

УДК 629.12
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).1](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).1)

CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF AMPHIBIOUS HOVERCRAFT WITH HYBRID MECHANISMS

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АМФІБІЙНИХ СУДЕН НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ З ГІБРИДНИМИ МЕХАНІЗМАМИ

Oleksandr V. Aksonov
Aksionov123456@gmail.com
ORCID: 0009-0006-6932-5809
Volodymyr V. Zaytsev
zv1949@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3637-9273

О. В. Аксьонов,
аспірант
В. В. Зайцев,
докт. техн. наук, професор

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв

Abstract. The article analyzes modern amphibious hovercraft and their power systems, which provide the ability to move both on water and on land. The features of the use of hybrid mechanisms are considered, the main trends in the development of technologies are identified. Special attention is paid to the problems and challenges associated with the implementation of hybrid mechanisms on amphibious hovercraft, among which technical and economic aspects are highlighted. Prospects for the development of the industry are presented with an emphasis on potential improvements that can increase efficiency and reduce environmental impact.

Purpose – conducting a comparative analysis of energy systems used in amphibious hovercraft. An overview of amphibious hovercraft with hybrid mechanisms, their principle of operation and advantages over traditional mechanisms, economic and environmental aspects, as well as the main problems and prospects for the development of hybrid amphibious hovercraft mechanisms in modern conditions and their potential for the development of the shipbuilding industry.

Method – this article is based on the analysis of publications, information from patents, and data from foreign manufacturers of amphibious vessels with hybrid mechanisms, using reviews of academic research, reports of shipbuilding companies, technical specifications, and scientific articles devoted to hybrid technologies in shipbuilding. This approach allows creating an objective picture of the state and prospects for the development of hybrid mechanisms on Hovercraft.

Results – the main problems and prospects for the application of hybrid mechanisms on Hovercraft are presented, which opens up opportunities for the development of environmentally sustainable and economically profitable shipbuilding. Practical importance – the application of hybrid mechanisms on Hovercraft will contribute to reducing operating costs, reducing environmental pollution, and ensuring safer operation in hard-to-reach and protected areas.

Key words: amphibious hovercraft; hybrid mechanisms; energy system; environmental friendliness; cost-effectiveness; problems and prospects.

Анотація. У статті проведено аналіз сучасних амфібійних суден на повітряній подушці (СППА) та їх енергетичних систем, які забезпечують можливість пересування як по воді, так і по суші. Розглянуто особливості використання гібридних механізмів, визначено основні тенденції розвитку технологій. Окрему увагу приділено проблемам і викликам, пов'язаним із впровадженням гібридних механізмів на СППА, серед яких виділено технічні та економічні аспекти. Наведено перспективи розвитку галузі з акцентом на потенційні вдосконалення, які можуть підвищити ефективність і знизити вплив на навколишнє середовище.

Мета – проведення порівняльного аналізу енергетичних систем, що використовуються на СППА. Огляд СППА з гібридними механізмами, їх принцип роботи та переваги перед традиційними механізмами, економічні та екологічні аспекти, а також основні проблеми та перспективи розвитку гібридних механізмів СППА в сучасних умовах та їх потенціал для розвитку суднобудівної галузі.

Методика – ця стаття ґрунтується на аналізі публікацій, інформації з патентів, та даних від закордонних виробників амфібійних суден з гібридними механізмами, використовуються огляди академічних досліджень, звіти

суднобудівних компаній, технічні специфікації та наукові статті, присвячені гібридним технологіям у суднобудуванні. Такий підхід дозволяє створити об'єктивне уявлення про стан та перспективи розвитку гібридних механізмів на СППА.

Результати – наведено основні проблеми та перспективи застосування гібридних механізмів на судах на повітряній подушці, що відкриває можливості для розвитку екологічно стійкого та економічно вигідного суднобудування.

Практична значимість – застосування гібридних механізмів на СППА сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, зниженню забруднення навколишнього середовища та забезпеченню безпечнішої експлуатації у важкодоступних та заповідних районах.

Ключові слова: амфібійні судна на повітряній подушці; енергетична система; гібридні механізми; гібридні технології, екологічність; економічність, проблеми та перспективи.

ВСТУПНА ЧАСТИНА

В умовах глобальної зміни клімату та посилення екологічних норм, транспортні системи вимушені адаптуватися, переходячи на більш екологічно чисті технології. Суднобудівна галузь не є винятком: зростає попит на рішення, що знижують викиди забруднюючих речовин у навколишнє середовище, скорочують експлуатаційні витрати та підвищують економічну ефективність суден. СППА, які використовуються для транспортування як по воді, так і по суші, можуть стати об'єктом особливої уваги завдяки своїй універсальності та потенціалу для застосування в різних умовах. Однак традиційні системи приводу, які використовують дизельне паливо, суттєво впливають на екологію і це стимулює розробку гібридних механізмів, які можуть поєднувати кілька джерел енергії, наприклад, дизельний і електричний привід, що знижує негативний вплив на навколишнє середовище та дозволяє підвищити автономність суден. Розробка та впровадження таких гібридних технологій на СППА, відкривають нові перспективи у суднобудуванні, а саме, відповідність до сучасних вимог щодо екологічності та ефективності.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Енергетична система СППА – це комплекс технічних засобів для забезпечення подачі енергії до всіх систем судна.

Основні функції:

- генерація механічної енергії для створення повітряної подушки (ПП);
- забезпечення тяги для руху судна;
- живлення електричних споживачів (навігаційні прилади, освітлення, радіозв'язок тощо);
- підтримка життєзабезпечення екіпажу та пасажирів.

До складу системи входять головні двигуни, повітряні нагнітачі, рушії, генератори та системи управління.

Основні вимоги до енергетичних систем: висока надійність і стійкість до перепадів навантаження; економічність (оптимальна витрата пального); невелика маса та компактність; зниження рівня шуму та викидів; легкість обслуговування й ремонту.

Типи енергетичних систем на сучасних СППА:

Бензинові двигуни – вони зазвичай легші та компактніші порівняно з дизельними, що може бути важливим для менших суден, де вага та розміри мають велике значення та дешевші у виробництві, але мають меншу ефективність порівняно з дизельними двигунами. Простота конструкції бензинових двигунів може знижувати витрати на технічне обслуговування та ремонт, що може бути привабливим для деяких користувачів.

Електричні двигуни – з розвитком технологій електричні двигуни стають все більш популярними. Вони екологічно чистіші та тихіші, але мають обмежений запас ходу через обмежену ємність акумуляторів [1].

Електричні двигуни використовуються на амфібійних судах на повітряній подушці (СППА) через кілька важливих причин:

1. Екологічність – електричні двигуни не виробляють викидів шкідливих речовин, що робить їх екологічно чистими, це важливо, особливо для використання в екологічно чутливих районах.

2. Тихість – працюють значно тихіше, ніж дизельні чи бензинові двигуни, це може бути важливим фактором для суден, які працюють у районах з високими вимогами до рівня шуму.

3. Ефективність – дозволяє знижувати експлуатаційні витрати та покращувати продуктивність суден.

4. Зменшення вібрацій – виробляють менше вібрацій порівняно з традиційними двигунами, що сприяє комфорту пасажирів та довговічності судна.

5. Модульність – їх можна легше інтегрувати в різні конструкції суден, що дозволяє створювати більш гнучкі та адаптивні рішення.

Хоча електричні двигуни можуть мати обмежений запас ходу через обмежену ємність акумуляторів, розвиток акумуляторних технологій та впровадження гібридних механізмів дозволяють розширити їх застосування на СППА [2, 3].

Газотурбінні двигуни (ГТД) – використовуються переважно на військових або високошвидкісних судах через високу потужність.

Газотурбінні двигуни використовують на амфібійних судах на повітряній подушці (СППА) з кількох причин:

1. Висока потужність – можуть забезпечувати дуже високу потужність, що важливо для підтримання високої швидкості та маневреності СППА.

2. Компактність – мають високу потужність на одиницю ваги і розміру, що дозволяє зменшити габарити та вагу судна, забезпечуючи більшу вантажопідйомність та покращуючи його маневреність.

3. Швидкий набір обертів – здатні швидко набирати оберти, що дозволяє судну швидко прискорюватися та змінювати швидкість, що є важливим для маневреності та уникнення перешкод.

4. Надійність – мають високу надійність і довговічність, що знижує витрати на технічне обслуговування та ремонт.

5. Адаптивність – можуть працювати в різних умовах та на різних типах палива, що робить їх універсальними для використання на різних типах СППА [4].

Ці переваги роблять газотурбінні двигуни привабливим вибором для амфібійних суден на повітряній подушці.

Приклад суден:

– SR.N4 (Велика Британія) – пасажирський СПП великої місткості, газотурбінні двигуни Rolls-Royce Proteus (SR.N4).

– МДК Бізон проекту 958 – військовий десантний СПП, газотурбінні двигуни M35.

Для невеликих газотурбінних двигунів, які використовуються на малих судах, споживання палива може становити близько 100–200 літрів на годину, для середніх та великих газотурбінних двигунів, що використовуються на великих морських судах, цей показник може досягати 2000–4000 літрів на годину або навіть більше.

Дизельні двигуни – поширені на цивільних СППА, забезпечують економічну роботу при відносно невисоких швидкостях.

На СППА дизельні двигуни використовують через:

1. Ефективність – забезпечують високу паливну ефективність, що дозволяє знижувати витрати на паливо та підвищувати тривалість роботи суден без дозаправки.

2. Надійність – вони відомі своєю надійністю та довговічністю. Це особливо важливо для амфібійних суден, які можуть працювати в суворих умовах та віддалених місцевостях.

3. Потужність – дизельні двигуни здатні забезпечувати високу потужність, необхідну для підтримання високої швидкості та маневреності СППА.

4. Ремонтпридатність – завдяки своїй простій конструкції дизельні двигуни легше ремонтувати та обслуговувати. Це особливо важливо для амфібійних суден, які можуть знаходитися далеко від основних ремонтних баз.

5. Доступність палива – дизельне паливо є більш доступним у багатьох регіонах, ніж інші види палива.

Це робить використання дизельних двигунів практичним вибором для суден, які експлуатуються у віддалених місцевостях.

Ці фактори і в нинішній час роблять дизельні двигуни популярним вибором для амфібійних суден на повітряній подушці [5].

Приклад суден:

• Griffon 8000TD (Велика Британія) – рятувальний і патрульний СПП.

Гібридні механізми – поєднання дизельних і електричних установок для підвищення ефективності та зменшення викидів.

Гібридні механізми використовуються на амфібійних судах на повітряній подушці через кілька вагомих причин:

1. Ефективність – гібридні механізми поєднують в собі переваги традиційних двигунів внутрішнього згоряння та електричних двигунів, це дозволяє знижувати витрати палива та підвищувати загальну ефективність роботи судна.

2. Зменшення викидів – завдяки використанню електричних двигунів у складі гібридної системи знижується рівень викидів шкідливих речовин, що робить такі судна більш екологічно чистими.

3. Гнучкість – дозволяють використовувати різні джерела енергії залежно від умов експлуатації, наприклад, у міських зонах можна використовувати електричний режим, а на тривалих маршрутах – традиційний двигун внутрішнього згоряння.

4. Зменшення шуму – електричні двигуни працюють тихіше, ніж дизельні або бензинові двигуни, що знижує рівень шуму та робить судно комфортнішим для пасажирів.

5. Резервна потужність – гібридні механізми забезпечують наявність резервної потужності, що підвищує надійність та безпеку експлуатації судна [6, 7].

Аналіз енергетичних систем СППА показав, що кожен тип має свої переваги та недоліки. Газотурбінні двигуни забезпечують високу потужність, але потребують великих витрат пального, дизельні двигуни відзначаються економічністю та простотою, гібридні механізми є найбільш перспективними завдяки своїй екологічності та можливості роботи в безшумному режимі.

Амфібійні судна на повітряній подушці потребують надійних і потужних енергетичних систем, здатних забезпечити роботу повітряного компресора, рушійних установок та допоміжних механізмів. Дизельні енергетичні системи є найпоширенішим варіантом для таких суден завдяки їхній потужності, паливній ефективності та надійності. Однак вони також мають певні недоліки, які можуть впливати на їхню експлуатацію.

Переваги дизельних енергетичних систем:

• Висока паливна ефективність, дизельні двигуни мають вищий ККД порівняно з бензиновими або

газотурбінними установками. Це дозволяє зменшити витрати пального і збільшити дальність автономного ходу судна.

- Велика потужність, дизельні енергетичні системи забезпечують високу потужність, необхідну для підтримки роботи повітряної подушки та рушійних систем, що дозволяє судну долати значні відстані і працювати в екстремальних умовах.

- Надійність і довговічність, дизельні двигуни мають тривалий ресурс роботи і відзначаються високою надійністю в умовах інтенсивної експлуатації. Вони менш чутливі до перевантажень і можуть функціонувати в складних кліматичних умовах.

- Простота обслуговування, на відміну від газотурбінних установок, дизельні двигуни простіші у технічному обслуговуванні. Їхня конструкція дозволяє проводити ремонт і заміну деталей без значних затрат.

- Доступність пального, дизельне паливо широко доступне, що робить дизельні системи економічно вигідними в довгостроковій перспективі.

- Можливість роботи у важких умовах, дизельні двигуни стійкі до перепадів температур, що дозволяє використовувати СППА у різних кліматичних зонах, включаючи арктичні та тропічні регіони.

Недоліки дизельних енергетичних систем:

- Висока маса і габарити, дизельні двигуни мають більшу масу і розміри порівняно з газотурбінними або електричними установками. Це збільшує вагу судна та може обмежувати його маневреність і швидкість.

- Високий рівень шуму і вібрацій, робота дизельного двигуна супроводжується сильним шумом і вібраціями, що може знижувати комфорт екіпажу і пасажирів, а також створювати додаткове навантаження на конструкцію судна.

- Викиди шкідливих речовин, дизельні двигуни виробляють значну кількість вихлопних газів, включаючи оксиди азоту та сажу. Це негативно впливає на навколишнє середовище і створює додаткові вимоги щодо екологічних норм.

- Обмеження по швидкості реакції, на відміну від газотурбінних установок, дизельні двигуни мають повільнішу реакцію на зміни навантаження, що може впливати на динамічні характеристики судна.

- Високі викиди тепла, дизельні двигуни виділяють значну кількість тепла, що потребує ефективних систем охолодження. Це збільшує енергоспоживання і вимагає додаткових витрат на підтримку оптимального температурного режиму.

Дизельні енергетичні системи є ефективним і надійним рішенням для амфібійних суден на повітряній подушці, вони забезпечують високу потужність, тривалий термін служби і відносну економічність експлуатації. Однак їхня велика маса, шумність та екологічні обмеження створюють певні труднощі, які необхідно враховувати при проектуванні і модернізації таких суден.

Подальший розвиток технологій спрямований на зменшення шкідливих викидів та покращення паливної ефективності, і це можливо зробити завдяки інтеграції дизельної та електричної систем для оптимізації роботи суден [8, 9, 10, 11].

В останні роки європейські компанії почали активно впроваджувати гібридні технології в конструкцію своїх СППА. Найбільш відомі розробки таких виробників, як Griffon Hoverwork і British Hovercraft Corporation, які впроваджують електричні та електродизельні системи в свої моделі, ці компанії розробляють гібридні механізми, здатні знизити експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище. Griffon Hoverwork, представила модель Griffon 995ED, це електродизельне судно, що забезпечує точну маневреність та стабільну платформу для операцій із корисним навантаженням трохи менше 1 тонни для швидкого, прямого та ефективного реагування, рухається зі швидкістю 30 вузлів по мілководді, пляжам, водоростям та сміттю з висотою зависання 0,5 м, що відокремлює корпус від поверхні. Судно використовує два азимутальні електроприводні тягові модулі, це дає оператору більшу маневреність і крутіший поворот у порівнянні з рулями, а також знижує рівень шуму. Якщо один силовий модуль стає неактивним, судно може продовжувати працювати з силовим агрегатом. У дизельному режимі судно зберігає високу потужність, необхідну для підтримання повітряної подушки, а в електричному режимі досягається економія пального та зниження експлуатаційних витрат [12].

Гібридні механізми на СППА включають в себе кілька ключових технологічних рішень, спрямованих на оптимізацію використання енергії та покращення експлуатаційних характеристик:

- Енергозберігаючі системи управління: сучасні СППА оснащуються системами автоматичного управління потужністю, які перерозподіляють навантаження між дизельним та електричним приводом залежно від умов експлуатації, наприклад, при русі на низькій швидкості або в екологічно чутливих зонах активується електродвигун, що мінімізує вплив на навколишнє середовище.

- Збільшена ємність акумуляторів: сучасні СППА можуть бути обладнані завдяки вдосконаленим літєвим батареям або новим розробкам у сфері акумуляторів твердотілими батареями високої ємності, що дозволить подовжити час роботи в електричному режимі.

Застосування гібридних технологій на СППА відкриває ряд важливих переваг, як з економічної, так і з екологічної точки зору, а саме:

- Зниження експлуатаційних витрат: використання електричного приводу дозволяє скоротити витрати на паливо, що особливо важливо для суден з високим навантаженням і інтенсивною експлуатацією.

- Зменшення викидів шкідливих речовин: перехід на гібридні механізми дозволяє знизити викиди вуглекислого газу (CO_2), оксид азоту (NO_x) та оксиду сірки (SO_x), що робить СППА більш екологічними.

- Зниження рівня шуму: використання електричного приводу знижує рівень шуму, що дозволяє використовувати СППА у чутливих зонах і прибережних районах, де важливий мінімальний вплив на екосистему.

- Гнучкість у виборі режимів роботи: гібридні механізми дозволяють більш ефективно розподіляти навантаження та перемикатися між дизельним та електричним приводом залежно від умов експлуатації та потреб.

- Зниження витрат на обслуговування, завдяки можливості використовувати електричні двигуни, а це в свою чергу зменшує зношення дизельних установок, що знижує потребу в частому технічному обслуговуванні та ремонті. Інвестиції в гібридні технології окупаються завдяки скороченню експлуатаційних витрат і збільшенню терміну служби силових установок.

Незважаючи на численні переваги, використання гібридних механізмів, СППА стикаються з рядом технічних проблем. Однією з основних – це обмежена ємність сучасних акумуляторів. СППА потребують високої потужності для підтримки повітряної подушки, а це в свою чергу, значне споживання енергії, навіть найсучасніші літій-іонні акумулятори можуть забезпечити лише обмежений час автономної роботи в електричному режимі, що знижує ефективність гібридних механізмів в умовах, коли потрібна висока продуктивність.

Також виникають труднощі з інтеграцією гібридних механізмів у конструкцію СППА. Гібридні установки потребують складного обладнання для управління розподілом потужності між дизельним та електричним приводом, а саме інвертори, системи охолодження, високовольтні компоненти, які збільшують вагу судна та вимагають додаткового простору, якого і так бракує. Для компактних моделей СППА, призначених для роботи в важкодоступних зонах, такі обмеження можуть виявитися критичними, оскільки збільшення маси знижує маневреність та максимальну швидкість судна [13, 14, 15].

Очікується, що в найближчі роки гібридні механізми будуть продовжувати розвиватися, а їх використання на судах на повітряній подушці стане більш поширеним в міру покращення технологій.

Основними напрямками розвитку стануть:

- Автономні системи управління – інтеграція автоматизованих систем управління та штучного інтелекту забезпечить підвищення безпеки та точності навігації.

- Використання композитних матеріалів і новітніх сплавів дозволить знизити вагу суден, підвищити їх міцність і стійкість до корозії.

- Аеродинамічні та гідродинамічні покращення – оптимізація форми корпусу та конструкційні зміни знизять опір води і повітря, підвищуючи швидкість та маневреність.

- Підвищення ефективності акумуляторів – нові розробки в області батарей дозволять збільшити тривалість роботи в електричному режимі, а також знизити вагу та обсяг, зайнятий системою акумуляторів, що особливо важливо для СППА.

- Розширення використання водневих паливних елементів – водневі системи на основі паливних елементів обіцяють стати більш доступними та компактними, що дозволить впроваджувати їх у судна з обмеженим простором.

- Зниження вартості та спрощення інтеграції гібридних технологій – з розвитком ринку гібридні механізми стануть більш доступними за ціною і простішими в інтеграції в існуючі конструкції суден.

- Впровадження систем рекуперації енергії.

- Розробка систем дистанційного моніторингу та діагностики роботи енергетичних систем.

Технологічний прогрес та посилення екологічних вимог в суднобудуванні забезпечують оптимістичний прогноз для гібридних механізмів на СППА. Очікується, що в майбутньому гібридні судна стануть стандартом для застосування в прибережних зонах і екологічно чутливих районах, а традиційні дизельні установки будуть використовуватися переважно для спеціалізованих завдань або там, де електричні технології поки що недостатні для покриття енергетичних потреб [16, 17].

ВИСНОВКИ

Серед розглянутих енергетичних систем, що застосовуються на сучасних СППА, гібридні механізми виглядають більш ефективними, але й вони мають свої переваги та обмеження, а саме:

- Економічна вигода: використання гібридних механізмів дозволяє скоротити витрати на паливо, що робить такі судна більш економічно вигіднішими для довгострокової експлуатації. Зниження витрат на дизельне паливо не тільки підвищує рентабельність, але й зменшує витрати на обслуговування та ремонт.

- Зниження викидів шкідливих речовин: гібридні механізми можуть зменшити викиди вуглекислого газу (CO_2), оксид азоту (NO_x) та оксиду сірки (SO_x) при переході на електричний привід у зонах, де це можливо.

Технічні виклики: обмежена ємність батарей і складність інтеграції гібридних механізмів залишаються актуальними проблемами. Сучасні розробки спрямовані на покращення акумуляторних батарей і систем управління, що у перспективі зробить гібридні механізми СППА ще більш ефективними та доступними, також виникають труднощі з інтеграцією гібридних механізмів у конструкцію СППА, гібридні установки потребують складного обладнання для управління розподілом

потужності між дизельним та електричним приводом, а саме інвертори, системи охолодження, високовольтні компоненти, які збільшують вагу судна та вимагають додаткового простору, якого і так бракує. Для компактних моделей СППА, призначених для роботи в важкодоступних зонах, такі обмеження можуть виявитися критичними, оскільки збільшення маси знижує маневреність та максимальну швидкість судна.

Перспективи застосування гібридних механізмів на судах на повітряній подушці відкривають можливість для розвитку екологічно стійкого та економічно вигідного суднобудування. Застосування таких СППА у майбутньому сприятиме зниженню забруднення навколишнього середовища та забезпеченню безпечнішої експлуатації у важкодоступних та заповідних районах.

REFERENCES

- [1] Hughes, A. and Drury, B. (2019). "Electric motors and drives: fundamentals, types and applications", *Newnes*.
- [2] Sciberras, E. A., Zahawi, B., Atkinson, D. J. and Juandy, A. (2015). Electric auxiliary propulsion for improved fuel efficiency and reduced emissions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 229(1), 36–44.
- [3] Tjahjowidodo, T., Chan, R. (2017). "Optimizing fuel savings and power system reliability for all-electric hybrid vessels using model predictive control," In *2017 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)* (pp. 1532–1537). IEEE.
- [4] Woodyard, D. (2009). "Pounder's marine diesel engines and gas turbines", Butterworth-Heinemann.
- [5] Xin, Q. (2011). "*Diesel engine system design*", Elsevier.
- [6] Bayraktar, M. & Cerit A. G. (2020). An assessment on the efficient use of hybrid propulsion system in marine vessels. *World Journal of Environmental Research*. 10(2), 61–74. Retrieved from: <https://doi.org/10.18844/wjer.v10i2.5346>
- [7] Dedes, E.K., Hudson, D.A., Turnock, S.R. (2016). "Investigation of Diesel Hybrid systems for fuel oil reduction in slow speed ocean going ships." *Energy*, 114, 444–456.
- [8] International Maritime Organization (IMO). (2020). "*Prevention of Air Pollution from Ships*".
- [9] Kuropyatnyk, O. A., Sagin, S. V. (2019). "Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines". *NASE MORE: International Journal of Maritime Science & Technology*, Vol. 66, № 1.
- [10] Nielsen, K. V., Blanke, M., Eriksson, L., (2018). "Marine diesel engine control to meet emission requirements and maintain maneuverability," *Control Engineering Practice*, 76, 12–21.
- [11] Hountalas, D. T., Mavropoulos, G. C., Katsanos, C., Daniolos, S., (2016). "Potential for efficiency improvement of four-stroke marine diesel gensets by utilisation of exhaust gas energy," *International Journal of Global Warming*, 10(1–3), 133–157.
- [12] Electric drive hovercraft used in Search & Rescue and commercial use. Retrieved from: <https://www.griffonhoverwork.com/products/hovercraft/995ed-hovercraft/>.
- [13] Eze, I. N., Anih, L. U. (2025) "The Hybrid Ship Propulsion for Power Generation, Electric Traction and Charging Modes.", *Proceeding of the 1st International Conference/Exhibitions of the Department of Mechatronic Engineering, University of Nigeria, Nsukka*. Pp. 345–349.
- [14] Kunicka, M., Litwin, W. (2019). Energy Efficient Small Inland Passenger Shuttle Ferry with Hybrid Propulsion-Concept Design, Calculations and Model Tests. *Polish Maritime Research*, 26(2), 85–92.
- [15] Bennabi, N., Charpentier, J. F., Menana, H., Billard, J. Y., Genet, P. (2016). "Hybrid propulsion systems for small ships: Context and challenges," In *2016 XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)* (pp. 2948–2954). IEEE.
- [16] Soghomonian, Z., Prousalidis, J. M., Kanellos, F., Dallas, S. E., Spathis, D., Kourmpelis, T., Tsekouras, G. (2016) "The role of efficiency of electric machinery on green shipping," In *2016 XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)* (pp. 2968–2974). IEEE.
- [17] Bolvashenkov, I., Herzog, H. G., Rubinraut A., Romanovskiy, V. (2014). "Possible ways to improve the efficiency and competitiveness of modern ships with electric propulsion systems," In *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1–9). IEEE.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Hughes, A. and Drury, B. (2019). "Electric motors and drives: fundamentals, types and applications", *Newnes*.
- [2] Sciberras, E. A., Zahawi, B., Atkinson, D. J. and Juandy, A. (2015). Electric auxiliary propulsion for improved fuel efficiency and reduced emissions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 229(1), 36–44.
- [3] Tjahjowidodo, T., Chan, R. (2017). "Optimizing fuel savings and power system reliability for all-electric hybrid vessels using model predictive control," In *2017 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)* (pp. 1532–1537). IEEE.
- [4] Woodyard, D. (2009). "Pounder's marine diesel engines and gas turbines", Butterworth-Heinemann.
- [5] Xin, Q. (2011). "*Diesel engine system design*", Elsevier.

- [6] Bayraktar, M. & Cerit A. G. (2020). An assessment on the efficient use of hybrid propulsion system in marine vessels. *World Journal of Environmental Research*. 10(2), 61–74. Retrieved from: <https://doi.org/10.18844/wjer.v10i2.5346>
- [7] Dedes, E.K., Hudson, D.A., Turnock, S.R. (2016). “Investigation of Diesel Hybrid systems for fuel oil reduction in slow speed ocean going ships.” *Energy*, 114, 444–456.
- [8] International Maritime Organization (IMO). (2020). “*Prevention of Air Pollution from Ships*”.
- [9] Kuropyatnyk, O. A., Sagin, S. V. (2019). “Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NO_x Emissions from Marine Diesel Engines”. *NASE MORE: International Journal of Maritime Science & Technology*, Vol. 66, № 1.
- [10] Nielsen, K. V., Blanke, M., Eriksson, L., (2018). “Marine diesel engine control to meet emission requirements and maintain maneuverability,” *Control Engineering Practice*, 76, 12–21.
- [11] Hountalas, D. T., Mavropoulos, G. C., Katsanos, C., Daniolos, S., (2016). “Potential for efficiency improvement of four-stroke marine diesel gensets by utilisation of exhaust gas energy,” *International Journal of Global Warming*, 10(1–3), 133–157.
- [12] Electric drive hovercraft used in Search & Rescue and commercial use. Retrieved from: <https://www.griffonhoverwork.com/products/hovercraft/995ed-hovercraft/>.
- [13] Eze, I. N., Anih, L. U. (2025) “The Hybrid Ship Propulsion for Power Generation, Electric Traction and Charging Modes.”, *Proceeding of the 1st International Conference/Exhibitions of the Department of Mechatronic Engineering, University of Nigeria, Nsukka*. Pp. 345–349.
- [14] Kunicka, M., Litwin, W. (2019). Energy Efficient Small Inland Passenger Shuttle Ferry with Hybrid Propulsion-Concept Design, Calculations and Model Tests. *Polish Maritime Research*, 26(2), 85–92.
- [15] Bennabi, N., Charpentier, J. F., Menana, H., Billard, J. Y., Genet, P. (2016). “Hybrid propulsion systems for small ships: Context and challenges,” In *2016 XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)* (pp. 2948–2954). IEEE.
- [16] Soghomonian, Z., Prousalidis, J. M., Kanellos, F., Dallas, S. E., Spathis, D., Kourmpelis, T., Tsekouras, G. (2016) “The role of efficiency of electric machinery on green shipping,” In *2016 XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)* (pp. 2968–2974). IEEE.
- [17] Bolvashenkov, I., Herzog, H. G., Rubinraut A., Romanovskiy, V. (2014). “Possible ways to improve the efficiency and competitiveness of modern ships with electric propulsion systems,” In *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1–9). IEEE.

© Аксьонов О. В., Зайцев В. В.

Дата надходження статті до редакції: 02.06.2025

Дата затвердження статті до друку: 18.06.2025