛЯ ПОЧАТКОВОЇ РОЗРОБКИ ЇХ ПРОЄКТІВ
Кротов О.І., Костюк О.В., Астахова А.О. 50
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ МАЛИХ ГЛІСУЮЧИХ КАТЕРІВ
Пікуш Ю.С., Пащенко Ю.М. 53
ПРО КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЗЕРНОВОЗУ
Ратуш А.Ю., Пащенко Ю.М. 57
ВПЛИВ ПОЛЕГШЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НА ВІТРОВЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ ПОНТОНА ПЛАВУЧОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ПОНТОННОГО ТИПУ
Нірумандм М.М., Зайцев В.В. 59
ДО ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ТЕЧІЙ З РОЗВИТОЮ КАВІТАЦІЄЮ
Сєрєбряков В.В. 61
АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЙ “ADVANCED OUTFITTING” НА СКОРОЧЕННЯ СТАПЕЛЬНОГО ПЕРІОДУ В СУДНОБУДУВАННІ
Щедролосєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В. 64
ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЦИФРОВОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА В СУДНОРЕМОНТІ
Щедролосєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В. 67
ФОРМАЛІЗОВАНА ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ТА КОНЦЕПЦІЯ GOAL-BASED STANDARDS У СУЧАСНОМУ РИЗИКООРІЄНТОВАНОМУ ПРОЄКТУВАННІ СУДЕН
Щедролосєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В., ... 70
ГІДРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИЛА, ЩО КОЛИВАЄТЬСЯ, З ГНУЧКОЮ ХВОСТОВОЮ ЧАСТИНОЮ
Воропаєв Г.О., Коробов В.І. 72
ВИБІР СКЛАДУ СПОЛУЧНИКА ДЛЯ 3D-ДРУКУ БЛОКІВ ПЛАВУЧОСТІ ЗІ СФЕРОПЛАСТИКУ
Соломонюк Н.С., Юреско Т.А., Яковенко С.В. 76
ВПЛИВ ПООКРЕМО ЗСУВУ І ІНЕРЦІЇ ОБЕРТАННЯ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ НА ВЛАСНІ ЧАСТОТИ КОРПУСУ МАЛОГО СУДНА
Соков В.М. 79
ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ІНДЕКСІВ ДЛЯ ПЕРЕДЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТРАЄКТОРІЙ WAAM-НАПЛАВЛЕННЯ
Манько В.В. 81
COMPARISON EVALUATION OF CONSTRUCTION SAFETY FOR GAS CARRIERS WITH SPHERICAL AND PRISMATIK CARGO TANKS WHEN COLLISION
Mykhaylov B.N. 83
АНАЛІЗ ВИБОРУ СМОЛ ДЛЯ CIPP-РЕМОНТУ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ СЕУ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ
Авдюнін Р.Ю., Андреєв А.А. 84
ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТРУБОПРОВОДІВ CURED-IN-PLACE PIPE ДЛЯ РЕМОНТУ КОНТУРІВ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СЕУ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ
Авдюнін Р.Ю., Вагін Ф.І., Лубянський Р.А. 88
АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ (3D-ДРУК) У СУДНОВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ
Авдюнін Р.Ю., Колесников О.В., Білоус А.О. 91
УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ
Коновалова Г.В., Баліцька А.В., ... 95

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА В СУДНОБУДУВАННІ: СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМИ РОЗВИТКУ
Коновалова Г.В., Моргун В.В. 98

СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА НОВИХ ПРОЄКТІВ СУДЕН ЯК СКЛАДОВА ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ СУДНОБУДУВАННЯ
Коновалова Г.В., Супрун С.Г. 102

АНАЛІЗ НОРМ РЕГІСТРУ СУДНОПЛАВСТВА УКРАЇНИ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОРПУСНИХ КОНСТРУКЦІЙ МАЛИХ СУДЕН З HDPE
Кузнєцов А.І., Лисицький І.В. 105

РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ВПЛИВУ КОРОЗІЙНОГО ЗНОСУ НА ВЕЛИЧИНУ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ ВУЗЛІВ СУХОВАНТАЖНИКА
Литвиненко Д.Ю., Щедролосєв О.В., Соценко В.В. 107

РОЗРАХУНОК ДОКУВАННЯ КАТЕРА
Шарун Г.В. 109

ПЕРСПЕКТИВНИЙ ІНТУМІСЦЕНТНИЙ ЗАХИСТ МЕТАЛЕВИХ ПЕРЕГОРОДОК У СУДНОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ СИСТЕМАХ
Юреско Т.А., Соломонюк Н.С. 112

ВПЛИВ ТИПУ З'ЄДНАННЯ БАЛОК ВТОРИННОГО НАБОРУ НА ЖОРСТКІСТЬ ПАЛУБНОЇ ПАНЕЛІ
Білоус Р.Ю., Соломонюк Н.С. 115

СЕКЦІЯ 2. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І МАТЕРІАЛИ В СУДНОВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙНО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ
Дубовий О.М., Карпеченко А.А., Лебедєва Н.Ю., Хоменко Б.А., Кондратьєва А.А. 119

ФОРМУВАННЯ ЗНОСО- ТА КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ
Карпеченко А.А., Бобров М.М., Ярос Ю.О., Савенков О.І. 121

ТРАНСФОРМАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА В МАШИНОБУДУВАННІ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ AGILE-ПІДХОДІВ
Боду С.Ж., Новошицький А.В. 123

ПРИНЦИП ПРИЗНАЧЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗВАРЮВАННІ З ВЕЛИКОЮ ПОГОННОЮ ЕНЕРГІЄЮ 125
Костін О.М., Ярос Ю.О., Шаблій Т.Ю. 125

METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE ADEQUACY OF MODEL STUDIES
Labartkava A.V., Labartkava A.V., Taranushchenko K.V. 127

МОЖЛИВОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ
Лебедєв В.О., Лой С.А., Спіхтаренко В.В. 128

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ З КЕРОВАНИМ ІМПУЛЬСНИМ РУХОМ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ
Лебедєв В.О., Лой С.А., Спіхтаренко В.В. 131

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ ПРИ MIG ЗВАРЮВАННІ
Лебедєв В.О., Лой С.А. 134

МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ
Лебедєв В.О., Лой С.А. 136

ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ ТА РОЗМІРУ КРИСТАЛІТІВ У ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ
Макаров Д.О., Бобров М.М., Савенков О.І. 139

STUDY OF THE INFLUENCE OF INTERLAYER THICKNESS ON THE STRESS-STRAIN STATE OF WELDED AND BRAZED JOINTS OF HEAT-RESISTANT ALLOYS UNDER AXIAL LOADING
Matviienko M.V. 141

STUDY OF THE INFLUENCE OF INTERLAYER THICKNESS AND RIGIDITY ON THE STRESS-STRAIN STATE OF WELDED AND BRAZED JOINTS OF HEAT-RESISTANT ALLOYS UNDER THERMAL LOADING
Matviienko M.V. 143

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІБРИДНИХ СИНТАКТНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ КОРПУСІВ МАЛИХ СУДЕН
Нужин А.Г. 145

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ КІНЕТИКИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У ПРУЖИННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ІЗ СПЛАВІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ
Познанський А.С., Поліщук В.А. 147

РОЗРАХУНОК ПОГОННОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЗВАРЮВАННІ АНКЕРНИХ СТРИЖНІВ РОЗТЯГНУТОЮ ДУГОЮ ПІД ФЛЮСОМ
Гладченко Д.С., Драган С.В., Чигрін В.О. 149

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ПОРОШКОВИХ І ВОЛОКНОВИХ КОМПОЗИТІВ
Казимиренко Ю.О., Кібаров О.І. 151

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОФІЛЮВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛІВ З МАЛОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ
Новошицький А.В., Боду С.Ж., Фабріцієв Д.В. 153

ОГЛЯД ВПЛИВУ АЛМАЗІВ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ В СПРЯЖЕННЯХ КОВЗАННЯ МАШИН
Ошовський В.Я. 155

СЕКЦІЯ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТА СИСТЕМ

АДАПТАЦІЯ СЕРІЙНИХ АЕРОДЕРИВАТИВНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ДО УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛАВУЧОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ
Чередніченко О.К., Личко Б.М., Коробєйнікова Н.В., Косоруков Є.Є. 159

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ПРОПУЛЬСИВНИХ УСТАНОВОК ПРИ СТВОРЕННІ СУЧАСНИХ БЕЗЕКІПАЖНИХ ПЛАТФОРМ
Волошин А.Ю., Стодоля О.В. 161

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДООКСИДНОГО ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА У СКЛАДІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ ІЗ СІРКОВОДНЮ
Ткач М.Р., Тимошевський Б.Г., Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. 164

ФОРМИ ТА ЧАСТОТИ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ПОРШНЯ МОТОЦИКЛЕТНОГО ДВИГУНА
Ткач М.Р., Галинкін Ю.М., Монахов А.А., Семенов Н.М. 166

АНАЛІЗ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН МАКСИМАЛЬНОГО ТИСКУ ЗГОРЯННЯ НА НОРМАЛЬНІСТЬ ПРИ РОБОТІ ДВЗ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА
Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. 168

АНАЛІЗ СТУПЕНЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВЗ ПРИ РОБОТІ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА
Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. 171

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРИ СПАЛЮВАННІ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ РІЗНОЇ ЯКОСТІ
Димо Б.В., Колбасенко О.В., Анастасенко С.М., Багдасарян О.В., Щербіна А.О., Стеценко С.В. 174

GAS TURBINE POWER PLANTS WITH SUPERCRITICAL CO_2: CURRENT STATUS AND IMPLEMENTATION PROBLEMS
Patlaichuk V.M. 177

MATHEMATICAL MODELING OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE "BOX-COOLER" TYPE HEAT EXCHANGER
Patlaichuk V.M., Kozyrko O.A., ... 179

INFLUENCE OF OPERATING AND GEOMETRIC PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF THE "BOX-COOLER" HEAT EXCHANGER
Patlaichuk V.M., Kozyrko O.A. 181

OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF A DIESEL ENGINE FUELED WITH AN ALTERNATIVE FUEL DERIVED FROM PLASTIC WASTE
Tymoshevskyy B., Tkach M., Popov O. 184

ВПЛИВ ВИСОКОНАПІРНОГО ВВЕДЕННЯ МІКРОДОМІШОК ВОДНЮ В ПАЛИВНУ МАГІСТРАЛЬ НА ПРОЦЕС ПАЛИВОПОДАЧІ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ
Шалапко Д.О., Гречка Н.В., Маляренко О.С., ...186

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖО- ТА ВИБУХОБЕЗПЕКИ ВОДНЕВИХ ПІДСИСТЕМ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ БАР'ЄРНО-СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ
Шалапко Д.О., Гречка Н.В., Шатайлов А.О. 188

ВПЛИВ МАЛИХ ДОБАВОК ВОДНЮ НА РОБОЧИЙ ПРОЦЕС ТА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА
Шалапко Д.О., Каплін Є.В. 190

ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ ПАЛИВНОЇ СТРАТЕГІЇ HVO–H_2 У СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ
Шалапко Д.О., Некряч Д.С., ...192

РЕЖИМНО-КЛІМАТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЙ ПОДАЧІ ВОДНЮ В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ
Шалапко Д.О., Савченко В.С. 194

УТВОРЕННЯ МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ
Шостак В.П., Личко Б.М. 196

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОГО ПРОЄКТУВАННЯ
Бідніченко О.Г. 199

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОНДЕНСАЦІЇ ВОЛОГИ В ОХОЛОДЖУВАЧАХ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ
Гогоренко О.А., Немченко А.В. 201

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ 8ЧН25/34 ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ОХОЛОДЖЕННЯ ВТУЛКИ ЦИЛІНДРА
Грабовенко О.І. 204

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОСИФОННОГО ВАКУУМНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА
Єпіфанов О.А. 206

Пацурковський П.А., ...206

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТАНКЕРА КЕРУВАННЯМ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ
Калініченко І.В. 208

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОДАЧІ ПАЛИВА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ У ВІДХІДНИХ ГАЗАХ ДВЗ
Калініченко І.В., ...211

ЗМІНИ У СИСТЕМІ ПЛАНОВОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СТАНУ СУДНОВИХ МЕХАНІЗМІВ ЗА ВИМОГАМИ LLOYD'S REGISTER
Кісєтов Ю.В., Личко Б.М. 213

АКУСТИЧНА ДІАГНОСТИКА СУДНОВИХ НАСОСІВ
Петрик Р.В., Кісєтов Ю.В. 215

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАСОСІВ БЕЗ ЇХ РОЗБИРАННЯ
Сарабун А.А., Кісєтов Ю.В., ...217

ОСОБЛИВОСТІ БУНКЕРУВАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК АМІАКОМ
Кісєтов Ю.В. 219

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАНОРІДИН ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СУДНОВИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК
Кузнецов В.В., Кузнецова С.А. 221

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У МОДЕЛЮВАННІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИМИ СИСТЕМАМИ
Кузнецов Г.В. 224

МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОНКОСТІННОЇ ОБОЛОНКИ ЖАРОВОЇ ТРУБИ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ
Литвиненко Д. Ю., Семенов М.М., Боду С.Ж. 226

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ
Мелех Д.М. 228

ТЕРМОХІМІЧНА КОНВЕРСІЯ ПАЛИВА ЯК СПОСІБ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ
Нестер О.В. 231

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СТАЦІОНАРНИХ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ: ВПЛИВ ЗНОШУВАННЯ ЦИЛІНДРОВИХ ВТУЛОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ CAD-МОДЕЛЮВАННЯ
Нестеренко В.В. 234

АНАЛІЗ СКЛАДУ ЕНЕРГОУСТАНОВОК ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ З PEMFC
Рязанцев П.А., Личко Б.М., ... 237

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВИХ PEMFC В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН
Слюсаренко В.В., Личко Б.М. 241

УДОСКОНАЛЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ
Самохвалов В.С., Пацурковский П.А., Шостак В.П., Годик К.О. 243

ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОАКТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОВОГО СТАНУ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ТВТ В САУ ГТД ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ
Савушкін В.В. 245

ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРИГЛІЦЕРИДІВ РОСЛИННИХ ОЛІЙ У МОТОРНІ ПАЛИВА
Швець І.А. 248

COMPARISON OF FUEL SUPPLY SYSTEMS FOR AN LH_2 CARRIER WITH PEMFC AND HYDROGEN DUAL-FUEL ENGINES
Halai A. 250

CONTACT STRESSES IN THE GAS TURBINE ROTOR BLADES AND DISKS CONNECTION AREA
Smetankina N., Morhun S., Melnychenko O. 252

ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЇ DIRECTED ENERGY DEPOSITION ДЛЯ РЕМОНТУ СУДНОВИХ ДВЗ
Авдюнін Р.Ю., Бойцов О.О. 253

ВПЛИВ ГЛИБОКОГО ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ НА ПОКАЗНИКИ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ
Андрєєв А.А. 257

ПРОБЛЕМА КОНДЕНСАЦІЇ ВОЛОГИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ СУДНОВИХ МОД
Андрєєв А.А., Андрєєва Н.Б., ... 260

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ (WASTE HEAT RECOVERY) ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ККД СУДНА
Андрєєв А.А., Андрєєва Н.Б. 262

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯНОГО ЗАРЯДУ НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА РОБОТУ СУДНОВИХ МОД НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВАХ
Андрєєв А.А., Андрєєва Н.Б., Корогод М.О. 264

ПРЕДИКТИВНА ДІАГНОСТИКА ТА ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧІВ НА РОБОТУ ТУРБОНАГНІТАЧА СУДНОВИХ МОД
Андрєєв А.А., Андрєєва Н.Б., Худік Р.О. 266

ЕКСЕРГІЯ ХОЛОДУ LNG ПІД ЧАС РЕГАЗИФІКАЦІЇ НА FSRU
Нікончук С.В. 268

ДЕФЕКТИ ВІБРОІЗОЛЯТОРІВ ТА ФУНДАМЕНТІВ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ
Свиридов В.І. 270

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІДРОДІАГНОСТУВАННЯ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ
Свиридов В.І. 271
ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ПІДШИНИКІВ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ
Свиридов В.І., Колесников О.В., Заграй Є.В. 273
МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ПІДШИПНИКІВ
Свиридов В.І., Олійник О.О. 275
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ТОНКОСТІННОЇ ОБОЛОНКИ ДЛЯ ТЕРМОМОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК
Семенов М.М., Золотий Ю.Г., Моргун С.О. 277
МОЖЛИВІ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ГИБРИДНИХ ГАЗО-ПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВОДНІ
Шмарков О.А., ...280
СУЧАСНИЙ СТАН ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У СУДНОВОМУ ТУРБОБУДУВАННІ
Шмарков О.А., Долгов Р. В. 282
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА У КАМЕРАХ ЗГОРЯННЯ З ПОПЕРЕДНІМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ
Шмарков О.А., Олійник С.А. 283
АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМІННИКА В СУДНОВІЙ ORC-СИСТЕМІ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА
Александровська Н.І. 285

СЕКЦІЯ 4. ХОЛОД В ЕНЕРГЕТИЦІ, ПРОМИСЛОВОСТІ

INNOVATIVE VARIABLE REFRIGERANT FLOW (VRF) SYSTEMS AND THEIR RATIONAL DESIGNING TO FORECAST ON SITE OPERATION
Trushliakov E., Radchenko A., Radchenko M. 287
ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТРИГЕНЕРАЦІЇ НА БАЗІ ГАЗОПОРШНЕВИХ УСТАНОВОК АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СТРАТИФІКОВАНИМ АКУМУЛЮВАННЯМ ХОЛОДУ ТА ПРИРОДНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ
Фордуй С.Г., Радченко М.І. 289
COMPARATIVE ANALYSIS OF TURBULENCE MODELS FOR CFD SIMULATION OF AIRFLOWS IN SHIP COMPARTMENTS
Kobalava H. 291
AUTOMATED HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON HOME ASSISTANT FOR A RESIDENTIAL BUILDING WITH A SOLAR POWER PLANT UNDER FREQUENT POWER OUTAGES
Kobalava H., Kobalava H. 293
THERMODYNAMIC AND ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF COMBINED RESIDENTIAL HEATING SYSTEMS
Kobalava H., Konovalov D. 294
КОМПЛЕКСНА ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛА ЦЕ ШЛЯХ ДО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОБЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ
Димо Б.В. 296
ДО РОЗРОБКИ МЕХАНІЗМУ СПРАВЕДЛИВОГО РОЗПОДІЛУ ВИТРАТ НА ОПАЛЕННЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ В УКРАЇНІ
Димо Б.В., Анастасенко С.М. 298
OPTIMIZATION TWO-STAGE INTAKE AIR COOLING OF A GAS ENGINE USING A COMBINED ABSORPTION-VAPOR COMPRESSION CHILLER SYSTEM OF THE AUTONOMOUS THERMAL POWER PLANT
Hrych A., Radchenko A., Zubarev A., ...300
ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН КОГЕНЕРАЦІЙНИМИ ГАЗОВИМИ ДВИГУНАМИ ХАРЧОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ДВОСТУПЕНЕВОМУ КОНДИЦІЮВАННІ ПОВІТРЯ
Грич А.В. 303

ТЕПЛОВІ НАСОСИ ЯК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ
Калініченко І.В. 305

ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ТА СИСТЕМ КОНДИЦІЮВАННЯ КОТЕДЖІВ
Калініченко І.В., Гуріна Д.В. 308

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ОТРИМАННЯ ВОДИ З ПОВІТРЯ НА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ: РІШЕННЯ ДЛЯ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ
Годик К.О., Самохвалов В.С., Шевченко Г.О. 310

CORRELATIONS FOR POLLUTANT DEPOSITION ON CONDENSING SURFACES OF EXHAUST GAS BOILERS WITH WATER–FUEL EMULSION COMBUSTION
Kornienko V. 312

INVESTIGATION OF ROTARY CUP ATOMIZER PERFORMANCE FOR AFTERBURNING IN EXHAUST GAS BOILERS
Kornienko V. 314

ENHANCEMENT OF WATER-FUEL ROTARY CUP ATOMIZER PERFORMANCE IN BOILERS
Kornienko V. 317

КАСКАДНІ ТЕПЛОВІ НАСОСИ «ПОВІТРЯ–ВОДА» ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ РАДІАТОРНОГО ОПАЛЕННЯ В УМОВАХ ХОЛОДНОГО КЛІМАТУ
Бузник А.І., Радченко А.М. 319

МЕТОДОЛОГІЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ СУДНОВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ
Радченко Р.М., Андреєв А.А., Серьогін С.М. 322

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОЇ ДИЗЕЛЬНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ ТРАНСФОРМАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ВИПУСКНИХ І РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ З ОХОЛОДЖЕННЯМ ПОВІТРЯ
Радченко Р.М., Серьогін С.М., Шаригін О.В. 324

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В ЕНЕРГООЩАДНИХ СИСТЕМАХ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
Свердліковська О.С., Козлов Я.М., Подолинний І.О., Потапчук М.О 326

REDUCTION OF GAS-DYNAMIC LOSSES IN HIGH-SPEED HERMETIC COMPRESSORS OF SHIPBOARD AIR CONDITIONING SYSTEMS
Lytosh O.V., ... 328

PRINCIPLES FOR DEVELOPING A COUPLED MATHEMATICAL MODEL OF A COMPACT MARINE REFRIGERATION MACHINE FOR A PROVISION STOREROOM
Lytosh O.V. 330

THERMAL STATE OF A HERMETIC COMPRESSOR UNIT OF A MARINE REFRIGERATION MACHINE: INFLUENCING FACTORS AND METHODS FOR ITS IMPROVEMENT
Lytosh O.V. 332

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ НА ПОЧАТКОВЕ ДОЗУВАННЯ ПАЛИВНОГО ГАЗУ ПРИ ЗАПУСКУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА
Тарасенко О.І., Литош О.В. 335

АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ПОВІТРЯНОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ З АДІАБАТНИМ ЗВОЛОЖЕННЯМ
Книш С.В., Желіба Ю.О. 337

КАВІТАЦІЯ ЖИВИЛЬНОГО НАСОСА ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИКОРИСТОВУЮЧИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН І СИСТЕМ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНОГО ЦИКЛУ РЕНКІНА
Хлієва О.Я., Шестопалов К.О., Огурцов Д.В. 339

СЕКЦІЯ 5. ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА І ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ 341

Трохименко Г.Г., Ремешевська І.В., Гурець Н.В., Грушина О.Г 341

РЕЦИКЛІНГ СКЛЯНИХ ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ
Дрозд О.В., Андрєєва Н.Б. 343
ОЦІНКА ПОЖЕЖНОЇ ОБСТАНОВКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗНОГО СЦЕНАРІЮ РОЗВИТКУ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ НА ПРИКЛАДІ НПП «КАРМЕЛЮКОВЕ ПОДІЛЛЯ»
Андрєєва А.В. 345
НЕБЕЗПЕКА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ ЗАЛИШКАМИ ОПТОВОЛОКОННИХ СПОЛУЧЕНЬ
Войтасик А.М. 347
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ
Грушина О.Г. 349
ЗАСТОСУВАННЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АКВАТОРІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ
Грушина О.Г. 351
ЕКОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВПЛИВУ ПІДПРИЄМСТВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ
Гура О.О., Літвак О.А. 353
КАСКАДНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ЯК НАПРЯМ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ
Літвак О.А., Літвак С.М. 356
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ПОВОДЖЕННЯ З ХАРЧОВИМИ ВІДХОДАМИ НА КРУЇЗНИХ ЛАЙНЕРАХ
Літвак О.А., Смірнова Л.О. 358
ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ЯК СКЛАДОВА СТРАТЕГІЇ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ СУДНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ
Літвак О.А. 360
ТИПИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОЇ РЕАКЦІЇ ЛИМАННИХ ВОДОЙМ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЯК ОСНОВА ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО МОНІТОРИНГУ
Магась Н.І. 363
СЕЗОННІ ТА МІЖРІЧНІ ПРОЯВИ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТИЛІГУЛЬСЬКОМУ ТА БЕРЕЗАНСЬКОМУ ЛИМАНАХ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ
Магась Н.І. 366
ENVIRONMENTAL COMPLIANCE AUDITING UNDER ESRS IN NON-STATIONARY ECOSYSTEMS
Nedoroda V.M., Hostieva D.V., ...368
ПОЛІМЕРНІ ІОННІ РІДИНИ ІОНЕНОВОГО ТИПУ ЯК ПЕРСПЕКТИВНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ СУДНОВИХ ТА ОКЕАНОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
Свердліковська О.С., Потапчук М.О. 370
АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ МОРСЬКОГО ТОРГОВЕЛЬНОГО ПОРТУ «ПІВДЕННИЙ» ТА НАПРЯМИ ЇЇ РОЗВИТКУ
Ремешевська І.В., Гурець Н.В. 373
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУВАННЯ АГРАРНИХ ВАНТАЖІВ У КОНТЕКСТІ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ GAFTA ТА FOSFA
Ремешевська І.В., Гурець Н.В., Табакар А.А. 374
ОСНОВНІ ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ҐРУНТІВ ДЛЯ ЦІЛЕЙ ЕКОЛОГІЧНОГО СТРАХУВАННЯ ТА ФАКТОРИ ЇХ ФОРМУВАННЯ
Ютіш О.В., Магась Н.І. 376
ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА ПИВОВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ
Благодатний В.В. 379
РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ У МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДАХ
Благодатний В.В., Саюнова М.К. 381
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ЕКОСИСТЕМИ ТА НАПРЯМИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ
Крилова В.Ю. 382

АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОЛІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АКВАТОРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
Ушкац С.Ю., Ушкац М.В. 384

АНАЛІЗ ВПЛИВУ БАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВРОЖАЙНОСТІ АГРОКУЛЬТУР НА ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ГРУНТУ
Кособуцька О.О., Трохименко Г.Г. 385

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГАЗОВОГО ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА ЗВАЛИЩНОМУ ГАЗІ
Лисих А.Ю. 387

СТРАТЕГІЧНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО ВІДНОВЛЕННЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ
Мозговий А.М. 389

СТРАТЕГІЧНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА У СИСТЕМІ ПЛАНУВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ВОСКРЕСЕНСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ
Мозговий А.М. 391

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ СТРАТЕГІЧНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ
Мозговий А.М. 393

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ В СУДНОБУДУВАННІ ТА СУДНОРЕМОНТІ В УМОВАХ ВОЄННИХ РИЗИКІВ: ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД
Щедролосєв О.В., Коновалова Г.В. 395

СЕКЦІЯ 6. ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ГІБРИДНИХ КОМПЛЕКСІВ РОЗМАГНІЧУВАННЯ
Павлов Г.В., Обрубов А.В., Махнов А.О. 398

ПИТАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ХВИЛЬОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ С ЕЛЕКТРИЧНОЮ МЕРЕЖЕЮ
Білюк І.С., Савченко О.В., Льовкін В.С., Рачинський А.В. 401

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ СИСТЕМ
Войтасик А.М. 404

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ МОРСЬКОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ВІДМОВАХ ОБЛАДНАННЯ
Волянський Ю.С., Волянська Я.Б., Мицик А.І. 406

ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ З БАГАТОГРАННИМИ УТВОРЮЮЧИМИ КОНТУРАМИ
Ставинський Р.А., Савченко О.В. 408

ПЕРЕХОД ВІД ПРОСТОРОВИХ ДО ПЛОЩІННИХ ПОЛЬОВИХ ЗАДАЧ
Шарейко Д.Ю., Тодосієнко А.М. 410

ДОСЛІЖДЕННЯ ДВОХКАСКАДНОЇ СИСТЕМИ ВІБРОІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ
Шарейко Д.Ю., Карпов В.Д. 412

ЕЛЕКТРОПРИВОД З НЕЛІНІЙНИМ КОРИГУВАЛЬНИМ СИГНАЛОМ
Шарейко Д.Ю., Єжова О.А. 414

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСА БАГАТООПОРНОЇ ДОЩУВАЛЬНОЇ МАШИНИ
Білюк І.С., Савченко О.В., Іванов А.В., Козлов А.Ю. 416

РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
Рябенький В.М., Худякова І.М., Трибулькевич С.Л. 418

РОЗРОБКА РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА НА БАЗІ ARDUINO
Білюк І.С., Савченко О.В., Тимченко А.С., Федоров А.Д. 422

АНАЛІЗ РОБОТИ СУДНОВИХ СИСТЕМ ПРИ ЖИВЛЕННІ ВІД ДЖЕРЕЛА СТРУМУ
Чекунов В.К. 425

ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СУДНОВИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ
Бабкін Г.В. Овсянников В.М. 428
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
Бондар О.І., Большак А.В. 430
ГЕНЕРАТОР АКУСТИЧНОГО ШУМУ З РЕГУЛЬОВАНИМ СПЕКТРОМ
Касьянов Ю.І. 433
ВИСОКОЧАСТОТНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЗАВАДИ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ З ПРОПУЛЬСИВНИМИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ
Жук О.К., Жук Д.О., Козлов М.О., Єременко А.П., Лінченко В.В. 435
ВІД ХЛОРОАЛЮМІНАТНИХ ДВОХІОННИХ СИСТЕМ ДО AL^{3+}-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ: ПЕРСПЕКТИВИ ТРИВАЛЕНТНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ ЗАРЯДУ ДЛЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ
Свердліковська О.С., Козлов Я.М., Швець С.О., Потапчук М.О. 443
ДЕФЕКТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО НАСОСУ
Свиридов В.І., ...444
ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОПАЛЕННЯ БУДИНКІВ ТА КВАРТИР У М. ПЕРВОМАЙСЬК МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОПАЛЕННЯ
Шостак О.В., ...446
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМОТРОНУ ЯК НАВАНТАЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ
Костюченко В.І. 447
АНАЛІЗ КОНТАКТНИХ І БЕЗКОНТАКТНИХ СПОСОБІВ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА БЕЗЕКІПАЖНІ НАДВОДНІ АПАРАТИ
Надточий А.В., Анічин А.Ю. 450
ВПЛИВ ПРИТАМАННИХ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ НА КЕРУВАННЯ БЕЗКОНТАКТНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА БЕЗЕКІПАЖНИЙ НАДВОДНИЙ АПАРАТ
Надточий А.В., Анічин А.Ю. 453

СЕКЦІЯ 7. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ НА ЗАХИСТІ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ 3D-РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ
Фаріонова Т.А., Фадєєв П.В. 456
АГЕНЦІЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ АКВАТОРІЙ УКРАЇНИ: ЗАВДАННЯ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ
Андросюк Ю.Є., Блінцов В.С., Бурунін А.П., Буруніна Ж.Ю., Ковалевський А.О., Надточий А.В. 459
DIGITAL LEADERSHIP AS A DRIVER OF BUSINESS MODEL INNOVATION IN SMES
Serhiichuk S. 461
ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ПРОЄКТУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ ЯК ОСНОВА РОЗРОБКИ СУЧАСНИХ КОРПОРАТИВНИХ ЗАСТОСУНКІВ
Беркунський Є.Ю., Книрік Н.Р., Беркунський О.Є. 464
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДАНИХ У БАГАТОПОТОКОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ
Беркунський Є.Ю., Павленко А.Ю., Беркунський О.Є. 466
ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
Бідніченко О.Г. 468
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ НА ЗАХИСТІ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Білоус О.А. 470
ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОТИМІННІЙ ДІЯЛЬНОСТІ НА БАЗІ СУЧАСНИХ ГІС ПЛАТФОРМ
Гайдаєнко О.В., Жихарєв О.В. 472
КОНЦЕПЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ТОРГІВЕЛЬНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ
Гайдаєнко О.В., Меліксетов О.І. 475

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОД2ІВ УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКИМИ ЗАПАСАМИ
Гайдаєнко О.В., Шафранюк К.О. 477

АЛГОРИТМИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «ДІАГНОСТИКА» ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
Гучек П.Й., Карпова С.О., Литвиненко О.І., Пляха Р.О. 479

ЗАПОБІГАННЯ ПОМИЛКАМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПІД ЧАС ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАДАЧ
Дудченко О.М., Літвінова М.Б., Штанько О.Д. 481

УСПІШНА ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ЗДОБУВАЧІВ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ
Михальченко І.В. 483

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ПРИ ВИГОТОВЛЕНІ ЗВАРНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ
Сімутєнков І.В., Драган С.В. 485

УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ЦИФРОВОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Чабан І. 488

ОПТИМІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ У ВОЛОНТЕРСЬКИХ СИСТЕМАХ
Зайцев О.В., Книрік Н.Р. 490

ГІБРИДНІ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ЯК СУЧАСНИЙ КОМПРОМІС ДЛЯ КОНСЕРВАТИВНОЇ ІНДУСТРІЇ АПТЕЧНИХ ЗАКЛАДІВ
Борко Ю.А. 492

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ ЦІЛЕЙ НА РОЗДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ BEARING-ONLY ЛОКАЛІЗАЦІЇ
Ворона М.В., Клєпцов А.А. 494

ТЕХНОЛОГІЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ – КРОК ДО СТВОРЕННЯ IT-ІНФРАСТРУКТУРИ «РОЗУМНИХ МІСТ»
Гусєва-Божаткіна В.А., Буренко В.О. 496

ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ПРОЄКТІВ РОЗРОБКИ БАНКІВСЬКОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
Латанська Л.О., Половинка А.В. 498

ПЕРЕДОБРОБКА ДАНИХ З МЕТРИК RFC, CBO ТА WMC ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ НАТИВНИХ ANDROID ЗАСТОСУНКІВ
Макарова Л.М., Татаренко М.А. 500

АРХІТЕКТУРА AI-ПОМІЧНИКА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІНСЬКИХ ПРОЦЕСІВ ЗАКЛАДУ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ
Маршак О.І., Смикодуб Т.Г., Ратушняк І.О., Дончик Т.О., Бобровський О.С. 503

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Морозова Г.С., Вичалковський Д.А., Пушкар Д.Р. 505

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ
Блінцов В.С., Надточій І.І., Надточий А.В. 508

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОЄКТУ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ ЯК СКЛАДНОЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ
Блінцов В.С., Надточій І.І., Надточий А.В. 510

СЕКЦІЯ 8. ЕКОНОМІКА НА ЗАХИСТІ НЕЗАЛЕЖНОСТІ ТА СВОБОДИ УКРАЇНИ

ECONOMIC SECURITY OF UKRAINE UNDER CONDITIONS OF MILITARY AND GLOBAL RISKS: BUILDING A RESILIENT ENERGY SYSTEM AS THE FOUNDATION OF NATIONAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT
Zhuvahina I.O. 513

BUSINESS PROJECTS FOR ENERGY-EFFICIENT DEVELOPMENT OF REGIONAL HEAT AND POWER SYSTEMS: ECONOMIC SUBSTANTIATION OF LOCAL FUEL UTILIZATION
Zhuvahina I.O. 515
АГРОБІЗНЕС УКРАЇНИ В УМОВАХ ТРИВАЛОЇ ВІЙНИ: УПРАВЛІННЯ КАПІТАЛОМ ТА СТРАТЕГІЇ ПРОСУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ НА ЗОВНІШНІ РИНКИ ЗА ЛОГІСТИЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ
Івата В.В., Германчук А.В., Дробот Д.В. 517
ПЕРЕДУМОВИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ АНАЛІТИКИ BIG DATA В МІЖНАРОДНОМУ МАРКЕТИНГУ
Мандра О.Є., Парсяк В.Н. 520
СТРАТЕГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ РОЗВИТКУ МОРЕГОСПОДАРСЬКОГО КОМПЛЕКСУ: НОВІ ВИКЛИКИ І РІШЕННЯ
Рогов Г.К. 522
ТРАНСФОРМАЦІЙНІ ВИКЛИКИ ЛОГІСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ
Мігай Н.Б. 524
ІНСТИТУЦІЙНИЙ DOUBLE BIND ЯК ДЖЕРЕЛО ОРГАНІЗАЦІЙНОГО ТЕРТЯ
Рогов В.Г. 526
ОЦІНЮВАННЯ ІНСТИТУЦІЙНОГО DOUBLE BIND
Рогов В.Г. 528
ІНСТИТУЦІЙНА АРХІТЕКТУРА ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ
Рогов В.Г. 530
ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ В УМОВАХ ДОВГОТРИВАЛОЇ ВІЙНИ
Хмарська І.А. 532
ІНВЕСТИЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
Година О.В. 534
ЄВРОПЕЙСЬКА ІНТЕГРАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ ВЕКТОР ПОВОЄННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
Качула Т.В. 536
ІННОВАЦІЙНІ БІЗНЕС-МОДЕЛІ ЯК ІНСТРУМЕНТ АДАПТАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ДО ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ
Надточій І.І., ... 537
ЦИРКУЛЯРНА ВІДБУДОВА УКРАЇНИ: ПОЄДНАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ Й ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ
Руснак А.В. 539
СТРАТЕГІЇ АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ В УМОВАХ ВОЄННОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ
Руснак А.В. 541
СТАЛИЙ РОЗВИТОК ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ
Бурунсуз К.С., ... 542
ДЕГЛОБАЛІЗАЦІЯ ЧИ ТРАНСФОРМАЦІЯ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ: НОВІ МОДЕЛІ МІЖНАРОДНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПІСЛЯ 2022 РОКУ
Павлова М. 544
ЕКОНОМІЧНІ ЦИКЛИ ЯК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦІЇ ДИЗАЙНЕРСЬКИХ РІШЕНЬ В ІНТЕР'ЄРІ
Сергієнко О.М., Філатова В.М., ... 546
СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ ТА ВІДТВОРЕННЯ ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ
Шевчук С.В. 548
УПРАВЛІНСЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯРНИХ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ
Кирнос А.Є., Руснак А.В. 550
ТРАНСФОРМАЦІЯ ТЕОРІЇ Й ПРАКТИКИ МЕНЕДЖМЕНТУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ КАСКАДНИХ КРИЗ
Трунін К.С., Сіренко І.В. 552
ВІДОБРАЖЕННЯ ВОЄННИХ РИЗИКІВ В ІНТЕГРОВАНІЙ ЗВІТНОСТІ: НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ
Шевчук С.В. 555

ІНФОРМАЦІЙНІ ПОСЛУГИ ЯК ІНСТИТУЦІЙНИЙ МЕХАНІЗМ ЕКОНОМІЧНОЇ КООРДИНАЦІЇ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Комишник В.І. 557
БАНКІВСЬКА СИСТЕМА ЯК ЧИННИК ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Данік Н.В. 559
ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІТЧИЗНЯНОЇ ЕКОНОМІКИ, ЯК КЛЮЧОВИЙ ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ СТІЙКОСТІ ПІД ЧАС ВІЙНИ
Гришина Л.О. 561
ЗВІТНІСТЬ ЗІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЯК УМОВА ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ ВІТЧИЗНЯНОГО БІЗНЕСУ
Грищенко О.В. 563
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПОРТОВОГО ЦІНОУТВОРЕННЯ В УКРАЇНСЬКИХ ПОРТАХ
Єфімова Г.В. 565
ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ЕКОНОМІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ
Ковпак П. 567
ЖІНОЧЕ ПІДПРИЄМНИЦТВО В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ДИНАМІКА РОЗВИТКУ
Козіцька Н.О. 568
ВИБІР ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ І ЛІЦЕНЗУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
Партас В.К. 570
ВИХІД УКРАЇНСЬКИХ КОМПАНІЙ НА МІЖНАРОДНІ ФОНДОВІ БІРЖІ В УМОВАХ ВІЙНИ: ДОСВІД KYIVSTAR GROUP НА NASDAQ
Пащенко О.В. 573
ЕКОНОМІЧНА СПРОМОЖНІСТЬ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Рудь І.Ю. 575
ESG ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ ІМПЕРАТИВ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
Чорновол Є. 577

СЕКЦІЯ 9. ГУМАНІТАРНІ АСПЕКТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИЩОЇ ШКОЛИ В УМОВАХ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ

ПСИХОЕМОЦІЙНИЙ СТАН СТУДЕНТІВ, ЯКІ ПОЄДНУЮТЬ НАВЧАННЯ З ВОЛОНТЕРСЬКОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ПІД ЧАС ВІЙНИ
Кравчук О.Ю. 579
ФОРМУВАННЯ АВТОНОМНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ ЗВО У ФАХОВОМУ ЧИТАННІ АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Бєлоусова С.М. 581
ФОРМУВАННЯ МОВНОЇ ОСОБИСТОСТІ В УМОВАХ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФІЛОЛОГІВ
Ворчакова І.Є. 583
ПОРУШЕННЯ НОРМАТИВНОСТІ ПРОФЕСІЙНОГО МОВЛЕННЯ
Гарбар А.І. 585
ФЕМІНІЗОВАНІ ЛЕКСЕМИ У ПРОФЕСІЙНІЙ КОМУНІКАЦІЇ
Гарбар І.В. 586
ПІДХОДИ ДО КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ СТУДЕНТІВ-ДИЗАЙНЕРІВ В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
Данильченко Н.В. 588
ВПЛИВ ЕМОЦІЙНО ОРІЄНТОВАНИХ ПІДХОДІВ НА УСПІШНІСТЬ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ
Кириченко С.В., ... 590
ФОРМУВАННЯ ЛЕКСИКО-ГРАМАТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОГО ВНЗ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ
Кисельова Т.В. 592
ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ СТУДЕНТІВ НЕМОВНИХ ЗВО ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
Міняйлова А.В. 593

ЩОДО ПИТАННЯ ЗАХИСТУ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА В МІЖНАРОДНОМУ ГУМАНІТАРНОМУ ПРАВІ
Недохлєбов І.І. 595
КАЛІБРУВАЛЬНИЙ ПОВОРОТ ТА ПАРАДИГМА АВТОМАТИЗОВАНОГО НАУКОВЦЯ У СУЧАСНІЙ ФІЛОСОФІЇ НАУКИ
Патлайчук О.В. 597
ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ У УКРАЇНСЬКІЙ ФІЛОСОФІЇ НАУКИ У ПЕРІОД 2022–2026 РР.
Патлайчук О.В. 601
ФІЛОСОФІЯ НАУКИ У ПРАЦІ МАЗВІЇТИ ЧІРІМУУТИ “THE BRAIN ABSTRACTED: SIMPLIFICATION IN THE HISTORY AND PHILOSOPHY OF NEUROSCIENCE”
Патлайчук О.В. 604
ЛЮДИНОЦЕНТРИЧНИЙ ДИЗАЙН СЕРЕДОВИЩА ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЯК ЗАСІБ ПІДТРИМКИ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО КОМФОРТУ СТУДЕНТІВ І ВИКЛАДАЧІВ В УМОВАХ ВІЙНИ
Портнов Д.В. 607
USING IDIOMS IN TEACHING ENGLISH
Smuhliakova M.K., Ponomarenko N.M. 609
ФОРМУВАННЯ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: КОМПОНЕНТНО-РІВНЕВИЙ ПІДХІД
Тимченко А.А. 611
МІЖМОВНІ ВЗАЄМОДІЇ: УКРАЇНСЬКОМОВНА ОСВІТНЯ ТЕРМІНОЛОГІЯ
Філіппова Н.М., Левентир В.О. 614
ФУНКЦІОНУВАННЯ ФЕМІНІТИВІВ У СУЧАСНОМУ УКРАЇНСЬКОМУ МЕДІАПРОСТОРІ: ВІД ЗАПЕРЕЧЕННЯ ДО НОРМИ
Бикова М.І. 616
ОБҐРУНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕТИКИ ЛУЧІАНО ФЛОРІДІ
Дар’єв А.С., Ступак О.П. 619
ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ З ДОКУМЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В КОНТЕКСТІ ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ
Єрмолаєва Г.А. 620
ДІАЛЕКТИКА ВІЙНИ ТА МИРУ У ФІЛОСОФСЬКІЙ СИСТЕМІ ГЕОРГА ГЕГЕЛЯ
Марущак О.В., ...622
ІСТОРІОГРАФІЯ ТА ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА З ДОСЛІДЖЕННЯ НАУКОВОЇ І ПЕДАГОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОФЕСОРА ПЕТРА ТРИГУБА В МИКОЛАЇВСЬКОМУ ПЕДАГОГІЧНОМУ ІНСТИТУТІ (1982–1997 РР.)
Федоренко М.О. 625
АКТУАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ПСИХОЛОГІВ В УМОВАХ ВІЙНИ
Чугуєва І.Є. 627

СЕКЦІЯ 10. ПРАВОВІ ІННОВАЦІЇ НА ЗАХИСТІ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

ЕВОЛЮЦІЯ КОНСТИТУЦІЙНИХ ПРАВ І СВОБОД: ІСТОРИКО-ПРАВОВИЙ АСПЕКТ
Дубинський О.Ю., Бортник Н.П. 629
ПРОЄКТ ТРУДОВОГО КОДЕКСУ УКРАЇНИ: ПЕРСПЕКТИВИ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ РИНКУ ПРАЦІ
Дубова К.О. 630
ПРОБЛЕМНІ ИТАННЯ АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЬНО-НАГЛЯДОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ, ОРГАНІЗАЦІЇ ТРУДОВИХ ВІДНОСИН ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗЕМЕЛЬНОЇ РЕФОРМИ В УКРАЇНІ
Борко А.Л. 632
ПРАВОВІ ІННОВАЦІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗМІЦНЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ
Година О.І. 635
ЗАГАЛЬНІ ПРАВА І СВОБОДИ ЛЮДИНИ ТА ГРОМАДЯНИНА ЯК ОСНОВА ПРАВОВОГО СТАТУСУ НАЦІОНАЛЬНИХ МЕНШИН
Достдар Р.М., Козловський А.Р. 636

МІЖНАРОДНО-ПРАВОВІ ТА НАЦІОНАЛЬНІ МЕХАНІЗМИ ЗАХИСТУ ПРАВ ЗАКОРДОННИХ УКРАЇНЦІВ
Достдар Р.М., Рог С.В. 639
ПРОБЛЕМИ ПРИТЯГНЕННЯ ДО ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ПОРУШЕННЯ ПРАВИЛ ВЕДЕННЯ ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ
Достдар Р.М., Цимбалюк А.О. 641
ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ УЧАСНИКІВ ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТІВ
Достдар Р.М., Цимбалюк Р.О. 643
ПОНЯТТЯ ТА ЮРИДИЧНА ПРИРОДА МІЖНАРОДНОГО ЗЛОЧИНУ
Козирєва І.О., Куделя І.О. 645
ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ НОРМ МІЖНАРОДНОГО КРИМІНАЛЬНОГО ПРАВА У НАЦІОНАЛЬНЕ ЗАКОНОДАВСТВО
Козирєва І.О., Назаренко А.В. 647
РИЗИКИ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНІ НЕДОЛІКИ ІНСТИТУТУ ПОСІДАННЯ У ПРОЄКТІ ЦИВІЛЬНОГО КОДЕКСУ УКРАЇНИ
Ломакіна О.А. 649
АНТИКОРУПЦІЙНІ ІНСТРУМЕНТИ В ОБОРОННИХ ЗАКУПІВЛЯХ: ДІЮЧІ МОДЕЛІ ТА НАПРЯМИ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ
Ломжець Ю.В. 651
КОРДОН ЯК ФАКТОР РОЗВИТКУ МОРСЬКОЇ НФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
Філіппських М.О. 653
ОСОБЛИВОСТІ АДМІНІСТРАТИВНО ПРАВОВИХ МЕХАНІЗМІВ ЗАПОБІГАННЯ ТА ПРОТИДІЇ КОРУПЦІЇ
Бутенко В.О. 655
ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СУДНОБУДУВАННІ: ПРАВОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ
Дмитрук І.М. 657
АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОГО ОБОВ'ЯЗКУ В УКРАЇНІ
Концовенко Д.Д. 659

СЕКЦІЯ 11. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОЗВИТОК МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ІНФРАСТРУКТУРИ РІЧКОВИХ ПОРТІВ
Подаєнко М.Ю., Харитонов М.Ю. 661
АНАЛІЗ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СИСТЕМОТЕХНІКИ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В НУК З ПЕРСПЕКТИВАМИ НА МАЙБУТНЄ
Чумакова В.В., Харитонов Ю.М., Шевцов А.П. 662
"SMART CITY" INFRASTRUCTURE OF WATER ENVIRONMENT
Tomashuk A. 664
ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ КООРДИНАТ AIS ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МОРСЬКИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ
Іхсанов Ш.М., Дьяконов О.С. 667
РОЗВИТОК МЕХАНІЗМІВ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З МЕНЕДЖМЕНТУ У СФЕРІ ЦИФРОВИХ УПРАВЛІНСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Трушлякова А.Б., Ганчо О.В. 670
ПОБУДОВА СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ МЕНЕДЖЕРІВ З ЛОГІСТИКИ В НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
Фатєєв М.В., Сіренко І.В., Запорожець І.М. 672
МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ДРЕЙФОВИХ N-P-N ТРАНЗИСТОРІВ З МАЛИМ РОЗКИДОМ КОЕФІЦІЄНТІВ ПІДСИЛЕННЯ
Фролов О.М., Субботкіна О.П. 675

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ДІОДІВ 2А605 З ВИКОРИСТАННЯМ ШАРІВ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДУ КРЕМНІЮ
Фролов О.М., Субботкіна О.П. 677
ПРО УМОВИ РІВНОВАГИ КОЛІСНО-ГУСЕНИЧНОЇ ТЕХНІКИ НА БОРТУ ДЕСАНТНОГО КОРАБЛЯ В УМОВАХ НЕРЕГУЛЯРНОЇ ХИТАВИЦІ
Соломенцев О.І. 679
ДО ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОГО ЗГИННОГО МОМЕНТУ ДЛЯ НАДВОДНОГО КОРАБЛЯ
Соломенцев О.І., ...682
ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВРАЖЕННЯ НАДВОДНОГО КОРАБЛЯ НИЖЧЕ ТА ВИЩЕ ЗА ВАТЕРЛІНІЮ
Соломенцев О.І. 684
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСНОГО ДРОНУ-КАМІКАДЗЕ
Соломенцев О.І. 687
СХЕМА НОРМУВАННЯ ПРИСКРЕНЬ, ДІЮЧИХ НА МОРСЬКИЙ НАДВОДНИЙ ДРОН ВНАСЛІДОК НЕКОНТАКТНОГО ПІДВОДНОГО ВИБУХУ
Соломенцев О.І. 689
ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕНЬ, ДІЮЧИХ НА МОРСЬКИЙ НАДВОДНИЙ ДРОН ВНАСЛІДОК НЕКОНТАКТНОГО ПІДВОДНОГО ВИБУХУ
Соломенцев О.І. 691
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОРСЬКИХ НАДВОДНИХ ДРОНІВ У ТАКТИЧНІЙ ТА ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНІЙ СФЕРАХ
Соломенцев О.І. 694
ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРЦЕПТОРІВ, ТРАНЦЕВИХ ПЛИТ ТА ПІДВОДНИХ КРИЛ НА НАДВОДНИХ МОРСЬКИХ ДРОНАХ
Соломенцев О.І. 696
ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ УКРАЇНИ
Абба А.Д. 699
ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОГО СТУПЕНЯ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА ДЛЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА
Бєков Б.А. 700
ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ІНФРАСТРУКТУРИ МОРСЬКОГО ПОРТУ ПІД ЧАС ДІЇ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ
Івченко Р.Ю., Шевцов А.П. 703
ФУНКЦІОНУВАННЯ МОРСЬКИХ ПОРТІВ ВЕЛИКОЇ ОДЕСИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ
Тубальцев А.М., Тубальцева Н.П. 705
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ДУНАЙСЬКОГО ПОРТОВОГО КЛАСТЕРУ УКРАЇНИ
Тубальцева Н.П., Тубальцев А.М. 707
ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ҐРУНТОВИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ПРИЧОРНОМОР'Я УКРАЇНИ
Шаповалов Ю.О., Романюкін Є.М., Головня А.П. 710
СВІТЛОПРОЗОРІ ПОКРИТТЯ ВСЕСЕЗОННИХ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ПРИБЕРЕЖНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПІВДНЯ УКРАЇНИ
Шаповалов Ю.О., Сваричевський Д.В. 712
PROSPECTS FOR THE USE OF TURBOEXPANDERS IN SHIP HYBRID POWER PLANTS WITH FUEL CELLS
Korobko V., Berning T., Sorensen H., Shevtsov A. 714

СЕКЦІЯ 12. АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ НЕНАСЕЛЕНИМ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ ТРАНСПОРТНОГО ТИПУ
Блінцов В.С., Данько Є.С. 716

КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКОВОГО АВТОНОМНОГО НЕНАСЕЛЕНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА З БУКСИРУВАНИМ РАДІОБУЄМ
Блінцов В.С., Фомбо Ж. 719

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВАЖКОГО АВТОНОМНОГО НЕНАСЕЛЕНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ
Бурунін А.П., Вовнянко В.А., ... 721

ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМИ ПОТОКАМИ
Гайдай Г.Ю., Грєшнов А.Ю., ... 723

ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ MATLAB/SIMULINK–AUV SIM ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМИ ПІДВОДНИМИ АПАРАТАМИ
Грудініна Г. 726

НОРМАТИВНІ ОБМЕЖЕННЯ ГІДРОГРАФІЧНОЇ ЗЙОМКИ ЯК КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО РУХУ МАЛОГО АВТОНОМНОГО НАДВОДНОГО СУДНА
Єрмоленко Б.О. 728

APPLICATION OF STATEFLOW STATE DIAGRAMS FOR MODELING SHIPBOARD ELECTRICAL LOADS
Ushkarenko O.O. 731

WAVE LINE MAGNET ЯК ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ МОРСЬКИХ ХВИЛЬ
Канц В.В. 733

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ «ПОВІТРЯ-ВОДА»
Канц В.В. 735

ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ РОБОТІВ ДЛЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЗРУЙНОВАНИХ ПОРТОВИХ ОБ'ЄКТАХ
Дар'єв А.С., Крамаренко Р.С., ... 737

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ШВИДКОДІЄЮ КЕРУВАННЯ ТРИЛАНКОВИМ ЗВАРЮВАЛЬНИМ МАНІПУЛЯТОРОМ
Єгоров О.П. 739

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДІВНИХ СИСТЕМАХ
Капура І.А., Жувагіна І.О., ... 742

РОБОТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ В СУДНОБУДУВАННІ ТА СУДНОРЕМОНТІ
Капура І.А., Жувагіна І.О. 744

СУЧАСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ СИСТЕМ
Костенко Д.В., Трибулькевич С.Л., Трибулькевич В.В. 746

АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ВІДДАЛЕНИХ РОБОЧИХ МІСЦЬ НА БАЗІ ПРОТОКОЛУ RDP
Сірівчук А.С., Трибулькевич С.Л., Трибулькевич В.В. 749

ІНТЕРАКТИВНИЙ ПРОГРАМНИЙ ІНТЕРФЕЙС ДЛЯ КІНЕМАТИЧНОГО І ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МОБІЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СУДНОВОЇ ФЕРОМАГНІТНОЇ ПОВЕРХНІ
Недо А.О., Мельникова О.Є., Герасін О.С. 754

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОКОМПОНЕНТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ FDM-3D-ДРУКУ
Тарасов І.В. 756

РОЗВИТОК ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ В КОНЦЕПЦІЇ INDUSTRY 4.0
Топалов А.М. 759

РОЗРАХУНОК ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДОСТУПНОГО РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ПІДВІСНОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СУДНОБУДУВАННІ
Угольніков Г.Г., Герасін О.С., Махнова І.В. 761

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА СУДНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА
Щедролосєв О.В., Баліцька А.В., Губка О.В. 763
ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВПЛИВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
Яценко С.П. 766
ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КООПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ USV–ROV–UAV
Надточий А.В., Надточій В.А., Бурунін А.П. 768
МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПРИНЦИПУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА ГРУПИ КОМПЛЕКСІВ USV–ROV–UAV
Надточий А.В., Надточій В.А., Бурунін А.П. 770

СЕКЦІЯ 13. ОСВІТА ТА ПЕДАГОГІКА В 21 СТОЛІТТІ ВИКЛИКИ ТА ВІДПОВІДІ

МИСТЕЦЬКІ ПРАКТИКИ У КОНТЕКСТІ СУЧАСНОЇ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ
Мозговий В.Л. 773
ОСВІТНЯ СИСТЕМА УКРАЇНИ ТА ПОЛЬЩІ: КОМПАРАТИВНИЙ АНАЛІЗ
Буглай Н.М. 775
КОНЦЕПЦІЯ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ПРОЄКТУ «ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ “AUV SIM” У НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ПРОЦЕС КАФЕДРИ
Блінцов В.С., Надточій І.І., Буруніна Ж.Ю., Грудініна Г.С., Надточій В.А., Надточий А.В., ...777
ПРИНЦИПИ НАВЧАННЯ У ВИЩІЙ ШКОЛІ: ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПОЧАТКОВИХ КЛАСІВ
Михальченко Н.В. 780
ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Нефьодов Д.В. 782
ІНТЕГРАЦІЯ STEM-ПІДХОДУ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОФЕСІЙНУ ПІДГОТОВКУ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ, МАТЕМАТИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ
Поздєєв В.О. 785
ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ФІЗИЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ
Січко В.М. 787
BEYOND LANGUAGE PROFICIENCY: ENGLISH LANGUAGE LEARNING, ECONOMIC EDUCATION, AND PERSONAL DEVELOPMENT IN HIGHER EDUCATION
Filipishyna L.M., Sidash N.S. 789
КРИТИЧНЕ МИСЛЕННЯ ЗДОБУВАЧІВ ІСТОРИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ У ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Хрящевська Л.М., ...791
СПОРТИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЗВО (УНІВЕРСИТЕТУ) ЯК ФАКТОР МОТИВАЦІЇ ДО ЗДОРОВОГО СПОСОБУ ЖИТТЯ
Вакуліна Л.М. 793
АВТЕНТИЧНИЙ ТЕКСТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ІНШОМОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ
Задорожна Т.П. 795
ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ ОСВІТНЬОЇ ПОЛІТИКИ
Матвієнко Л.В. 797
ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ОСВІТОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ТРАНСФОРМАЦІЇ
Панченко Г.О. 799
ПІДГОТОВКА ПЕДАГОГІВ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИНЦИПІВ ІНКЛЮЗИВНОЇ ОСВІТИ: КОМПЕТЕНТНІСНИЙ ПІДХІД
Середа І.В. 802

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ДО ЗАСТОСУВАННЯ СТРАТЕГІЙ СУПРОВОДУ В ІНКЛЮЗИВНОМУ КЛАСІ
Шапочка В.А. 804
КОРЕКЦІЙНО-РОЗВИТКОВА СКЛАДОВА ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ ДІТЬМИ МОЛОДШОГО ШКІЛЬНОГО ВІКУ З РАС
Шапочка К.А. 806
ПРОФЕСІЙНА ЛЕКСИКА В ІНШОМОВНІЙ КОМУНІКАЦІЇ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
Андрєєва М.А. 808
MEDIATION TASKS IN PROFESSIONALLY ORIENTED ENGLISH LANGUAGE TEACHING FOR STUDENTS OF TECHNICAL SPECIALITIES
Andrieieva M. 809
ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ НАВЧАЛЬНОЇ АВТОНОМІЇ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ
Андрєєва М.А. 811
ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ В УМОВАХ НАВЧАННЯ ОНЛАЙН
Бойко Л.М., Смірнова І.М. 812
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A MOTIVATION TOOL IN ONLINE ENGLISH LANGUAGE TEACHING
Boiko L. 814
ПОЗААУДИТОРНА ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК ПРОСТІР ІННОВАЦІЙНОГО НАЦІОНАЛЬНО-ПАТРІОТИЧНОГО ВИХОВАННЯ СТУДЕНТІВ
Бреславська Г.Б. 815
АКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОБЛЕМ ПЕДАГОГІЧНОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ
Корнієнко І.А. 817
ІННОВАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПАРТНЕРСЬКОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗАКЛАДУ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ ТА РОДИНИ В ЦИФРОВОМУ ОСВІТНЬОМУ ПРОСТОРІ
Курчатова А.В. 820
ТЕНДЕНЦІЇ СВІТОВОГО СУДНОБУДУВАННЯ КІНЦЯ XIX – ПОЧАТКУ XX СТОЛІТЬ (ЗА МАТЕРІАЛАМИ УЗАГАЛЬНЮЮЧОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖЕНЕРІВ-ПРАКТИКІВ)
Рижева Н.О., ... 823
ПЕДАГОГІЧНА ОСВІТА У ВИКЛИКАХ КОМПЕТЕНТНІСНОГО НАВЧАННЯ
Ситченко А.Л. 825
ПЕДАГОГІЧНА ПРОФІЛАКТИКА ДЕВІАНТНОЇ ПОВЕДІНКИ ЗДОБУВАЧІВ ПОЧАТКОВОЇ ОСВІТИ
Султанова Н.В. 826
НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ СУДНОБУДУВАННЯ
Урсуленко І.О. 828
ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПОЧАТКОВОЇ ШКОЛИ ДО ФОРМУВАННЯ ПРИРОДНИЧОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ В УМОВАХ НОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ ШКОЛИ
Філімонова Т.В. 830
ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНИЙ КОНТЕКСТ ЯК ЧИННИК ФОРМУВАННЯ ГРОМАДЯНСЬКОЇ ТА ПРОФЕСІЙНОЇ ІДЕНТИЧНОСТІ МАЙБУТНЬОЇ ТЕХНІЧНОЇ ЕЛІТИ
Шаповалова І.В. 832
СОЦІАЛЬНІ ВИКЛИКИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ: ТРАНСФОРМАЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ ВИКЛАДАЧА ТА СТУДЕНТА В ТЕХНІЧНОМУ ЗВО
Шаповалова І.В. 834
ФОРМУВАННЯ ЕТИЧНОЇ ТА СОЦІОКУЛЬТУРНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ У ДОБУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
Шаповалова І.В. 836
ПЕДАГОГІЧНА ТВОРЧІСТЬ ЯК РЕСУРС ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ПЕДАГОГА В УМОВАХ ВИКЛИКІВ XXI СТОЛІТТЯ
Якименко С.І., Якименко П.В. 838

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ КОМУНІКАТИВНО-ЕМОЦІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ТРЕНЕРІВ-ВИКЛАДАЧІВ
Рябчук Р.О., Михальченко Н.В. 841
НЕЙРОГІМНАСТИКА ЯК СУЧАСНИЙ ЗАСІБ РОЗВИТКУ МОВЛЕННЄВИХ ФУНКЦІЙ У ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ
Демиденко Т.А.,....843
ВИЩА ОСВІТА НА МИКОЛАЇВЩИНІ В 1990-Х – НА ПОЧАТКУ 2000-Х РР.
Жданов В.В. 845
VIRTUAL REALITY AS A MEANS OF TRANSITIONING FROM THEORETICAL TRAINING TO THE DEVELOPMENT OF PRACTICAL COMPETENCIES FOR SHIPBOARD PERSONNEL
Kyrychenko K.V. 847
СУЧАСНА РОК-МУЗИКА У ФОРМУВАННІ ЕСТЕТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ
Щербак І.В. 848
ДИСТАНЦІЙНЕ НАВЧАННЯ УКРАЇНСЬКИХ ШКОЛЯРІВ ЗА КОРДОНОМ ПІД ЧАС ВІЙНИ: ОСВІТНІ ВИКЛИКИ
Глубоченко К.О. 850
ВИКОРИСТАННЯ GEOGEBRA У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ: МЕТОДИЧНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ОСВІТНІ РЕЗУЛЬТАТИ
Заболотна Д.В. 852
ПСИХОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ГУМАНІСТИЧНО-АКСІОЛОГІЧНИХ ЗАСАД ОСВІТИ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ
Сушко В.В., Дендеренко О.В. 854
ТРАНСФОРМАЦІЯ СОЦІАЛІЗУЮЧОЇ ФУНКЦІЇ ОСВІТИ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ
Матвієнко Л.В., Сонечко О.С. 856
НОВІ ПЕДАГОГІЧНІ ПРАКТИКИ ВИВЧЕННЯ ЛІТЕРАТУРИ В УМОВАХ ОСВІТНІХ ТРАНСФОРМАЦІЙ
Мхитарян О.Д. 858
THE PHENOMENON OF SCIENTIFIC CREATIVITY IN THE CONTEXT OF TRAINING PROSPECTIVE ENGINEERS OF THE SHIPBUILDING INDUSTRY
Romanchuk N.O., Maiboroda O.V., Petkov I.V. 860
ЗДОРОВИЙ СПОСІБ ЖИТТЯ – НАЙКРАЩА ПРОФІЛАКТИКА ЗАХВОРЮВАНЬ
Кулин І., Сокол О., ...862
РАЦІОНАЛЬНЕ ХАРЧУВАННЯ СТУДЕНТІВ – ЗАПОРУКА ЗДОРОВ'Я
Сокол О., Кулин І. 864
СУЧАСНІ ЦИФРОВІ РЕСУРСИ В ОЗНАЙОМЛЕННІ ДІТЕЙ ІЗ ДИТЯЧОЮ ЛІТЕРАТУРОЮ
Трифонова О.С., ...866
ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ПЕРСОНАЛУ СУДНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТА ІНДУСТРІЇ 5.0
Щедролосєв О.В., Коновалова Г.В. 868
ВОКАЛЬНА МАЙСТЕРНІСТЬ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ МУЗИЧНОГО МИСТЕЦТВА ЯК СКЛАДОВА ЙОГО ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ
Щетиніна Г.Ю. 870
ІГРОВІ ТА ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ
Тесленко С.О. 873

Наукове видання

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XVII Міжнародна науково-технічна конференція

Матеріали

22–23 жовтня 2026 рік

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9

(українською і англійською мовами)

Відповідальний за випуск *Г. В. Павлов*
Комп'ютерне верстання *Ю. С. Семенченко*

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 104,16. Тираж 150. Зам. № 0710-84
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ

Науково-дослідна частина
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

Просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
Тел.: (0512) 70-91-04; http://conference.nuos.edu.ua
e-mail: conference@nuos.edu.ua