

УДК 629.533
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.1\(499\).1](https://doi.org/10.15589/znp2025.1(499).1)

ANALYSIS OF ALTERNATIVE SOLUTIONS IN DETERMINING THE OPTIMAL MAIN ELEMENTS OF A HIGH-SPEED PASSENGER VESSEL WITH OUTRIGGERS

АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ РІШЕНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ОПТИМАЛЬНИХ ГОЛОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШВИДКІСНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА З АУТРИГЕРАМИ

Kostyantyn O. Morozov
kostyantyn.morozov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-6879-0286
Oleksii O. 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. Analysis of alternative design and technological solutions in determining the optimal main elements of a high-speed passenger vessel with outriggers. **Method.** Methods of ship theory and design, analysis and statistics are used. **Results.** It is determined that when assessing the competitiveness and subsidy-free operation of a high-speed passenger ship with outriggers for the Odesa-Istanbul route, it is necessary to take into account and analyze various alternative design and technological solutions. The analysis of ships using alternative solutions is of interest to domestic shipbuilding when assessing the export potential in the high-speed ship industry. For example, the 485M3 project ship, having a permanent solid ballast weighing 2.4 tons, has a 2.4-fold higher transport efficiency indicator and an 8.5-fold lower construction cost than the hydrofoil project 352, which is due to the use of a cheaper and more repairable hull material, namely steel. The mass of the permanent solid ballast, which is equal to 2.4 tons, is converted into retrofitting with outriggers and increasing the main dimensions. Outriggers significantly increase the operational capabilities vessel of the project 485M3.

At $F_{rl}=0.96$, the motion mode is transitional and close to gliding, and accordingly the systematic series “65” and “62” were defined. The engine was defined as a high-speed engine due to the fact that high speed engine has 1.5–2 times more mass than medium speed engine, with slightly smaller power. **Scientific novelty.** The scientific novelty lies in the analysis of alternative solutions in determining the optimal main elements of a high-speed passenger vessel with outriggers. **Practical impact.** High-speed passenger service from the port of Odessa is a relevant prospect, especially in the post-war development of southern Ukraine. Currently, the sea vehicles that served passenger routes from the port of Odessa have already been written off or are obsolete. Therefore, for the Odesa – Istanbul route, it is advisable to create a new high-speed passenger ship, namely a high-speed one with outriggers.

Key words: high-speed passenger ship with outriggers; analysis of alternative solutions; stability diagram; high speed engine; medium speed engine.

Анотація. Мета. Аналіз альтернативних технічних та технологічних рішень при визначенні оптимальних головних елементів швидкісного пасажирського судна з аутригерами. **Методика.** Застосовано методи теорії і проектування суден, аналізу та статистики. **Результати.** Було визначено, що при оцінці конкурентоспроможності та бездотаційній експлуатації, швидкісного пасажирського судна з аутригерами (САР) для маршруту «Одеса-Стамбул», необхідно урахувати та проаналізувати, різні альтернативні технічні та технологічні рішення. Аналіз суден у яких використовуються альтернативні рішення може становити інтерес для вітчизняного суднобудування при оцінці експортного потенціалу в галузі швидкісних суден. Маючи постійний твердий баласт масою 2,4 т судно проекту 485М3 має 2,4 рази вищий показник транспортної ефективності та 8,5 раз нижчу вартість побудови, ніж у СПК проекту 352, що обумовлено використанням більш дешевого та доступного для ремонту матеріалу корпусу, а саме сталі. Маса постійного твердого баласту яка дорівнює 2,4 т конвертована у дообладнання аутригерами та збільшення головних розмірів. Аутригери значно підвищують експлуатаційні можливості судна проекту 485М3.

При $F_{rl}=0,96$ режим руху перехідний та близький до глисуючого, відповідно була визначення систематична серія «65» та «62». У якості двигуна визначено ВОД у зв'язку з тим, що СОД мають в 1,5–2 рази більшу масу ніж ВОД, при дещо меншій потужності. *Наукова новизна.* Наукова новизна полягає в проведенні аналізу альтернативних рішень при визначенні оптимальних головних елементів швидкісного пасажирського судна з аутригерами. *Практичне значення.* Швидкісне пасажирське сполучення з порту Одеса є актуальною перспективою, особливо у післявоєнному розвідку півдня України. 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; аналізу альтернативних рішень; діаграма статичної остійності; середньооборотний дизельний двигун; високооборотний дизельний двигун.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Собівартість швидкісних суден з легких сплавів та використання у якості головної енергоустановки високооборотних дизелів, підвищує вартість проїзду, та знижує доступність поїздок, що у свою чергу зменшує економічну ефективність.

Крім того, побудова та ремонт корпусів, швидкісних пасажирських суден, з легких сплавів, вимагає освоєння суднобудівними заводами відповідних технологій, що може виявитися не раціональним та проблематичним при відсутності в країні власного, сталого суднобудування з легких сплавів.

Застосування високооборотних дизелів висуває високі вимоги як до кваліфікації механіків, так і до якості палива. Використання на високооборотних дизелях найдешевшого важкого дизельного палива неможливо.

Таким чином, використання «високотехнологічних» рішень може бути надмірним та не завжди виправдане у комерційному суднобудуванні та потребує аналізу.

Це необхідно врахувати при оцінці конкурентоспроможності та бездотаційній експлуатації, швидкісного пасажирського судна з аутригерами (САР) для маршруту «Одеса-Стамбул», та проаналізувати, різні альтернативні технічні та технологічні рішення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

На даний час є багато публікації [1; 2; 3] на тему швидкісних суден різного призначення та архітектурно-конструктивного типу структуру в тому числі і визначення головних елементів класичних однокорпусних швидкохідних пасажирських судна на початкових стадіях його проектування. Однак, наразі, відсутні, сучасні вітчизняні, публікації за тематикою визначення оптимальних головних елементів швидкісного пасажирського САР з урахуванням аналізу альтернативних технічних та технологічних рішень.

Метою досліджень є аналіз альтернативних технічних та технологічних рішень при визначенні 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

При визначенні оптимальних головних елементів, швидкісного пасажирського судна з аутригерами (САР) для маршруту «Одеса-Стамбул», необхідно проаналізувати, різні альтернативні технічні та технологічні рішення, з точки зору, конкурентоспроможності та бездотаційній експлуатації.

Крім того подібний аналіз суден у яких використовуються альтернативні рішення, в цілому, може становити інтерес для вітчизняного суднобудування при оцінці експортного потенціалу в галузі швидкісних суден.

Для цього було зроблено порівняння за показником транспортної ефективності, вже існуючих суден проекту 485М3 рис. 1 та судна на підводних крилах (СПК) проекту 352 рис. 2.

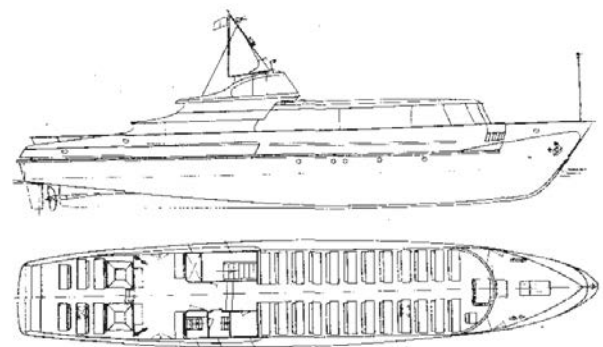


Рис. 1. Загальне розташування пасажирського судна проекту 485М3



Рис. 2. Судно на підводних крилах проекту 352

У табл. 1 наведено дані суден вказаних проектів.

Таблиця 1. Дані по суднам проектів 485М3 та 352

Номер проекту	485М3	352
Пасажи́ромі́сткість, од.	130	71
Експлуатаційна швидкість, км/ч	22	60
Водотоннажність при повній загрузці, т	52,6	28,4
Водотоннажність порожнього судна, т	39,9	20,4
Довжина найбільша, м	25,2	27,4
Ширина найбільша, м	4,5	4,4
Висота борта, м	2,25	0,96
Середня осадка, м	1,4	0,7
Постійний твердий баласт, т	2,4	–
Розташування машинного відділення по довжині	у кормі	у кормі
Потужність ГД, кВт	221	810
Марка ГД	ЗД12А	М401Л
Матеріал корпусу	сталь	АМг5
Матеріал рубки	АМг5	АМг5
Коефіцієнт використання водотоннажності за чистою вантажомісткістю	0,25	0,25
Транспортна ефективність	12,94	5,26
Вартість побудови (на 1990 р.), у.о.	340000	2900000

Транспортна ефективність (T_e) визначається за наступною формулою:

$$T_e = \frac{\text{Пасажи́ромі́сткість} \times \text{Експлуатаційна швидкість}}{\text{Потужність ГД}}$$

Аналіз даних таблиці 1 показує, що навіть маючи постійний твердий баласт масою 2,4 т судно проекту 485М3 має 2,4 рази вищий показник транспортної ефективності та 8,5 раз нижчу вартість побудови, що обумовлено матеріалом побудови корпусу. До недоліків треба віднести малу швидкість суден цього проекту.

Ремонт суден проекту 485М3 не є проблемою у будь якому працюючому порту тому що матеріалом корпусу є сталь.

Важливою перевагою судна на підводних крилах (СПК) проекту 352 рис. 2 побудованого з АМг є висока швидкість.

Однак, використання у якості матеріалу корпусу АМг накладає додаткові витрати на захист корпусу від корозії (протекторний захист).

Необхідно відмітити те, що підводні крила крім основної функції є фактично корисним «постійним твердим баластом» масою 2,4 т.

На підставі проведеного аналізу у якості судна з альтернативними технічними та технологічними рішеннями було визначено водотоннажне пасажирське судно проекту 485М3 рис. 1.

За концепцією, судна цього проекту є «морськими автобусами» та проектувались як заміна пасажирським суднам проекту 485, але зі збільшеною

пасажи́ромі́сткістю, швидкістю та зменшенням постійного твердого баласту.

Судно проекту 485М3 є сталевим, однопалубним, одногвинтовим з надлишковим бортом. Пасажирські салони розташовані на палубі (104 пасажиромісць) та у середній частині корпусу (26 пасажиромісць). Форма корпусу тетраедровидна.

Район плавання-морський прибережний, з віддаленням від берега до 2 миль, від порту-укриття до 20 миль, при хвилюванні до 3 балів.

Особливістю суден цього проекту є те, що для забезпечення остійності було застосовано постійний твердий баласт масою 2,4 т.

Головна енергетична установка складає з дизельного двигуна ЗД12 потужністю 220 кВт.

Для моделювання експлуатації судна проекту 485М3 на маршруті Одеса-Стамбул були застосовані наступні альтернативні рішення:

- заміна постійного твердого баласту на аутригери;
- підвищення експлуатаційної швидкості 28–29 вузлів;
- зміна форми корпусу відповідно до режиму руху;
- збереження або збільшення пасажиромісткості та матеріалу корпусу.

Постійний твердий баласт було замінено на аутригер балонетного типу діаметром 0,8 м та довжиною 5,5 м рис. 3.

Аутригер знаходиться вище ватерлінії, відповідно ніяк не впливає на гідродинаміку судна.

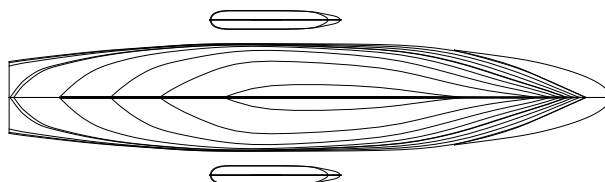


Рис. 3. Розташування аутригера по довжині судна проекту 485М3

Для визначення даних, необхідних для побудови діаграми статичної остійності судна проекту 485М3 та дообладнаного судна цього проекту, було використано програму Maxsurf.

На рис. 4 показані діаграми статичної остійності судна проекту 485М3 та дообладнаного аутригерами судна проекту 485М3.

Аналізуючи отримані дані діаграм, необхідно зазначити, що аутригери підвищують статичну остійність, та дозволяють експлуатувати ці судна у період навігації (з 15 травня по 15 жовтня) не лише у прибережних районах морів.

Прийняте, у рамках цього аналізу, підвищення експлуатаційної швидкості з 12,2 вузлів до 28 вузлів, вочевидь потребує значного підвищення потужності головної енергетичної установки (ГЕУ), відповідно до цього, збільшилось Число Фруда по довжині, яке стало дорівнювати $Fr_l = 0,96$.

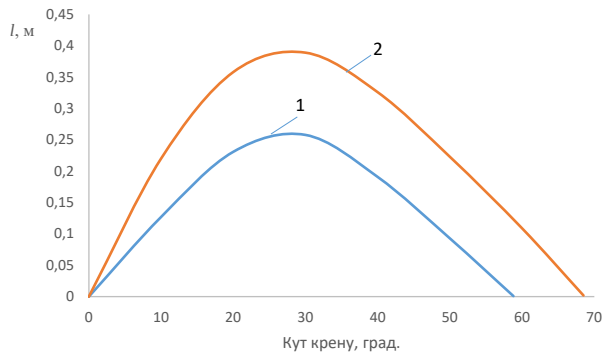


Рис. 4. Діаграма статичної остійності: 1 – судна проекту 485МЗ; 2 – судна 485МЗ дообладнаного аутригерами

Для визначення необхідної потужності ГЕУ при збільшенні, Числа Фруда по довжині, була використана емпірична формула розрахунку питомого навантаження D/N в залежності від Фруда по довжині Fr_l :

$$D/N = \frac{0,0287}{Fr_l^{2,25}}, \quad (1)$$

яка була отримана шляхом аналізу даних суден проектів: 485МЗ, 1430, 10110, а також [1].

Таким чином зайшовши $D/N=0,032$ т/кВт, знаючи водотоннажність – 52,6 т, потужність $N=1645$ кВт.

Збільшення потужності потребує збільшення кількості двигунів, необхідна кількість палива через це зростає водотоннажність та відповідно збільшення головних розмірів. Саме на дообладнання аутригерами та збільшення головних елементів була конвертована маса постійного твердого баласту яка дорівнює 2,4 т.

Форма корпусу визначається режимом руху.

При $Fr_l=0,96$ режим руху перехідний та близький до глисуючого, відповідно була визначення систематична серія «65» та «62» [2; 3].

Для збереження принципу «довжина біжить» була збільшена найбільша довжина до 28 м.

Для визначення дизельного двигуна було порівняно середньооборотний дизельний двигун (СОД) Mitsubishi S6R2-T2MPTK3LM [4] потужністю 759кВт який має масу 3,13 т, та високооборотний дизельний двигун (ВОД) MAN D2842LE410 [5] потужністю 810 кВт та масою 1,8 т. Вочевидь маса СОД в 1,7 раз вища ніж у ВОД.

Таким чином у якості двигуна визначено ВОД у зв'язку з тим, що СОД мають в 1,5–2 рази більшу масу ніж ВОД, при дещо меншій потужності.

ВИСНОВКИ

1. Було визначено, що при оцінці конкурентоспроможності та бездотаційній експлуатації, швидкісного пасажирського судна з аутригерами (САР) для маршруту «Одеса-Стамбул», необхідно урахувати та проаналізувати, різні альтернативні технічні та технологічні рішення.

2. Аналіз суден у яких використовуються альтернативні рішення може становити інтерес для вітчизняного суднобудування при оцінці експортного потенціалу в галузі швидкісних суден.

3. Маючи постійний твердий баласт масою 2,4 т судно проекту 485МЗ має 2,4 рази вищий показник транспортної ефективності та 8,5 раз нижчу вартість побудови, ніж у СПК проекту 352, що обумовлено використанням більш дешевого та доступного для ремонту матеріалу корпусу, а саме сталі.

4. Маса постійного твердого баласту яка дорівнює 2,4 т конвертована у дообладнання аутригерами та збільшення головних розмірів.

5. Аутригери значно підвищують експлуатаційні можливості судна проекту 485МЗ.

6. При $Fr_l=0,96$ режим руху перехідний та близький до глисуючого, відповідно була визначення систематична серія «65» та «62».

7. У якості двигуна визначено ВОД у зв'язку з тим, що СОД мають в 1,5–2 рази більшу масу ніж ВОД, при дещо меншій потужності.

REFERENCES

- [1] Pyszka, A. (1958). Richtlinien für die Konstruktion von Motorbooten und Motoryachten. Meersburg (Bodensee); Selbstverlag, pp. 74–75 [in German].
- [2] Hadler, J. B. (1974). Resistance Characteristics of a Systematic Series of Planing Hull Forms – Series 65: Presented to the Chesapeake Section, the Society of Naval Architects and Marine Engineers. Society of Naval Architects and Marine Engineers, pp. 18–26.
- [3] Blount, D.L., & Clement, E.P. (1963). Resistance tests of a systematic series of planing hull forms. SNAME Transactions, pp. 492–497.
- [4] Marine Engine S6R2-T2MPTK3LM. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Outtrigger_boat#
- [5] Dvyhyn MAN D2842LE410. Retrieved from <https://machineryline.ua/-/prodazh/dviguni/do-inshogo-promislovogo-obladnannya/MAN/D2842LE410--24011117055007687100> [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Pyszka, A. (1958). Richtlinien für die Konstruktion von Motorbooten und Motoryachten. Meersburg (Bodensee); Selbstverlag, pp. 74–75.
- [2] Hadler, J. B. (1974). Resistance Characteristics of a Systematic Series of Planing Hull Forms – Series 65: Presented to the Chesapeake Section, the Society of Naval Architects and Marine Engineers. Society of Naval Architects and Marine Engineers, pp. 18–26.
- [3] Blount, D.L., & Clement, E.P. (1963). Resistance tests of a systematic series of planing hull forms. SNAME Transactions, pp. 492–497.
- [4] Marine Engine S6R2-T2MPTK3LM. URL: <https://engine-genset.mhi.com/marine-engines/s6r2-t2mptk3lm-package>
- [5] Двигун MAN D2842LE410. URL: <https://machineryline.ua/-/prodazh/dviguni/do-inshogo-promislovogo-obladnannya/MAN/D2842LE410--24011117055007687100>

© Морозов К. О., Морозов О. О.

Дата надходження статті до редакції: 08.03.2025

Дата затвердження статті до друку: 19.03.2025