

УДК 629.533

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2024.3\(496\).3](https://doi.org/10.15589/znп2024.3(496).3)

FEATURES OF DETERMINING THE OPTIMAL MAIN ELEMENTS OF A HIGH-SPEED PASSENGER VESSEL WITH OUTRIGGERS

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГОЛОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШВИДКІСНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА З АУТРИГЕРАМИ

Kostyantyn O. Morozov
kostyantyn.morozov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-6879-0286

Oleksii A. Morozov
oleksii.morozov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7631-9099

К. О. Морозов,
викладач

О. О. Морозов,
викладач

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. *Purpose.* features of the architectural and structural type and the selection of optimal elements of passenger vessel with outriggers at the conceptual design stage. *Method.* Methods of ship theory and design, analysis and statistics are used. *Results.* On the example of container carriers, the impact of changing operating conditions on operational limitations is shown, and the leveling of changes due to the modernization of the design of container carriers by lengthening the passenger vessel with outriggers due to a cylindrical insert, on the basis of which it was determined that modularity allows to quickly adapt to significant fluctuations in passenger traffic. A design analysis of pontoon systems of various types was carried out. On the basis of the obtained data, it was determined that the use of pontoon modules in the design of the passenger, in addition to the above-mentioned advantages, will significantly expand operational capabilities. *Practical impact.* Vessels with outriggers differ in their architectural and structural type from classic catamarans and trimarans in that they do not consist of three or two identical hulls. Vessels of this type have a hull L/B ratio of 8 to 10. This results in reduced stability. Accordingly, outriggers are used to level this. The large length-to-beam ratio L/B and the slenderness ratio $l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ of the vessels with outriggers allows to reduce the "wave" component in the total resistance balance without significantly increasing the wetted surface of the vessel. The optimization task of choosing the optimal configuration of the main elements of the high-speed passenger vessels with outriggers is formulated. Independent variables, normative and trivial constraints of the search space are defined. A general block diagram of the mathematical model of high-speed passenger vessels with outriggers design has been developed. In terms of economic risks, the Monte Carlo method is used to determine the optimization criterion.

Key words: high-speed passenger vessel with outriggers; optimal main elements of; net present value; configuration of main elements of vessel with outriggers.

Анотація. *Мета.* Розгляд особливостей архітектурно-конструктивного типу та визначення оптимальних елементів швидкісного пасажирського судна з аутригерами на стадії концептуального проектування. *Методика.* Застосовано методи теорії і проектування суден, аналізу та статистики. *Результати.* Судна з аутригерами відрізняються за своїм архітектурно-конструктивним типом (АКТ), від класичних катамаранів та тримаранів, тим що не складаються з трьох або двох однакових корпусів. Судна цього типу мають співвідношення корпусу L/B від 8 до 10. Це призводить до зменшення остійності та виникає «бар'єр остійності». Відповідно для нівелювання цього застосовуються аутригери. Велике співвідношення довжини до ширини L/B та відносної довжини $l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ САР, дозволяє зменшити «хвильову» складову в загальному балансі опору без значного збільшення змоченої поверхні судна. Сформульована оптимізаційна задача вибору оптимальної конфігурації головних елементів швидкісного пасажирського САР. Визначені незалежні змінні, нормативні та тривіальні обмеження пошукового простору. Розроблено загальну блок-схему математичної моделі проектування швидкісного пасажирського САР. В умовах економічних ризиків для визначення критерію оптимізації застосовано метод статистичних випробувань або метод Монте-Карло. *Наукова новизна.* Вперше визначені особливості пасажирського судна з аутригерами та сформульована оптимізаційна задача вибору оптимальної конфігурації головних елементів САР. *Практичне значення.* Відновлення швидкісного пасажирського сполучення з порту

Одеса є актуальною перспективою, особливо у післявоєнному розвідку півдня України. В різні роки швидкісне морське сполучення с Одеси було пріоритетною задачею. На даний час морські транспортні засоби які обслуговували пасажирські напрямки з порту Одеса, вже списані, або морально застаріли. Тому для маршруту Одеса – Стамбул, є доцільним створення нового швидкісного пасажирського судна, а саме швидкісного пасажирського судна з аутригерами.

Ключові слова: швидкісне пасажирське судно з аутригерами; оптимізаційна задача; чистий дисконтований дохід; конфігурація головних елементів САР.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Однією з проблем, швидкісних суден, є «хвильова» складова яка збільшується в загальному балансі опору зі зростанням швидкості руху. Характер і величина генерованих під час руху суден хвиль залежать, головним чином, від форми корпусу, головних розмірів корпуси та швидкості руху. Для зменшення цього явища використовуються багатокорпусні схеми, як правило це катамарани. Однак, слід зазначити, що для досягнення прийнятних параметрів хвилювання катамарану на швидкостях понад 30 вуз. потрібні додаткові технічні рішення а саме гідродинамічне розвантаження корпусу за допомогою підводних крил, це ускладнює проектування та підвищує вартість побудови. Тому необхідним є розглянути схему швидкісного пасажирського судна з аутригерами.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Узагальнюючи публікації на цю тематику необхідно зазначити що на даний час наведено: структуру оптимізаційної задачі, методи оптимального проектування, формалізацію математичної моделі суден; специфіку вибору основних елементів лоцманських катерів; методику визначення оптимальних головних елементів класичного однокорпусного швидкохідного пасажирського судна на початкових стадіях його проектування. Тому, наразі, відсутні дослідження т відповідно публікації за тематикою визначення оптимальних головних елементів швидкісного пасажирського САР.

Метою досліджень є особливості архітектурно-конструктивного типу та визначення оптимальних елементів швидкісного пасажирського судна з аутригерами на стадії концептуального проектування.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Застосовано методи теорії і проектування суден, аналізу і статистики.

Об'єкт – швидкісне пасажирське судно з аутригерами для морських перевезень. Предмет - особливості визначення оптимальних головних елементів швидкісного пасажирського судна з аутригерами.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Судна з аутригерами відрізняються за своїм архітектурно-конструктивним типом (АКТ), від класичних катамаранів та тримаранів, тим що не складаються з трьох або двох однакових корпусів.

За своєю конфігурацією САР, це судна з одним або двома симетрично розташованими аутригерами.

Подібні судна з одним аутригером-«ргоа», поширені на островах Тихого океану та Мадагаскару [1].

Судна з двома аутригерами: «vinta», «paraw», ngalawa» поширених на островах Південно-Східної Азії та на узбережжі материкової Танзанії та Кенії.

Традиційно вище вказані судна оснащують австро-незійськими вітрилами, але в наш час вони частіше оснащені бензиновими або дизельними двигунами.

Судна цього типу мають співвідношення корпусу довжини до ширини L/B від 8 до 10. Це призводить до зменшення остійності та виникає «бар'єр остійності». Відповідно для нівелювання цього застосовуються аутригери.

Велике співвідношення довжини до ширини L/B та відносної довжини $l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ САР, дозволяє зменшити «хвильову» складову в загальному балансі опору без значного збільшення змоченої поверхні судна.

Ще однією особливістю САР є те, за рахунок повздовжнього переміщення аутригерів відносно корпусу, та розподілення водотоннажності між корпусом та аутригерами з'являється можливість визначити таку конфігурацію (набір) головних елементів САР у якій «хвильовий горб» коефіцієнту хвильового опору буде значно зменшено на відносних швидкостях на яких у класичні однокорпусних суден він виникає.

Слід зазначити що аутригери можуть знаходитись вище ВЛ для того що на тихій воді не створювати додатковий опір і таким чином САР є однокорпусним судном з великими значеннями L/B і як було вище зазначено, за рахунок аутригерів нівелюється недостатня остійність.

Ці особливості АКТ САР дозволяють створювати високоморехідні швидкісні пасажирські судна.

З урахуванням вищевикладеного, для вибору оптимальної конфігурації головних елементів швидкісного пасажирського САР, оптимізаційна задача сформульована наступним чином: з множини конфігурацій головних елементів САР, які визначаються технічними та експлуатаційними обмеженнями, необхідно визначити єдину конфігурацію головних елементів, що забезпечує оптимальний результат за прийнятим критерієм ефективності-чистим дисконтованим доходом (NPV) [2].

Математичне формулювання такої задачі має вид:

$$F(X, C) = NPV \rightarrow \max$$

Тобто знайти максимуму цільової функції при одночасному виконанні тривіальних та нормативних або функціональних обмежень [1]:

$$x_{i \min} < x_i < x_{i \max}, i = 1, \dots, n;$$

$$G_j(X, C) \geq A_j(C), j = 1, \dots, m,$$

де $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор незалежних змінних; $C(c_1, c_2, \dots, c_n)$ – вектор параметрів завдання на проектування судна; n, m – кількість незалежних змінних та обмежень оптимізаційної задачі; $(x_i)_{\min}, (x_i)_{\max}$ – відповідно нижні та верхні обмеження i -ї незалежної змінної; A_j – норми допустимих значень j -ї характеристик судна.

У якості незалежних змінних $X(x_1, x_2, \dots, x_5)$ визначені: $x_1 = \Delta_{\max}$ водотоннажність при повному навантаженні; $x_2 = L/B$; співвідношення ширини до осадки корпусу $x_3 = B/d$; коефіцієнт загальної повноти $x_4 = C_b$; $x_5 = l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ відносна довжина.

До параметрів завдання на проектування $C(c_1, c_2, \dots, c_7)$ віднесено: пасажиромісткість, час рейсу, відстань маршруту, експлуатаційну швидкість, район плавання, тип рушія, матеріал корпусу.

Обмеження пошукового простору характеризуються двома типами обмежень: нормативними та тривіальними.

Тривіальні обмеження встановлюють вимоги до незалежних змінних $x_{i \min}$ та $x_{i \max}$ (таблиця 1).

У нормативні обмеження входять вимоги, які вказані у завданні на проектування та нормативних документах.

Таким чином, формується ще одна система обмежень:

$$G_j(X, C) \geq A_j(C),$$

До нормативної системи обмежень віднесено наступні вимоги:

- місткість $S_n = \sum S_i$;
- мінімальне значення поперечної метацентричної висоти $GM_i \geq 0,15$ м;
- максимальне значення вертикальних прискорень $a_{cg} \leq 0,25g$;
- максимальна осадка $d \leq d_{\max}$;
- похибка розв'язування рівняння мас 1%;
- максимальна величина MSI (Motion Sickness Incidence) 10%;
- остійність суден вважається достатньою:

1) за критерієм погоди K , якщо при вказаній у [3] умовній дії вітру та хвилювання виконуються вимоги $K = b/a \geq 1$;

2) площа під додатною частиною діаграми статичної остійності повинна бути не менше ніж $0,055 \text{ м} \cdot \text{рад}$ до кута крену 30° і не менше ніж $0,09 \text{ м} \cdot \text{рад}$ до кута крену 40° або до кута заливання θ_f в залежності від того, який із них менший;

3) площа між кутами крену 30° і 40° , або, якщо $\theta_f < 40^\circ$, між 30° і θ_f повинна бути не менше $0,03 \text{ м} \cdot \text{рад}$;

4) максимальне плече діаграми статичної остійності $l_{\max}$ повинне бути не менше $0,25 \text{ м}$;

3) статичний кут крену θ_{wl} від дії постійного вітру не повинний перевищувати 16° , або кута, що дорівнює $0,8$ кута входу у воду кромки відкритої палуби, в залежності від того, який з них менший.

Алгоритм вирішення задачі визначені оптимальних головних елементів САР показано на рис. 1.

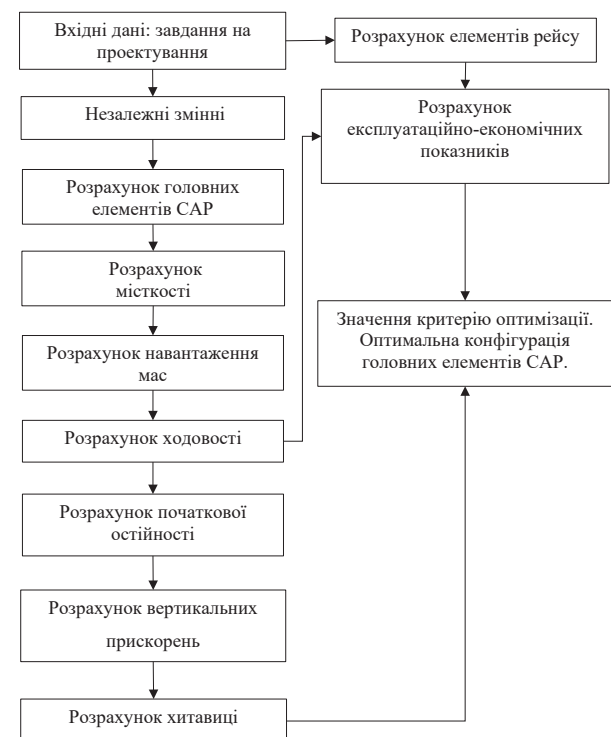


Рис. 1. Загальна блок-схема математичної моделі проектування САР

Слід зазначити, що для визначення критерію оптимізації в умовах економічних ризиків застосовано

Таблиця 1. Допустимі значення незалежних змінних

Незалежна змінна	Позначення		Обмеження	
			Нижнє	Верхнє
Водотоннажність при повному навантаженні	$\Delta_{\max}$	x_1	7,5	35
Співвідношення довжини до ширин корпусу	L/B	x_2	6,6	9,4
Співвідношення ширини до осадки корпусу	B/d	x_3	3,4	4,8
Коефіцієнт загальної повноти	C_b	x_4	0,41	0,55
Відносна довжина	l	x_5	6,5	10

метод статистичних випробувань або метод Монте-Карло.

Застосування методу Монте-Карло дозволяє за допомогою імітаційного моделювання функції розподілу обраної складової (чистий грошовий потік) визначати величину критерія оптимізації.

Таким чином метод Монте-Карло дозволяє провести моделювання критерію ефективності на базі випадково згенерованої складової критерію та оцінити економічну ефективність отриманої конфігурації головних елементів швидкісного пасажирського САР в умовах швидкої зміни експлуатаційних умов, в рамках оптимізаційної моделі.

Крім того, за допомогою методу Монте-Карло з'являється можливість урахувати інвестиційні ризики при визначенні оптимальних головних елементів САР за рахунок моделювання швидких змін експлуатаційних обмежень.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І ВИСНОВКИ

1. Судна з аутригерами відрізняються за своїм архітектурно-конструктивним типом (АКТ), від

класичних катамаранів та тримаранів, тим що не складаються з трьох або двох однакових корпусів.

2. Судна цього типу мають співвідношення корпусу довжини до ширини L/B від 8 до 10. Це призводить до зменшення остійності та виникає «бар'єр остійності». Відповідно для нівелювання цього застосовуються аутригери.

3. Велике співвідношення довжини до ширини L/B та відносної довжини $l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ САР, дозволяє зменшити «хвильову» складову в загальному балансі опору без значного збільшення змоченої поверхні судна.

4. Сформульована оптимізаційна задача вибору оптимальної конфігурації головних елементів швидкісного пасажирського САР.

5. Визначені незалежні змінні, нормативні та тривіальні обмеження пошукового простору.

6. Розроблено загальну блок-схему математичної моделі проектування швидкісного пасажирського САР.

7. В умовах економічних ризиків для визначення критерію оптимізації застосовано метод статистичних випробувань або метод Монте-Карло.

REFERENCES

- [1] Outrigger boat Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Outrigger_boat#
- [2] Morozov, K.O., Morozov, O.O. (2023). Vybir kryteriyu optymizatsiyi dlya pasa-zhyrs'koho sudna z austryheramy [Determination of the optimization criterion for a passenger ship with outriggers] *XIV Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi – XIV Innovations in shipbuilding and ocean engineering* 49–51 [in Ukrainian]
- [3] Rehistr sudnoplavstva Ukrainy. Pravyla klasyfikatsii ta pobudovy suden: [4 -tomakh]. Rozrobnik A.O. Bilokurets. – Rehistr sudnoplavstva Ukrainy, 2020. T.1. 81c. [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Outrigger boat URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Outrigger_boat#
- [2] Морозов, К.О., Морозов, О.О. (2023). Вибір критерію оптимізації для пасажирського судна з аутригерами/ Морозов К.О., Морозов О.О. Матеріали XIV міжнар. наук.-техн. конф. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Миколаїв : НУК, С. 49–51.
- [3] Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден: [4 – томах]. Розробник А. О. Білокурець. Регістр судноплавства України, 2020. Т. 2. 523 с.

© Морозов К. О., Морозов О. О.

Дата надходження статті до редакції: 16.07.2024

Дата затвердження статті до друку: 25.07.2024