

УДК 629.533

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2025.2\(500\).5](https://doi.org/10.15589/znп2025.2(500).5)

THE CONCEPT OF A MODULAR-PONTOON PENTAMARAN RO-RO
FOR MULTIMODAL TRANSPORTATION
“BILHOROD-DNISTROVSKYI – OVIDIOPOL” OF THE ROUTE

КОНЦЕПЦІЯ МОДУЛЬНО-ПОНТОННОГО ПОРОМУ-ПЕНТАМАРАНУ
ДЛЯ ВАНТАЖНИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МАРШРУТІ
«БІЛГОРОД-ДНІСТРОВСЬКИЙ – ОВІДІОПОЛЬ»

Oleksii A. Morozov

oleksii.morozov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-7631-9099

О. О. Морозов,

викладач

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

Abstract. *Purpose.* Justification of the concept of a modular-pontoon ferry-pentamaran of the RO-RO type and determination of its elements for the route “Bilhorod-Dnistrovskiy – Ovidiopol” in conditions of significant fluctuations in cargo flow. *Method.* Methods of ship theory and design, analysis and statistics are used. *Results.* The dimensions of the pontoon modules were obtained using simulation modeling using statistical testing. A design based on a non-hermetic pontoon module made of high-density foam plastic with a sheathing of HDPE sheets, which is placed in a steel structure, was used. The vessel's modularity ensures flexibility in conditions of rapid changes in operation and allows the vessel to be designed for specific routes based on a unified pontoon module. *Scientific novelty.* The scientific novelty lies in the elements for a modular-pontoon pentamaran for multimodal crossings along the route “Bilgorod-Dnistrovsky – Ovidiopol” have been substantiated and the design of pontoon modules has been provided. *Practical impact.* To increase the deck area for through passage in conditions of relatively small vessel sizes, and to “distribute” the cargo mass between a more quantity of hulls with limited draft, a multi-hull “pentamaran” scheme used. The perspective propulsion system for a modular pontoon ferry-pentamaran (MPF) is a modular hydraulic outboard propulsion. The MPF design used based on pontoon module, made of high-density foam plastic and sheathed with HDPE sheets placed in a steel structure. The modularity of the design provides flexibility in conditions of rapid changes in operation, and allows the vessel to be designed for specific routes based on the unified pontoon module. The dimensions of the pontoon modules were obtained using simulation modeling using statistical testing.

Key words: multimodal transportation; ferry-pentamaran; pontoon module; modular hydraulic outboard propulsion.

Анотація. *Мета.* Обґрунтування концепції вантажного модульно-понтонного порому-пентамаран (МПП) типу RO-RO та визначення його елементів для маршруту «Білгород-Дністровський – Овідіополь» в умовах значних коливань вантажопотоку. *Методика.* Застосовано методи теорії і проектування суден, аналізу і статистики. *Результати.* Розміри модулів-понтонів були отримані за допомогою імітаційного моделювання методом статистичних випробувань. Використано конструкцію МПП на основі негерметичного модуля-понтону, з пінопласту високої щільності обшивкою якого є листи з ПНД який розміщується у сталевій конструкції. Модульність судна, забезпечує гнучкість в умовах швидких змін функціонування, та дозволяє спроектувати судно під конкретні маршрути на основі уніфікованого модуля-понтону. *Наукова новизна.* Вперше обґрунтовано елементи для вантажного модульно-понтонного порому-пентамарану для мультимодальних перевезень маршруту «Білгород-Дністровський – Овідіополь» та визначено конструкцію модулів-понтонів. *Практичне значення.* Для збільшення площі палуби для наскрізного проїзду в умовах відносно невеликих розмірів судна, та «рознесення» маси вантажу між більшою кількістю корпусів при обмеженій осадці, була застосована багатокорпусна схема «пентамаран». Перспективною рушійною установкою для вантажного модульно-понтонного порому-пентамарану є модульний гідравлічний підвісний рушій. Застосовано конструкцію МПП на основі негерметичного модуля-понтону, з пінопласту високої щільності обшивкою якого є листи з ПНД який розміщується у сталевій конструкції. Модульність конструкції забезпечує гнучкість в умовах швидких змін функціонування, та дозволяє спроектувати судно під конкретні маршрути на основі

уніфікованого модуля-понтону наведеної у статті конструкції. Розміри модулів-понтонів були отримані за допомогою імітаційного моделювання методом статистичних випробувань.

Ключові слова: мультимодальні перевезення; модульно-понтонний пором; пентамаран; модуль-понтон; модульний гідравлічний підвісний рушій.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Вочевидь є необхідність мультимодальних перевезень на прибережні та річкові маршрутах, які відповідають наступним критеріям: економія часу та сезонна інтенсивність переміщення громадян.

Економія часу пов'язана з меншою відстанню водних маршрутів у порівнянні із наземним шляхом та як наслідок скороченням транспортних витрат або з надто високим трафіком на наземних приміських шляхах та, відповідно, появою заторів на цих шляхах.

Інтенсивність переміщення громадян особливо у весняно-літній період пов'язана з відпочинком, туризмом та початком сільхозробіт.

Слід зазначити, що функціонування ускладнюється малими глибинами біля берегу. Це унеможливорює створення судна великої водотоннажності.

Більшість пунктів заходу на можливих маршрутах не обладнані перевантажувальною технікою, тому потрібні власні вантажні засоби.

Однак, враховуючи малі розміри передбачуваного судна через умови внутрішніх водних шляхів, вага судового крана може суттєво зменшити корисне навантаження. Лекальна форма корпусу збільшують трудомісткість будівництва.

Проблеми, пов'язані з незручною конфігурацією трюмів на малих вантажних судах, можна вирішити, перейшовши до архітектурно-конструктивного типу «RO-RO».

Таким чином вирішується проблема з відсутністю необхідного розвантажувального обкладення у пункті заходу, якщо вантаж перевозитися безпосередньо автотранспортом, а судно забезпечене вантажною апареллю.

Таке рішення підвищує швидкість вантажно-розвантажувальних робіт та дозволяє реалізувати схему доставки вантажу «від дверей до дверей».

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Розглядаючи останні публікації слід зазначити [1; 2; 3; 4] у яких розглянуто та визначено форма корпусу, тип судна для маршруту «Очаків–Кінбурнська Коса», з урахуванням значних коливань пасажиропотоку та мінливості експлуатаційних умов але без урахування мультимодальної складової перевезень, коли перевезення пасажирів здійснюється пасажирським паромним сполученням з урахуванням графіку автобусних наземних перевезень.

Визначення елементів пасажирського судна модульно-понтонного типу на основі пневматичних балонів, для мультимодальних перевезень на маршруті «Білгород-Дністровський – Овідіополь» розглянуто у [5], однак вантажні пороми для мультимодальних

перевезень на подібних маршрутах не було розглянуто. Тому, наразі, відсутні системні дослідження за цією тематикою.

Метою досліджень є обґрунтування концепції вантажного модульно-понтонного порому-пентамаран типу RO-RO та визначення його елементів для маршруту «Білгород-Дністровський – Овідіополь» в умовах значних коливань вантажопотоку.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Застосовано методи теорії і проектування суден, аналізу і статистики.

Об'єкт – модульно-понтонний пором-пентамаран. Предмет – проектні, експлуатаційні дані по елементам понтонів та поромів з модулів-понтонів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Транспортування пасажирів та вантажів автомобільним транспортом через невеликі річки, лимани або прибережні райони, є складним завданням, оскільки будівництво мостів займає багато часу та може бути не доцільним а об'їзд може значно підвищити експлуатаційні витрати.

У зв'язку з цим було розглянуто судна модульно-понтонної системи [3; 4].

Модульність та уніфікація, дозволяє швидко вносити конструктивні зміни навіть під час експлуатації суден у зв'язку з швидкою мінливістю експлуатаційних умов, на основі, яких, у свою чергу, формують технічні завдання та буде економічно ефективною.

Однак слід зазначити що, у [3; 4] було розглянуто лише пасажирські модульно-понтони судна тому, вочевидь, необхідно розглянути вантажно-пасажирські МПС для транспортування генеральних вантажів та автотранспорту.

Подібні судна відносяться до типу «RO-RO» (Рис. 1, Рис. 2).

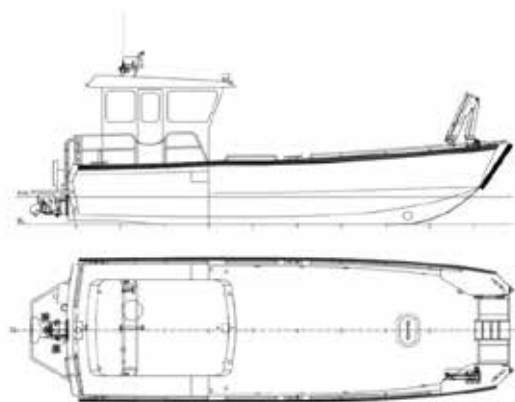


Рис. 1. «Work boat» [6]



Рис. 2. «Canby Ferry» [7]



Рис. 3. «Canby Ferry» [8]

Розглядаючи архітектурно конструктивний тип вказаного на (Рис. 2) та (Рис. 3) річкового порому, слід зазначити, що рушійна установка представляє собою модульний гідравлічний підвісний рушій (modular hydraulic outboard propulsion) (Рис. 4).



Рис. 4. Модульний гідравлічний підвісний рушій [9]

Особливістю цього рушійного комплексу є можливість розміщувати його «побортно», на палубі.

Таким чином заявляється наскрізний проїзд транспорту на відміну від «work boat». У свою чергу, це дозволяє уникнути зайвого маневрування при експлуатації порому, зменшити витрати палива та уніфікувати носову та кормову частини та обладнати апарелями.

У [5] було розглянуто пасажирський паром модульно-понтонної конструкції на основі пневматичних балонів.

Однак для здійснення вантажних перевезень була застосована конструкція МПС на основі негерметичного модуля-понтону, з пінопласту високої щільності обшивкою якого є листи з ПНД який розміщується у сталевій конструкції («обв'язці») (Рис. 5).

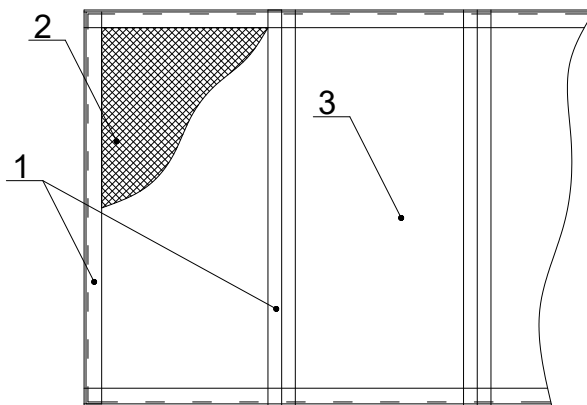


Рис. 5. Конструкції модуля-понтону (вид на ПрБ)

1 – сталеві конструкції; 2 – пінопласт високої щільності; 3 – обшивка з листів ПНД

Превагами такої конструкції є те що замість сталеві обшивки яка забезпечує водонепроникність корпусу використовується монолітний об'єм плавучості вищевказаної конструкції який не окислюється у воді та не потребує додаткового захисту від корозії, у вигляді фарбування або катодного захисту.

Негерметичність МП, значно спрощується виготовлення, ремонт МП та відповідно судна. Вочевидь, знижується вартість побудови, та маса МП у порівнянні зі сталевим МП.

У якості вантажу розглядаються вантажний авто-транспорт масою від 3,5 до 20 т, включно, 20-футові контейнери та інші генеральні вантажі.

Визначаючи головні елементи подібного судна, слід зазначити модульність судна, що забезпечує гнучкість в умовах швидких змін функціонування, та дозволяє спроектувати судно під конкретні маршрути на основі уніфікованого модуля-понтону вище наведеної конструкції.

Для зменшення хвильового опору та розміщення модульних гідравлічних підвісних рушіїв «побортно» була визначена багатокорпусна схема.

Тримарана та катмарана схеми були розглянуті у [САР] однак для збільшення площі палуби для наскрізного проїзду в умовах відносно невеликих розмірів судна, та «рознесення» маси вантажу між більшою кількістю корпусів при обмеженій осадці, була застосована багатокорпусна схема «пентамаран», тобто палуба розміщується на 3 корпусах та 2-ох симетрично розташованих аутригерах (Рис. 6).

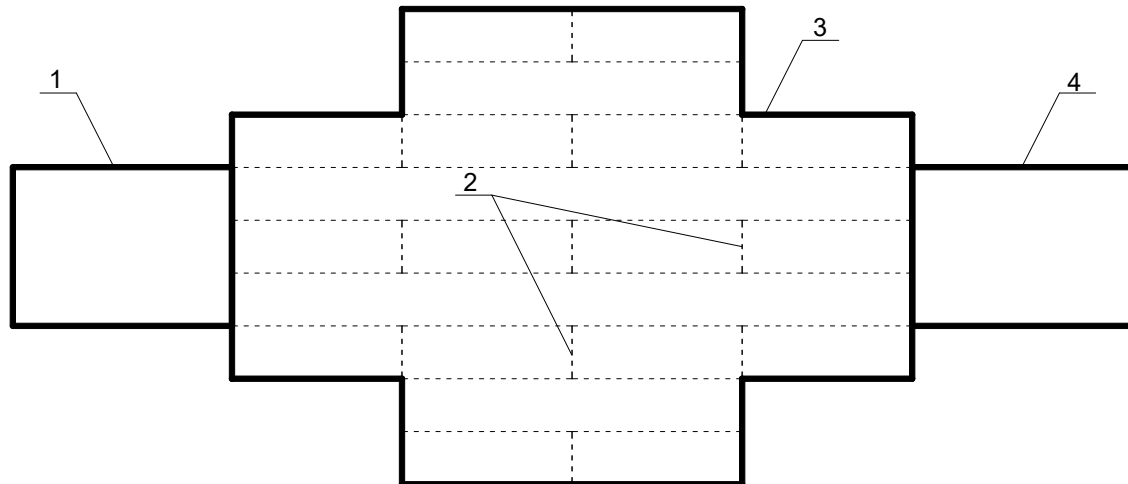


Рис. 6. Вид зверху на МПП:

1 – кормова апарель; 2 – контури корпусів з МП; 3 – контур палуби; 4 – носова апарель

Слід зазначити на (Рис. 6) горизонтальний кліренс між корпусами з МП дорівнює ширині корпусу.

Розміри модулів-понтонів були отримані за допомогою імітаційного моделювання методом статистичних випробувань.

Таким чином було сформовано пошуковий простір.

Відповідно, обмеження були визначені з урахуванням [10], [11] визначено у Таблиці 1.

Таблиця 1. Габаритні обмеження МП

	Обмеження	
	min	max
Довжина МП, м	4,5	6
Ширина МП, м	1,2	2,4
Висота МП, м	1,2	2,4
Осадка, м	0,4	0,4
Коефіцієнт загальної повноти водотоннажності	1	1

Моделювання проводилось у п'ять етапів у MS Excel.

На першому етапі було згенеровано 1000 варіантів та побудовано гістограми співвідношення L/B та

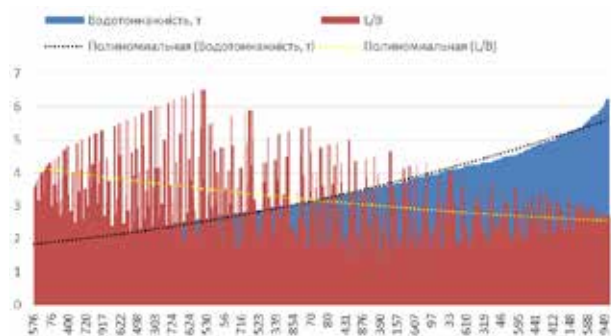


Рис. 7. Гістограми співвідношення L/B та водотоннажності Δ

водотоннажності Δ та упорядковано за збільшенням водотоннажності (Рис. 7).

Слід зазначити, що нумерація варіантів залишена без змін після упорядкування за збільшенням водотоннажності.

На другому етапі було визначено 251 варіант у області перетину лінії трендів гістограм (Рис. 8).

На третьому етапі «фокус» було зменшено до 25 варіантів.

За цими варіантами були розраховані медіани статистичних даних розмірів МП отриманих на цьому етапі Таблиця 2.

На четвертому етапі, по 25-ти вище отриманим варіантам, побудована гістограма співвідношення L/B (упорядкована за збільшенням) та гістограма водотоннажності Δ (Рис. 9) та на перетину лінії трендів визначено варіант № № 146, 227, 70.

На п'ятому етапі було зроблено зведену таблицю у яку включено розміри МП отримані на третьому етапі, по медіанах, та розміри МП варіантів № № 146, 227, 70 отримані на четвертому етапі Таблиця 3.

З урахуванням того що варіант № 70 має найменшу площу поверхні МП дані отримані по даним

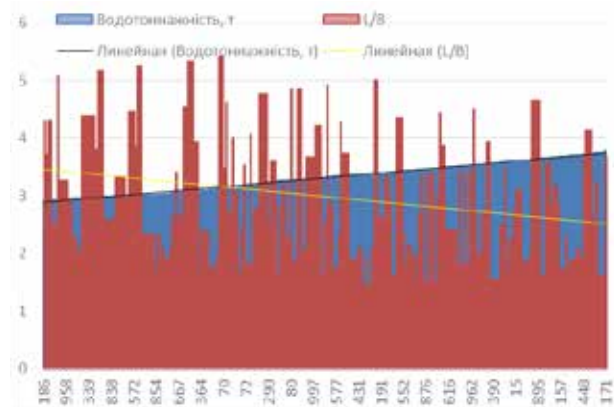


Рис. 8. Область перетину лінії трендів гістограм

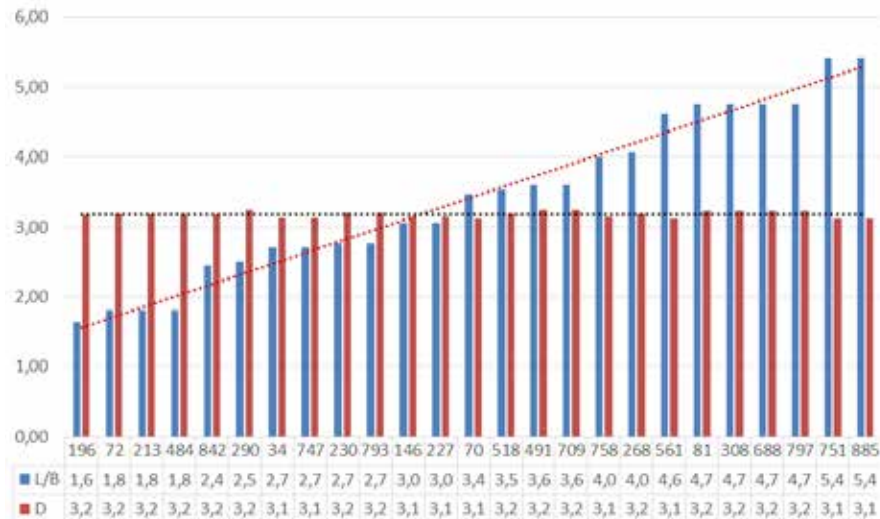


Рис. 9. Гістограми співвідношення L/B (упорядкована за збільшенням) та гістограма водотоннажності Δ

Таблиця 2. Розраховані медіани статистичних даних

№	Довжина МП, м	Ширина МП, м	Висота МП, м	Водотоннажність, т	Сумарна площа поверхні одного МП	L/B
751	6,50	1,20	2,20	3,12	49,48	5,42
885	6,50	1,20	1,10	3,12	32,54	5,42
70	5,20	1,50	1,10	3,12	30,34	3,47
561	6,00	1,30	1,30	3,12	34,58	4,62
34	4,60	1,70	2,30	3,13	44,62	2,71
747	4,60	1,70	1,50	3,13	34,54	2,71
758	5,60	1,40	1,80	3,14	40,88	4,00
146	4,90	1,60	2,40	3,14	46,88	3,06
227	4,90	1,60	1,50	3,14	35,18	3,06
196	3,60	2,20	2,30	3,17	42,52	1,64
842	4,40	1,80	2,40	3,17	45,60	2,44
518	5,30	1,50	1,40	3,18	34,94	3,53
72	3,80	2,10	1,20	3,19	30,12	1,81
213	3,80	2,10	1,90	3,19	38,38	1,81
268	5,70	1,40	2,30	3,19	48,62	4,07
484	3,80	2,10	1,20	3,19	30,12	1,81
230	4,70	1,70	1,50	3,20	35,18	2,76
793	4,70	1,70	2,40	3,20	46,70	2,76
81	6,20	1,30	2,40	3,22	52,12	4,77
308	6,20	1,30	2,00	3,22	46,12	4,77
688	6,20	1,30	1,10	3,22	32,62	4,77
797	6,20	1,30	1,30	3,22	35,62	4,77
290	4,50	1,80	1,80	3,24	38,88	2,50
491	5,40	1,50	1,70	3,24	39,66	3,60
709	5,40	1,50	1,30	3,24	34,14	3,60
Медіани	5,20	1,50	1,70	3,19	38,38	3,47

медіани висоти борта, яка дорівнює 1,6 м та висоті борту варіанту № 70 – 1,1 м була визначена середньо-арифметична величина яка склала 1,35 м відповідно, визначено наступні розміри МП:

Довжина – 5,1 м

Ширина – 1,55 м

Висота – 1,35 м

Отримані теоретичні розміри близькі з розмірами уже існуючими модулями-понтонами [10; 11].

Це підтверджує адекватність отриманих результатів.

Таблиця 3. Зведена таблиця

№	Довжина МП, м	Ширина МП, м	Висота МП, м	Водотоннажність, т	Площа поверхні одного МП	L/B
Медіани 3 етап	5,2	1,5	1,7	3,1	38,38	3,12
146	4,9	1,6	2,4	3,1	46,88	3,10
227	4,9	1,6	1,5	3,1	35,18	3,10
70	5,2	1,5	1,1	3,1	30,34	3,12
Медіани	5,05	1,55	1,6	3,13	36,78	3,11

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І ВИСНОВКИ

1. Для збільшення площі палуби для наскрізного проїзду в умовах відносно невеликих розмірів судна, та «рознесення» маси вантажу між більшою кількістю корпусів при обмеженій осадці, була застосована багатокорпусна схема «пентамаран».

2. Перспективною рушійною установкою для вантажного модульно-понтонного порому-пентамарану є модульний гідравлічний підвісний рушій.

3. Застосовано конструкцію МПС на основі негерметичного модуля-понтону,

з пінопласту високої щільності обшивкою якого є листи з ПНД який розміщується у сталевій конструкції.

4. Визначаючи головні елементи подібного судна, слід зазначити модульність судна, що забезпечує гнучкість в умовах швидких змін функціонування, та дозволяє спроектувати судно під конкретні маршрути на основі уніфікованого модуля-понтону наведеної у статті конструкції.

5. Розміри модулів-понтонів були отримані за допомогою імітаційного моделювання методом статистичних випробувань.

REFERENCES

- [1] Slobodyan, S. O., & Morozov, O.O. (2022) Vyznachennya typu pasazhyrs'koho sudna dlya marshrutu «Ochakiv-Kinburns'ka Kosa» [Determining the type of passenger vessel for the route «Ochakiv-Kinburn Spit»]. Zbirnyk naukovykh prats, no. 1(488), pp. 12–18.
- [2] Slobodyan, S. O., & Morozov, O.O. (2023) Vyznachennya formy tsentral'noho korpusu pasazhyrs'koho sudna z autryheramy dlya marshrutu «Ochakiv-Kinburns'ka Kosa» [Determination of the hullform of the central hull of a passenger vessel with outriggers for the route «Ochakiv-Kinburn Spit»]. Zbirnyk naukovykh prats, no. 1(490), pp. 30–37.
- [3] Morozov K.O., Morozov O.O. (2023) Pasazhyrs'ke sudno z autryheramy modul'no-pontonnoyi konstruktsiyi dlya marshrutu «Ochakiv-Kinburns'ka kosa» [Passenger vessel with outriggers of modular-pontoon design for the route «Ochakov-Kinburnskaya Spit»]. Zbirnyk naukovykh prats NUK, no. 4(493), pp. 13–18 .
- [4] Morozov K.O., Morozov O.O. (2024) Modul'no-pontonna systema na osnovi pnev-matychnykh baloniv [Modular pontoon system based on the pneumatic balloons]. Zbirnyk naukovykh prats NUK , no. 2(495), pp. 11–16.
- [5] Morozov O.O. Vyznachennya holovnykh elementiv pasazhyrs'koho po-romu dlya mul'tymodal'noho perevezennya na marshrutu «Bilhorod-Dnistrovskyy – Ovidiopol'» [Determining of the main elements of a passenger ferry for multimodal transportation «Bilhorod-Dnistrovskyy-Ovidiopol'» of the route]. Zbirnyk naukovykh prats NUK, no. 4(497), pp. 3–16.
- [6] 10 m Work boat URL: <https://swedeship.se/en/services/10m-work-boat/>
- [7] Canby Ferry URL: https://tinybeans.com/wp-content/uploads/2013/05/Oregon-Mt.-Hood_Canby-Ferry.jpg?resize=1024,683 [in English]
- [8] Photos of Harbormaster Products in Action URL: https://www.harbormastermarine.com/Outboard_Drive_Photos.htm [in English]
- [9] Hydraulic Outboard Propulsion Units URL: <https://www.thrustmaster.net/wp-content/uploads/2013/12/Picture-259.jpg> [in English]
- [10] Floating Bridges URL: <https://flexifloat.com/applications/floating-bridges/> [in English]
- [11] NATO pontoon URL: <https://www.europontoons.com/en/nato-pontoon/> [in English]

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Слободян С. О., Морозов О.О. Визначення типу пасажирського судна для маршруту «Очаків-Кінбурнська Коса». Збірник наукових праць НУК» № 1, 2022. Миколаїв : НУК, 2022 С. 12–18
- [2] С. О. Слободян, О. О. Морозов. Визначення форми центрального корпусу пасажирського судна з аутригерами для маршруту «Очаків-Кінбурнська Коса». Збірник наукових праць НУК» № 1, 2023. Миколаїв : НУК, 2023. С. 30–37.
- [3] Морозов К.О., Морозов О.О. Пасажирське судно з аутригерами модульно-понтонної конструкції для маршруту «Очаків-Кінбурнська коса». Збірник наукових праць НУК № 4 2023. Миколаїв : НУК, 2023 С. 13–18
- [4] Морозов К.О., Морозов О.О. Модульно-понтонна система на основі пневматичних балонів. Збірник наукових праць НУК» № 2, 2024. Миколаїв : НУК, 2024. С. 11–16.

- [5] Морозов О.О. Визначення головних елементів пасажирського порому для мультимодального перевезення на маршруті «Білгород-Дністровський – Овідіополь». Збірник наукових праць НУК» № 4, 2024. Миколаїв : НУК, 2024. С. 3–6.
- [6] 10 m Work boat. URL: <https://swedeship.se/en/services/10m-work-boat/>
- [7] CanbyFerry. URL: https://tinybeans.com/wp-content/uploads/2013/05/Oregon-Mt.-Hood_Canby-Ferry.jpg?resize=1024,683
- [8] Photos of Harbormaster Products in Action. URL: https://www.harbormastermarine.com/Outboard_Drive_Photos.htm
- [9] Hydraulic Outboard Propulsion Units. URL: <https://www.thrustmaster.net/wp-content/uploads/2013/12/Picture-259.jpg>
- [10] Floating Bridges. URL: <https://flexifloat.com/applications/floating-bridges/>
- [11] NATO pontoon. URL: <https://www.europontoons.com/en/nato-pontoon/>

© Морозов О. О.

Дата надходження статті до редакції: 29.05.2025

Дата затвердження статті до друку: 11.06.2025