

УДК 629.5.01

ВАРІАНТНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДЕН ЗМІШАНОГО РІКА-МОРЕ ПЛАВАННЯ

¹Кротов О. І., к.т.н., доцент, ²Савочкіна В. В., викладач
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

¹ ORCID:: <http://orcid.org/0000-0001-8813-238X>,

² ORCID:: <http://orcid.org/0000-0001-7700-4921>

Анотація. Проведено аналіз статистичних даних по суднах змішаного плавання (СЗП). Отримано аналітичні залежності для визначення на початкових стадіях розробки проекту головних розмірів і їх співвідношень, складових навантаження мас. Виконано розрахунки техніко-економічних характеристик варіантів СЗП. Отримано множину допустимих рішень, необхідну для формування математичної моделі, постановки задачі оптимального проектування СЗП, розробки програми оптимізації.

Ключові слова: варіантний метод; судно змішаного плавання; прибуток; техніко-економічні характеристики; чистий прибуток, прибуток, експлуатаційні витрати.

На початкових етапах розробки проектів суден внутрішнього і змішаного плавання (СЗП) при вирішенні задачі вибір довжини, ширини і осадки проводиться з урахуванням габаритів шлюзів, глибин каналів, портів тощо. Тому з метою забезпечення найбільшої вантажопідйомності СЗП при заданих експлуатаційних умовах у даному випадку довжина і ширина вибираються максимально можливими і використовується варіювання коефіцієнта загальної повноти C_b і швидкості ходу v_s [1].

Проведені автором роботи [1] розрахунки з використанням результатів буксирувальних випробувань моделей дозволили засвідчити підвищення такого економічного показника зазначених суден, як чистий прибуток від експлуатації СЗП, з ростом значення C_b до 0,90 при швидкості ходу до 11 вуз.

Метою цієї доповіді є проведення варіантних розрахунків техніко-економічних характеристик СЗП, таких як вартість побудови, експлуатаційні витрати, прибуток від експлуатації та чистий прибуток у діапазоні швидкості ходу до 12 вуз та при коефіцієнті загальної повноти: $C_b = 0,84 \div 0,90$.

В [1] наводяться рекомендації використовувати при виборі C_b формули для суден з розвинутою річковою функцією у вигляді

$$C_b = 1,04 - 0,98 Fr, \quad (1)$$

а для СЗП

$$C_b = 1,02 - 0,52 Fr - 2,50 Fr^2 \quad (2)$$

Формули (1) та (2) справедливі при $Fr < 0,2$.

Автор [1] відмічає, що на ефективність експлуатації СЗП суттєвий вплив на вибір величини коефіцієнта C_b має морехідність в умовах реального морського хвилювання і як результат – втрата швидкості.

Серед емпіричних формул, які дають можливість визначити вітро-хвильові втрати швидкості СЗП, може бути використана формула Хохлова [2], характерна своєю універсальністю (навантаження судна – через водотоннажність, вплив зовнішніх факторів – через висоту хвилі та курсовий кут):

$$\Delta v = \Delta v_{se} \cdot k_{\Delta v 0}, \quad (3)$$

де $\Delta v_{se} = (0,745 - 0,257 \cdot q) \cdot h$ – втрачена швидкість еталонного судна на хвилюванні, вуз; $k_{\Delta v 0} = 1 - 1,3510 \cdot 6 \cdot \Delta \cdot v_0$ – коефіцієнт впливу водотоннажності та початкової швидкості судна на тихій воді на вітро-хвильові зміни швидкості еталонного судна; h – висота хвилі 3% забезпеченості, м; q – курсовий кут, рад; Δ – водотоннажність судна в рейсі, т; v_0 – швидкість судна на тихій воді, вуз.

Швидкість судна в рейсі визначається як

$$v_p = v_0 - \Delta v. \quad (4)$$

Для визначення водотоннажності Δ по заданому дедвейту DW на початкових стадіях розробки проекту використовується значення $\eta_{dw} = DW/\Delta$.

Проведений аналіз статистичних даних по достатньо широкому діапазону сучасних суховантажних СЗП, наведених в роботі [1], дав можливість визначити значення η_{dw} для різних значень питомої вантажомісткості μ_b наступним чином:

$$\mu_{гр} = 1,18 \div 1,30 - \eta_{dw} = 0,69 \div 0,70;$$

$$\mu_{гр} = 1,44 \div 1,81 - \eta_{dw} = 0,725 \div 0,727.$$

В результаті обробки статистичних вказаних даних отримані формули для визначення довжини між перпендикулярами $L_{пп}$, ширини B , висоти борту D і відношення ширини до осадки B/d для окремих діапазонів дедвейту:

$$L_{пп} = 4,747 \cdot DW + 95,4; 3,0 \cdot 10^{-3} < DW < 7,0 \cdot 10^{-3}; \quad (5)$$

$$B = 0,2807 \cdot DW + 14,8; 3,0 \cdot 10^{-3} < DW < 7,0 \cdot 10^{-3}; \quad (6)$$

$$D = 0,3131 \cdot DW + 4,6818; 3,0 \cdot 10^{-3} < DW < 7,0 \cdot 10^{-3}; \quad (8)$$

$$B/d = 0,2341 \cdot B + 0,3554; 13,0 < B < 16,5; \quad (9)$$

На основі наведених даних в [1] були отримані також залежності для відношення маси металевого корпусу до кубічного модуля $P_{мк}/LBD$, які дають можливість визначити масу корпусу $P_{км}$ суден, побудованих за проектами Морського інженерного бюро (МІБ), і традиційних суден в функції LBD :

$$- \text{(пр. МІБ)} (P_{мк}/LBD) = 0,1784 - 0,039 \cdot LBD; 9,0 \cdot 10^{-3} < LBD < 14,0 \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

$$- (P_{мк}/LBD) = 0,4147 - 0,039 \cdot LBD; 3,5 \cdot 10^{-3} < LBD < 7,0 \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

$$- (P_{мк}/LBD) = 0,157 - 0,0027 \cdot LBD; 8,0 \cdot 10^{-3} < LBD < 12,5 \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

$$- (P_{мк}/LBD) = 0,2114 - 0,0066 \cdot LBD; 12,5 \cdot 10^{-3} < LBD < 14,0 \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

Для визначення маси обладнання корпусу отримані формули відношення $P_{ок}/LBD$ виду:

$$P_{ок}/LBD = 0,0819 - 0,0022 \cdot LBD; 3,5 \cdot 10^{-3} < LBD < 7,0 \cdot 10^{-3}; \quad (14)$$

$$P_{ок}/LBD = 0,5711 - 0,0404 \cdot LBD; 7,0 \cdot 10^{-3} < LBD < 14,0 \cdot 10^{-3}. \quad (15)$$

Для визначення водотоннажності порожнем $\Delta_{\text{пор}}$ отримана також залежність відношення $\Delta_{\text{пор}}/\Delta = f(\Delta)$ в діапазоні $4,5 \cdot 10^{-3} < \Delta < 10,0 \cdot 10^{-3}$:

$$\Delta_{\text{пор}}/\Delta = 0,63 - 0,0369 \cdot \Delta. \quad (16)$$

Для визначення опору води рухові суден найбільш прийнятним, оснований на великій кількості модельних експериментів, вважається метод Холтропа [4]. Цей метод, який передбачає використання широкого діапазону вихідних даних по коефіцієнту загальної повноти та відношеннях головних розмірів, і є орієнтованим в основному на морські судна. В роботі [1] відмічається, що співставлення повного опору СЗП за результатами проведеного модельного експерименту і розрахунку чисельними методами гідродинаміки з результатами розрахунку по статистичному методу Холтропа показує значну похибку при його використанні (27 –29% при $v_s = 10 \div 12$ вуз).

У зв'язку з цим при розрахунку опору води варіантів суден методом Холтропа, що розглядаються, вносилися коригування з використанням наведених в роботі [1] результатів модельного експерименту і розрахунку чисельними методами гідродинаміки проекту RSD19.

Цей проєкт був покладений в основу подальшого розрахунку варіантів як базовий. Технічні характеристики по ньому, отримані в роботі [1], а також з використанням Інтернет ресурсу [5], наведені в табл.1. При визначенні маси металевого корпусу і маси обладнання корпусу використані залежності (10) та (15). Розподіл інших складових водотоннажності порожнем $\Delta_{\text{пор}}$ був проведений з використанням залежностей роботи [3].

Таблиця 1.

Технічні характеристики проєктів

Довжина $L_{\text{пп}}$, м	135,69	135,69	135,69	135,69
Ширина B , м;	16,50	16,50	16,50	16,50
Коефіцієнт C_b	0,84	0,86	0,88	0,9
Висота борту D , м	6,4	6,4	6,4	6,4
Осадка d , м	4,6	4,6	4,6	4,6
Водотоннажність Δ , т	8957	9170	9383	9596
Дедвейт DW , т	6534	6689	6845	7000
LBD , м ³	14330	14330	14330	14330
Маса мет. корпусу $P_{\text{МК}}$, т	2026	2058	2085	2113
Маса облад. корп. $P_{\text{ок}}$, т	75,9	78	84	90
Маса пристроїв $P_{\text{пр}}$, т	101,7	114	124	134
Маса систем P_c , т	86,8	92	99	106
Маса гол. ЕУ $P_{\text{гзу}}$, т	64,4	69	70	72
Маса постачання, майна $P_{\text{пм}}$, т	5,4	6	7	8
Маса постійн рідк. вант. $P_{\text{рв}}$, т	30,1	31	32	33
Маса озброєння. $P_{\text{озбр}}$, т	2,9	3	4	5
Маса електро-енерг. мех. $P_{\text{еє}}$, т	15,7	16	17	18
Маса ел.-ен. систем $P_{\text{еєс}}$, т	14,3	15	16	17
Водотоннажність порожн. $\Delta_{\text{пор}}$, т	2424	2481	2538	2596

Що стосується визначення вартості побудови судна, то за браком сучасних даних в основу цих розрахунків були покладені вартісні показники минулих років, які використовувалися при побудові СЗП на Херсонському суднобудівному заводі.

Для розрахунку витрат на експлуатацію судна була використана традиційна методика з використанням сучасних даних з вартості палива, води, мастила, витрат на екіпаж та інші витрати [5]. Втрати швидкості враховувалися за формулою (3). Фрахтова ставка приймалась осередненою при транспортуванні зерна в прямому рейсі і контейнерів у зворотному рейсі.

В табл. 2 і на рис. 1 наведені результати проведених варіантних розрахунків чистого прибутку (ЧП) для швидкостей ходу від 10,5 до 12 вуз і коефіцієнтів загальної повноти $C_b = 0,84 \div 0,90$.

Таблиця 2

Результати розрахунку чистого прибутку (млн. \$)

C_b	v_s , вуз			
	10,5	11	11,5	12
0,84	2,494	2,532	2,561	2,553
0,86	2,523	2,567	2,588	2,578
0,88	2,550	2,593	2,599	2,587
0,9	2,554	2,589	2,590	2,579

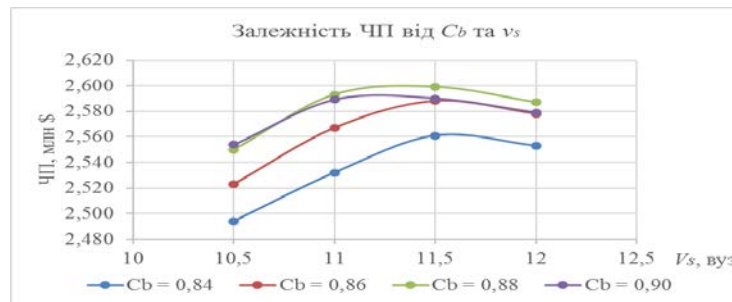


Рисунок1 – Залежність чистого прибутку від коефіцієнта C_b і швидкості v_s .

Аналіз отриманих результатів дає можливість стверджувати про доцільність підвищення значень коефіцієнта C_b СЗП до 0,90 що співпадає з висновками в роботі [1]. Результати розрахунку показали також деякі переваги для значень $C_b = 0,86-0,88$ при швидкості 11,5 вуз.

Аналогічні розрахунки чистого прибутку були проведені для СЗП інших розмірів. В табл.3 наведені характеристики одного з таких суден, а в табл. 4 і на рис 2 – результати розрахунку чистого прибутку.

Таблиця 3.

Технічні характеристики проєктів

$L_{пп}$, м	122,4	122,4	122,4	122,4	122,4
B , м;	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6
C_b	0,82	0,84	0,86	0,88	0,9
d , м	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97
Δ , т	8363,4	8567,4	8771,3	8975,3	9179,3

Таблиця 4.

Результати розрахунку чистого прибутку (млн. \$)

C_b	v_s , вуз				
	10	10,5	11	11,5	12
0,820	2,811	2,900	2,968	3,025	3,056
0,840	2,859	2,945	3,013	3,057	3,083
0,860	2,898	2,979	3,038	3,077	3,098
0,880	2,913	2,988	3,039	3,061	3,062
0,900	2,927	2,994	3,033	3,060	3,035

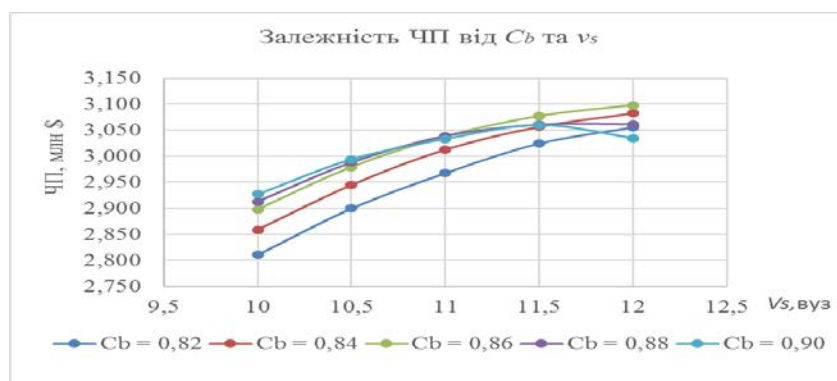


Рисунок 2 – Залежність чистого прибутку від коефіцієнта C_b і швидкості v_s .

Результати по ЧП підтверджують попередні висновки, але показують переваги суден з меншими значеннями C_b на швидкостях 11,5 – 12,0 вуз, що можна пояснити зменшенням витрат при менших значеннях Δ та N_{EU} .

На рис. 3 та 4 наведені результати розрахунку експлуатаційних витрат E та прибутку Π варіантів суден, зазначених в табл. 3.

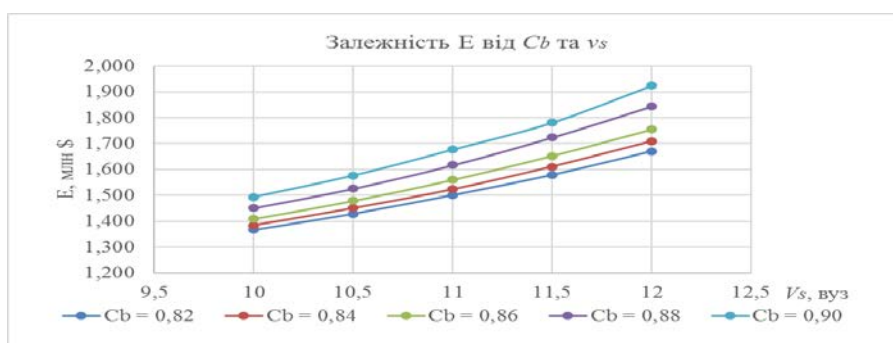


Рисунок 3 – Залежність експлуатаційних витрат E від коефіцієнта C_b і швидкості v_s .

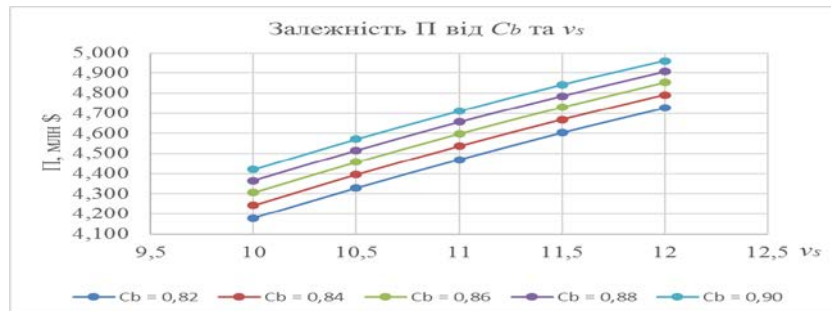


Рисунок 4 – Залежність прибутку від коефіцієнта C_b і швидкості v

Висновки.

1. Проведено аналіз статистичних даних по СЗП і отримані аналітичні залежності для визначення на початкових стадіях розробки проекту головних розмірів і їх відношень, складових навантаження мас.

2. Розрахунки техніко-економічних характеристик варіантів СЗП, проведені з метою виявлення впливу на їх економічні показники підвищених значень коефіцієнта загальної повноти і швидкості, показали ефективність експлуатації СЗП з $C_b = 0,88 - 0,90$ при швидкостях $v_s = 11,0 - 11,5$ вуз.

3. Проведені варіантні розрахунки дали можливість отримати множину допустимих рішень, необхідну для формування математичної моделі, постановки задачі оптимального проектування СЗП, розробки програми оптимізації та її реалізації у подальшому.

REFERENCES

- [1] Егоров, Г.В. (2007). Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. Спб.: Судостроение, 384.
- [2] Лубковский, В.К. (2009). Определение ветро-волновых потерь скорости судов смешанного плавания с измерением параметров волнения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Новосибирск. 23 с.
- [3] Шостак, В.П. (1993). Статистические модели весовой загрузки и стоимости постройки судов. Сб. научных трудов УГМТУ, Николаев.
- [4] Holtrop, J.A. (1984). Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data. International Shipbuilding Progress. Vol. 31, (363), 272–276.
- [5] <http://www.petrolbunkering.com/price-information>.

Кротов Александр Иванович, Савочкина Вера Владимировна

Вариативный расчет технико-экономических характеристик судов смешаного река-море плавания

Аннотация. Проведен анализ статистических данных по судам смешанного плавания (ССП). Получены аналитические зависимости для определения на начальных стадиях разработки проекта главных размеров и их соотношений, составляющих нагрузки масс. Выполнены расчеты технико-экономических характеристик вариантов СПП. Получено множество допустимых решений, необходимые для формирования математической модели, постановки задачи оптимального проектирования СПП, разработки программы оптимизации.

Ключевые слова: вариативный метод; судно смешанного плавания; прибыль; технико-экономические характеристики; прибыль, доход, эксплуатационные расходы.

Krotov O.I., Savochkina V.V.

Variants calculation of performance characteristics of the river-sea ships.

Annotation. The analysis of statistical data on mixed river-sea navigation vessels is carried out. Analytical dependencies are obtained to determine the main dimensions and their ratios that make up the mass load at the initial stages of project development. Calculations of the technical and economic characteristics of the river-sea ships options have been performed. A set of feasible solutions has been obtained, which are necessary for the formation of a mathematical model, the formulation of the optimal design problem for the river-sea ships, and the development of an optimization program.

Key words: variable method; river-sea vessel; profit; technical and economic characteristics; profit, income, operating costs.

УДК 629. 5.015.2

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ DELFT 372
В FLOWVISION**

Тимошенко Виктор Федорович, к.т.н., доцент
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова;
Украина, Николаев
vftim@ukr.net, ORCID 0000-0003-1938-7594

Аннотация. Проведено моделирование сопротивления движению модели катамарана проекта Delft-372 с использованием CFD FlowVision 2.3x пакета в широком диапазоне скоростей $Fr=0,1...0,8$. Выполнено сравнение результатов моделирования сопротивления с экспериментальными данными в опытовом бассейне. Приведены рекомендации по использованию CFD пакета для использования при начальных стадиях проектирования скоростных катамаранов и судов разных типов.

Ключевые слова: катамаран; сопротивление; судно; CFD; OpenFOAM; FlowVision.

Вводная часть. В тезисах доклада [5] приведены результаты моделирования сопротивления одно- и двухкорпусной модели ($L_{pp}=3м$) пр. Delft-372, которые показали достаточно хорошее совпадение с экспериментальными данными в опытовых бассейнах [1,2,3,4].

В данной работе проведены расчеты моделирования модели пр. Delft-372 в часто используемом на практике CFD пакета FlowVision v2.3x фирмы Tesis, который обладает широкими возможностями визуализации полей скоростей, давлений, волн и др.

Целью работы является сравнение эффективности CFD пакетов OpenFOAM v5.x и FlowVision v2.3x применительно к расчетам сопротивления движению судов различных типов для их использования в начальных стадиях проектирования.

Основная часть. Для сравнения эффективности CFD пакетов FlowVision v2.3x и OpenFOAM 5.x (mingw-w64 Double Precision (of5-64)) были проведены расчеты сопротивления катамарана проекта DELFT 372 для которого опубликовано много экспериментальных данных по сопротивлению в широком диапазоне чисел $Fr_L=0,1...0,8$ [1,2,3,4].