

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2022.1\(488\).3](https://doi.org/10.15589/znp2022.1(488).3)  
УДК 629.5

## THE FORMATION OF A DIGITAL TWIN OF A PASSENGER'S VESSEL WITH OUTRIGGERS: A METHOD FOR CALCULATING THE TOTAL RESISTANCE

### ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА З АУТРИГЕРАМИ: МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПОВНОГО ОПОРУ

**Sergey O. Slobodyan**

[sergij.slobodyan@nuos.edu.ua](mailto:sergij.slobodyan@nuos.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-2439-074X

**Kostyantyn O. Morozov**

[kostiantyn.morozov@nuos.edu.ua](mailto:kostiantyn.morozov@nuos.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-6879-0286

**С. О. Слободян,**

канд. техн. наук, професор

**К. О. Морозов,**

аспірант

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

**Abstract.** The creating the life cycle of a digital double of vessels, all the processes of its formation and saturation, which are carried out within the digital research center of shipbuilding and digital design bureau, must be taken into account. The results of the formation and saturation of the digital duplicate are the basis for the implementation of the following processes in digital production and digital operation.

Among promising areas for further development of the shipbuilding industry should be noted is the formation of the technological platform Shipbuilding 4.0, which implements digital shipbuilding.

Therefore, one of the components of the Shipbuilding 4.0 platform should be a method of determining the total drag of the ship, which will allow at an early stage of design to resolve the issue of power plant power. The first stage of the method is the processing of model test data using regression analysis - the least-squares method, which was based on the work by Dejan Radojicic, a professor at the University of Belgrade. The calculation part includes formulas for determining the total resistance and form factor based on the recommendations of the 1978 conference, the so-called ITTC'78 (International Towing Tank Conference). With regard to these recommendations, the specifics of the calculation of a multi-hull vessel based on scientific research by Prasanta K Sahoo were taken into account.

Also included in the method is a study by Benjamin Ackers, which takes into account the effect of wave interference on the resistance of a ship with outriggers by distributing the displacement between the main hull and the side buoyancy blocks, varying their location relative to it.

The concepts of systematic series 62 and 65 models with L/B ratios from 6.6 to 9.3 were chosen as the main hull of the outrigger vessel, which was considered in this paper. Outriggers are the same models of systematic series 62 and 65, divided by the diametrical plane (by the Benjamin Ackers study) and the ratio to the main body, based on the dependences obtained by processing data from experiments conducted in research basins at different times.

It should be noted that a passenger vessel with outriggers is presented as a slim-hull vessel with a large relative length and low stability, to compensate for which outriggers are used.

**Key words:** calculation of the main resistance; main hull with outriggers; systematic series 65 and 62; least square method.

**Анотація.** При створенні життєвого циклу цифрового двійника судна має бути враховано всі процеси його формування та насичення, що здійснюються у рамках цифрового наукового центру суднобудування та цифрового конструкторського бюро. Результати формування та насичення цифрового двійника є основою для здійснення наступних процесів на цифровому виробництві та при цифровій експлуатації.

З перспективних напрямків подальшого розвитку суднобудівної галузі слід зазначити формування технологічної платформи Shipbuilding 4.0, у рамках якої реалізується цифрове суднобудування.

Тому однією зі складових платформи Shipbuilding 4.0, має бути метод визначення повного опору судна, і який дасть змогу на стадії раннього проектування вже вирішити питання потужності силової установки. Перший етап методу, це обробка даних модельних випробувань за допомогою регресійного аналізу – метод найменших

квадратів, за основу якої була взята робота Dejan Radojčić, професора Белградського університету. Розрахункова частина включає в собі формули по визначенню повного опору та форм-фактора на основі рекомендацій конференції 1978 року так званої ІТТС'78 (International Towing Tank Conference). Стосовно цих рекомендацій була врахована специфіка розрахунку багатокорпусного судна на основі наукових досліджень Prasanta K Sahoo. Також до методу було включено дослідження Benjamin Askers який враховує вплив хвильової інтерференції на опір судна з аутригерами шляхом розподілу водотоннажності між головним корпусом та боковими блоками плавучості, варіюючи їх розташуванням щодо нього.

В якості головного корпусу судна з аутригерами, яке розглядалось у цій роботі, було обрано концепції моделей систематичних серій 62 та 65 із співвідношенням L/B від 6,6 до 9,3. Аутригери являють собою ті ж самі моделі систематичних серій 62 і 65, розділені по діаметральній площині (із врахуванням дослідження Benjamin Askers) та співвідношенні до головного корпусу, виходячи із залежностей, які отримано шляхом обробки даних експериментів проведених у дослідницьких басейнах у різний час.

Слід зазначити, що пасажирське судно з аутригерами представлено як однокорпусне судно з великою відносною довжиною та малою остійністю, для компенсації якої застосовані аутригери.

**Ключові слова:** розрахунок повного опору; головний корпус судна з аутригерами; систематична серія 65 та 62; метод найменших квадратів.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В наш час одним з трендів подальшого розвитку суднобудівної галузі слід вважати формування технологічної платформи Shipbuilding 4.0, у рамках якої реалізується цифрове суднобудування.

Життєвий цикл створення цифрового двійника судна передбачає процеси його формування та насичення, що здійснюються у рамках цифрового наукового центру суднобудування та цифрового конструкторського бюро. Результати формування та насичення цифрового двійника є основою для здійснення наступних процесів на цифровому виробництві та при цифровій експлуатації [1, с. 17–29].

Серед актуальних завдань формування та насичення цифрового двійника високошвидкісного пасажирського судна з аутригерами (CAP) слід вважати завдання знаходження повного опору, що зумовить потрібну потужність силової установки судна.

Істотною частиною повного опір CAP є хвильовий опір, який становить найбільшу частину залишкового опору.

Для визначення хвильового опору судна на даний час використовують два методи: метод форм-фактора та метод вимірювання хвильового профілю.

Одним із класичних теоретичних підходів знаходження хвильового опору судна з великим подовженням є робота Мітчела (1898), яка виконана в рамках лінійної теорії тонкого судна. Однак, при використанні цієї теорії виявилася низка труднощів, пов'язаних із застосуванням інтегральних формул визначення хвильового опору, що призводять до великої кількості обчислювальних операцій і, відповідно, з громіздкістю самого обчислювального процесу.

Серед сучасних методів розрахунку хвильового опору можна назвати метод обчислювальної гідродинаміки Computational Fluid Dynamics (CFD). Тим часом, у CFD методика є свої недоліки, пов'язані з великими тимчасовими витратами на обчислюваль-

ні процеси, а також великим розбіжністю результатів розрахунків повного опору для ВШС при порівнянні з випробуваннями в дослідницьких басейнах. У зв'язку з цим виникає потреба у розробці методу для вирішення практичного завдання визначення повного опору пасажирського судна з аутригерами.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За останні десятиліття багатокорпусні судна здобули неабиякий попит, все більше їх застосовують в різних напрямках суднобудування багато науковців проводять різні наукові дослідження при розробках різних конструкцій багатокорпусних суден. У різні часи дослідники шли кожен своїм шляхом, наприклад данні модельних випробувань систематичних серій [2; 3] дали змогу отримати інформацію для аналізу і вибору корпусів які забезпечують зниження хвильового опору. Наукові дослідження [4; 5; 6] дали можливість вирішити питання знаходження повного опору багатокорпусного судна, а дослідницький аналіз [7] вирішив проблему оптимального розташування аутригерів. Всі ці дослідження були з акумульовані для створення цифрової моделі [1] майбутнього багатокорпусного судна з аутригерами.

## МЕТА СТАТТІ

Використовуючи наявні дані модельних випробувань систематичних серій 62 та 65, вирішити задачу визначення повного опору судна з аутригерами.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Важливим чинником, що впливає на економічну ефективність пасажирського CAP, є потужність енергетичної установки (ЕУ). Завдання проектування такого судна полягає у підвищенні економічної ефективності зниження потужності ЕУ (зниження споживаного палива) та незмінної швидкості. Зниження потужності енергетичної установки прямо пов'язане зі зниженням повного опору CAP.

Суть запропонованої методики у тому, що поетапно, використовуючи наявні дані модельних випробувань систематичних серій 62 і 65, вирішити завдання визначення повного опору САР.

Варто відзначити, що зниження повного опору та забезпечення високої швидкості судна також залежить від вибору обводів, форми головного корпусу та аутригерів. Для досягнення необхідних показників авторами цієї статті було використано дані модельних випробувань систематичної серії 65 та 62.

Моделі цієї серії мають середню кілеватість, а форма носової частини дозволяє здійснювати лег-

ке хвильове обтікання, скула служить для ефективного поділу потоку і має мінімальну опуклу кривизну, щоб уникнути розвитку негативного нижнього тиску.

Моделі 4668, 4669, 5248, 5250 серії 62 та 65-А мають вузький транець. Така конструктивна особливість має практичне значення у дуже довгих та вузьких корпусах, таких як центральний корпус САР.

У моделей 5238 та 5208 серії 65-В транець широкий. Корпуси цієї серії, розділені по діаметральній площині і співвіднесені до головного корпусу, мають конструктивну особливість для аутригерів.

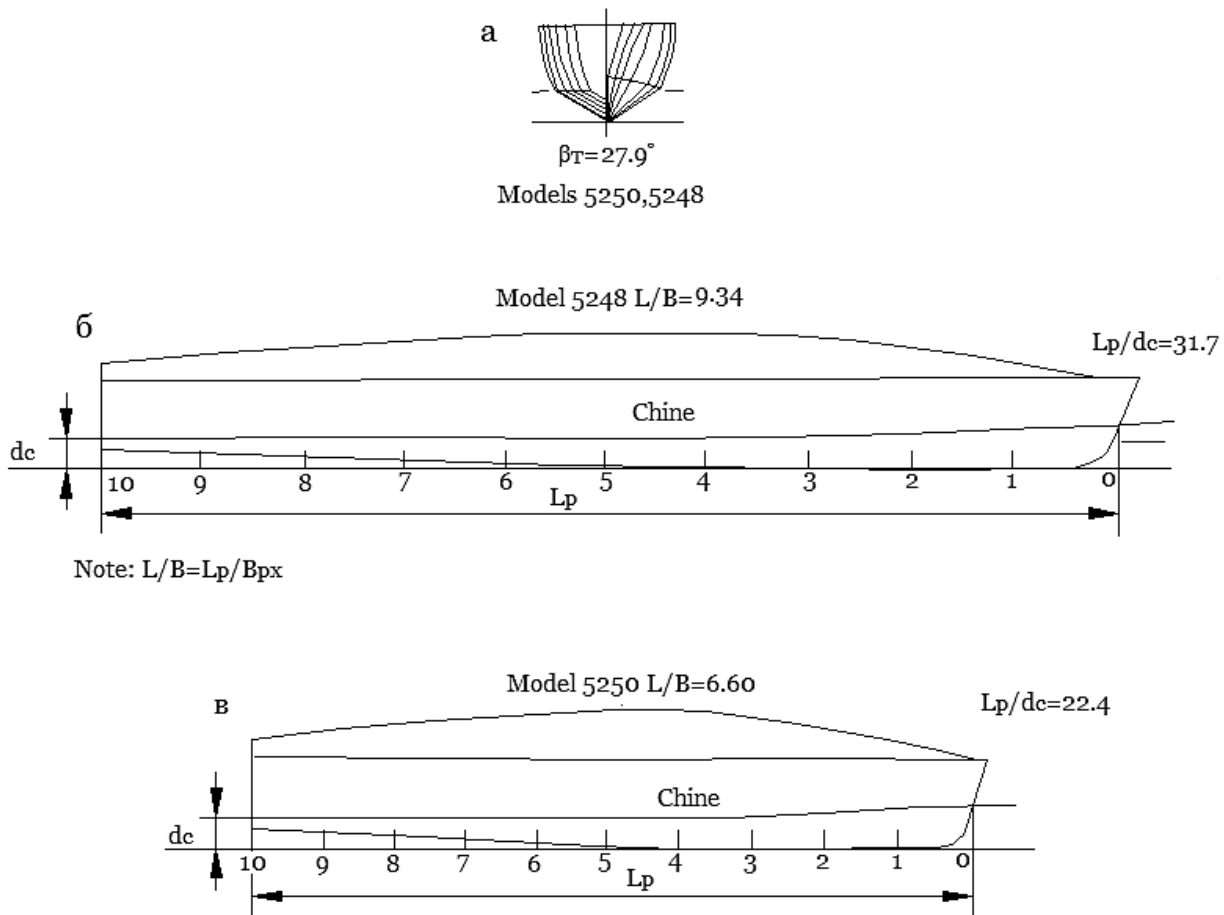


Рис. 1. Обводи (а) та форма корпусу моделей 5248 (б), 5250 (в) серії 65-А

Таблиця 1. Характеристики корпусу обраних моделей

	Model	$L_p$ (m)	$A_p$ (m <sup>2</sup> )	$B_{PA}$ (m)	$B_{PT}$ (m)	$B_{PX}$ (m)	$\frac{L_p}{B_{PA}}$	$\frac{L_p}{B_{PX}}$	$\frac{B_{PX}}{B_{PA}}$	$\frac{B_{PT}}{B_{PX}}$	$x_p$ (m)	$\beta_{it}$ deg	$\beta_T$ deg	LCG/ $L_p$
Series 65-A	5248	2.63	0.54	0.21	0.1	0.28	12.87	9.34	1.38	0.35	0.15	29.9	27.9	0.52
	5250	2.63	0.76	0.3	0.14	0.4	9.10	6.60	1.38	0.35	0.15	29.9	27.9	0.52
Series 65-B	5208	2.65	0.78	0.29	0.4	0.4	9.0	6.64	1.36	0.99	0.12	37.4	30.4	0.38
	5238	2.65	0.55	0.21	0.28	0.28	12.73	9.38	1.36	0.99	0.12	37.4	30.4	0.38
Series 62	4668	2.44	0.88	0.36	0.285	0.44	6.72	5.50	1.22	0.64	0.15	13.0	12.5	0.43
	4669	2.44	0.7	0.285	0.22	0.35	8.56	7.0	1.22	0.64	0.15	13.0	12.5	0.43

Основні характеристики моделей систематичних серій 65-А, 65-В та 62 представлені в таблиці 1 [2, с. 117–132].

На рисунках 1-3 представлені обводи та форми корпусів моделей серій 65-А, 65-В та 62 [2, с. 117-132].

Форма корпусу та характеристики навантаження зазвичай представлені в безрозмірному вигляді і є різними вхідними параметрами. Показники продуктив-

ності змінюються зі швидкістю судна, тому їх можна позначити як змінні.

Діапазон обмежень моделей 4668, 4669, 5248, 5250 систематичної серії 65-А, 65-В та серії 62 для розрахунку повного опору задається у вигляді [3, с. 9–26]:

$$1.0 < F_n < 4.5;$$

$$5.5 < A_p/V^{2/3} < 8.5;$$

$$30.0 < 100 \cdot LCG/L_p < 52.0;$$

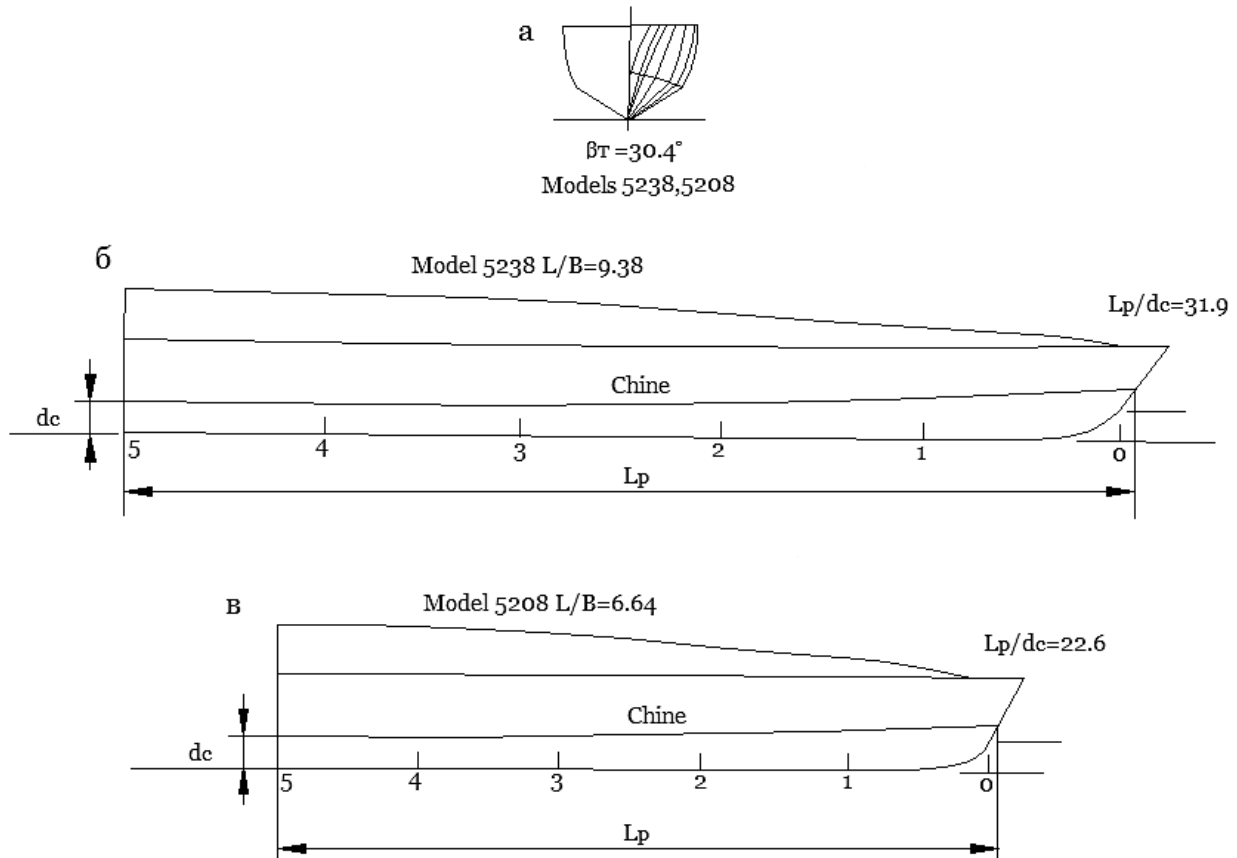


Рис. 2. Обводи (а) та форма корпусу моделей 5238 (б), 5208(в) серії 65-В

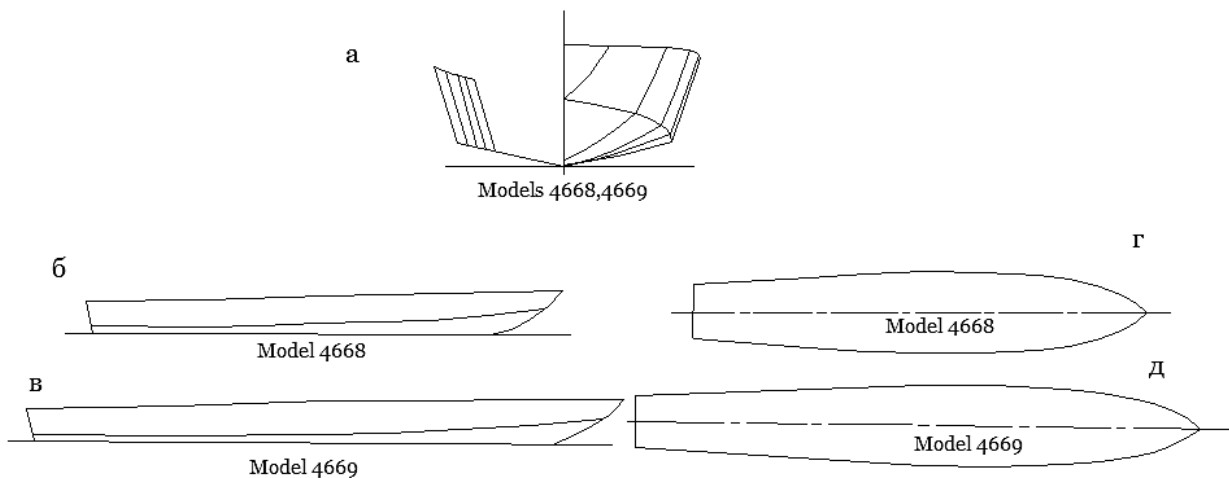


Рис. 3. Обводи (а) та форма корпусу моделей 4668 (б, г), 4669 (в, д) серії 62

$$6.73 < L_p/B_{pa} < 9.36;$$

$$27.9^\circ < \beta < 30.4^\circ,$$

де  $F_n$  – число Фруда;  $A_p$  – Запланована площа нижньої частини корпусу;  $V$  – обсяг витісненої води; LCG – поздовжній центр тяжіння;  $L_p$  – розрахункова довжина скули від транця до носового профілю;  $B_{pa}$  – середня ширина по скуле;  $\beta$  – кут килеватости [3, с. 9–26].

Завданням подальшої математичної обробки даних результатів випробувань систематичної серії 65-A, 65-B та серії 62 для знаходження повного опору судна з аутригерами є визначення числових значень, що входять до формули параметрів.

Для знаходження повного опору судна з аутригерами в першу чергу визначаються всі складові коефіцієнта повного опору, а потім визначається форм-фактор методом Хьюза-Прохазки за формулами ІТТС'57 та ІТТС'78 (International Towing Tank Conference) [4, с. 65–66].

Визначення площі змоченої поверхні:

$$\frac{S_s}{S_m} = \left(\frac{L_s}{L_m}\right), \quad (1)$$

$$S_s = S_m \left(\frac{L_s}{L_m}\right)^2, \quad (2)$$

де  $S_m$  – площа змоченої поверхні моделі;  $S_s$  – площа змоченої поверхні судна;  $L_m$  – довжина моделі;  $L_s$  – довжина судна.

Формули визначення числа Рейнольдса  $R_{n,m}$  моделі та  $R_{n,s}$  судна мають вигляд:

$$R_{n,m} = \frac{V_m \cdot L_m}{\nu_m}, \quad (3)$$

$$R_{n,s} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu_s}, \quad (4)$$

де  $V_m, V_s$  – швидкість моделі та судна відповідно;  $\nu_m, \nu_s$  – кінематична в'язкість середовища моделі та судна.

Формули для визначення коефіцієнта в'язкого опору  $C_{F,m}$  моделі та  $C_{F,s}$  судна мають вигляд:

$$C_{F,m} = \frac{0.075}{(\log_{10} R_{n,m} - 2)^2}, \quad (5)$$

$$C_{F,s} = \frac{0.075}{(\log_{10} R_{n,s} - 2)^2}, \quad (6)$$

де  $C_{F,m}$  та  $C_{F,s}$  – коефіцієнти в'язкісного опору моделі та судна відповідно.

Формула для визначення повного опору моделі подається у вигляді:

$$R_{T,m} = C_{T,m} \frac{1}{2} \rho_m V_m^2 S_m, \quad (7)$$

де  $C_{T,m}$  – коефіцієнт повного опору моделі;  $\rho_m$  – щільність рідкого середовища.

У свою чергу, залежність для визначення коефіцієнта повного опору моделі  $C_{T,m}$  має наступний вигляд:

$$C_{T,m} = C_{F,m} + C_{R,m} + C_A, \quad (8)$$

де  $C_{R,m}$  – коефіцієнт залишкового опору моделі,  $C_A$  – коефіцієнт шорсткості поверхні корпусу (поправка на шорсткість) [4, с. 65–66].

Для знаходження коефіцієнта залишкового опору моделі у роботі [3, с. 9–26] запропоновано наступне регресійне рівняння:

$$R = f \left( F_{n,d}, A_p / \sqrt{V}^{2/3} \right),$$

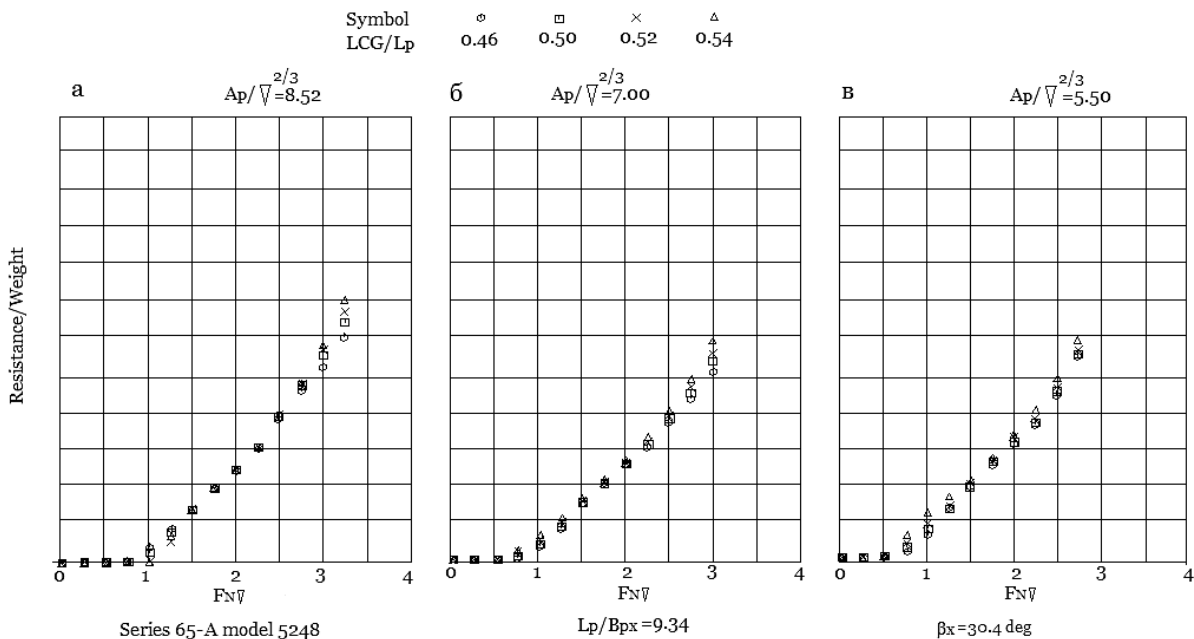


Рис. 4. Залежності  $R/\Delta$  від  $F_n$  для  $A_p/V^{2/3}=8.52$  (а),  $A_p/V^{2/3}=7.00$  (б) та  $A_p/V^{2/3}=5.50$  (б) моделі 5248 серія 65-A

де  $R = C_R$  – коефіцієнт залишкового опору моделі;  $A_p/V^{2/3}$  – коефіцієнт завантаження.

Знаходження коефіцієнтів регресії здійснюється методом найменших квадратів (МНК).

Сутність МНК полягає у побудові наближеної або апроксимуючої функції (лінія тренду), що проходить через усі точки вихідних даних і найближче до заданої безперервної функції.

Лінія тренду може бути використана для опису величин, що поперемінно зростають і спадають. Наприклад, під час аналізу великого набору даних. І тут ступінь полінома визначається кількістю екстремумів кривої. Зазвичай поліном другого ступеня має тільки один екстремум, поліном третього ступеня один або два екстремуми, а поліном четвертого ступеня може мати до трьох екстремумів.

Поліноміальна (або криволінійна) лінія тренду використовує наступне рівняння:

$$y = b + k_1x + k_2x^2 + k_3x^3 + \dots + k_nx^n. \quad (9)$$

Варто зазначити, що критерієм порівняння корпусів моделей було обрано співвідношення  $R/\Delta$ , яке дає більш чітке уявлення про зв'язок між залишковим опором та водотоннажністю.

Рисунок 4 показує дані щодо модельних випробувань систематичної серії 65-А моделі 5248 [2, с. 117–132].

На цьому етапі знаходження коефіцієнта залишкового опору моделі йде побудова лінії тренду, що апроксимує експериментальні дані моделі 5248. Результати розрахунків наведені у таблиці 2.

Наближаюча функція  $R/\Delta = f(F_{nv})$  описує лінію тренду як:

$$R/\Delta = aF_{nv}^4 + bF_{nv}^3 + cF_{nv}^2 + dF_{nv} + e. \quad (10)$$

Таблиця 2. Дані лінії тренду моделі 5248 серія 65-А

	$A_p/V^{2/3}$					
	8,5		7,0		5,5	
	$R/\Delta$	$F_{nv}$	$R/\Delta$	$F_{nv}$	$R/\Delta$	$F_{nv}$
Series 65-A Model 5248	0,001	0,25	0,0023	0,25	0,002	0,25
	0,0015	0,5	0,0036	0,5	0,0056	0,5
	0,004	0,75	0,0056	0,75	0,01	0,75
	0,0084	1,0	0,01	1,0	0,02	1,0
	0,015	1,25	0,021	1,25	0,027	1,25
	0,024	1,5	0,032	1,5	0,038	1,5
	0,037	1,75	0,042	1,75	0,05	1,75
	0,05	2,0	0,05	2,0	0,064	2,0
	0,068	2,25	0,063	2,25	0,0704	2,1
	0,084	2,5	0,076	2,5	0,08	2,25
	0,0904	2,6	0,0824	2,6	0,084	2,3
	0,1	2,75	0,092	2,75	0,1	2,5
	0,102	2,8	0,1	2,8	0,108	2,6
0,11	3,0	0,132	3,0	0,12	2,75	

Таблиця 3. Коефіцієнти рівняння лінії тренда для  $A_p/V^{2/3}=5,5$

$A_p/V^{2/3}$	a	b	c	d	e
5,5	0,000695	-0,00285	0,017308	0,003378	-7,2E-05

Методом найменших квадратів визначаємо коефіцієнти a, b, c, d та e для значення  $A_p/V^{2/3} = 5,5$ . Результати наведено у таблиці 3.

Наступний крок – це перевірка достовірності рівняння (10) шляхом порівняння розрахункових даних із експериментальними. Рисунок 5 показує результат для  $A_p/V^{2/3} = 5,5$ .

Результати перевірки показали, що гарний збіг кривої, рівняння якої було отримано за допомогою МНК, з даними модельних випробувань, свідчать про те, що поставлене завдання щодо знаходження залишкового опору моделі  $C_{Tm}$  за запропонованим методом було вирішено.

Наступним етапом методики йде визначення повного опору судна з аутригерами. Варто зазначити, що опір по формулі (7) визначається для кожного корпусу окремо. У своїй роботі [5, с. 9–26] Prasanta K Sahoo використовуючи роботи Molland [6, с. 6] вдосконалив формули визначення коефіцієнта повного опору по ІТТС'57 і ІТТС'78, для багатокорпусного судна. Згідно з методикою, запропонованою Prasanta K Sahoo коефіцієнти опору  $C_F$ ,  $C_R$  та  $C_T$  перетворюються в формулу:

$$C_{FT} = C_{FMH}(S_C/S_T) + C_{FS}(2S_S/S_T), \quad (11)$$

де  $C_{FT}$ ,  $C_{FC}$  і  $C_{FS}$  – коефіцієнти в'язкого опору САР, головного корпусу та аутригера;  $S_T$ ,  $S_C$  і  $S_S$  – площа змоченої поверхні головного корпусу САР та аутригерів відповідно.

$$C_{RT} = C_{RC}(S_C/S_T) + C_{RS}(2S_S/S_T), \quad (12)$$

де  $C_{RT}$  – коефіцієнт залишкового опору САР,  $C_{RC}$  – коефіцієнт залишкового опору головного корпусу,  $C_{RS}$  – коефіцієнт у залишкові опори аутригера.

$$C_{TT} = C_{FT} + C_{RT} + C_A, \quad (13)$$

де  $C_{TT}$  – коефіцієнт повного опору САР

Наступним етапом іде визначення форм-фактору за методом Хьюза-Прогазки рисунок 6 [4, с. 65–66].

Використовуючи отримані коефіцієнти опору  $C_{TT}$  і  $C_{FT}$ , знаходимо значення форм фактора  $(1+k)$  САР рисунок 6, використовуючи залежності  $Fn^4/C_{FT}$  і  $C_{TT}/C_{FT}$  на різних діапазонах  $Fn$ . Таким чином виходячи з умов ІТТС’78 та робіт Prasanta K Sahoo, Molland формула (8) перетворюється в наступну формулу:

$$C_{TT} = (1 + k)C_{FT} + C_{RT} + C_A. \quad (14)$$

Отриманий коефіцієнт  $C_{TT}$  використовуємо для отримання значення повного опору САР:

$$R_{TT} = C_{TT} \frac{1}{2} \rho_m V_T^2 S_T. \quad (15)$$

Також слід враховувати той факт, що важливим компонентом у зниженні повного опору у САР є розташування його аутригерів.

У своїй роботі [7, с. 349–373] Аккерс провів дослідження впливу хвильової інтерференції на опір САР шляхом розподілу водотоннажності між головним корпусом та аутригерами, варіюючи їх розташуванням

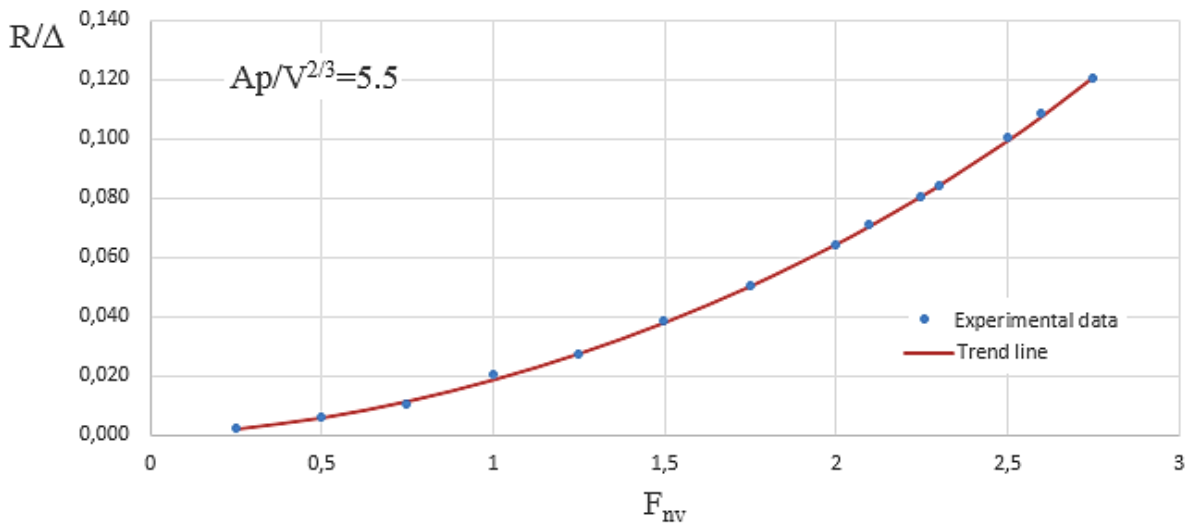


Рис. 5.  $R_r / \Delta = f(F_{nv})$  для  $Ap/V^{2/3} = 5.5$

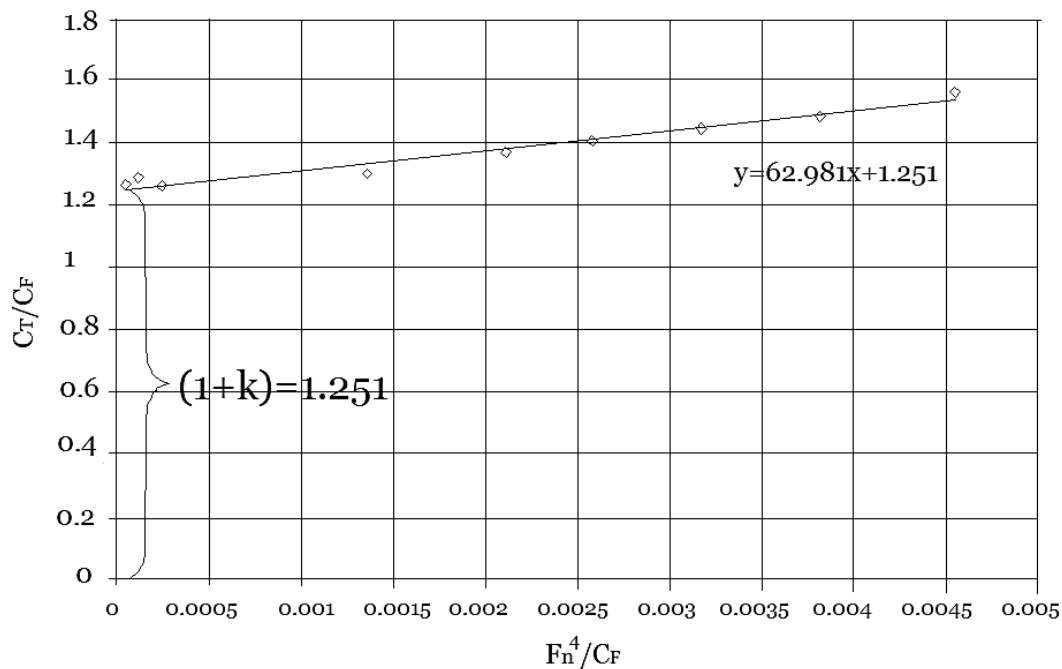


Рис. 6. Визначення форм фактору методом Х’юза-Прогазки

щодо нього. На рисунок 7 зображені чотири варіанти положення аутригерів відносно головного корпусу.

Крім того, були перевірені 3 конфігурації за конструктивними особливостями аутригерів симетричні та асиметричні в положенні до борту та від борту. На рисунок 8 зображено три конфігурації аутригерів, які у роботі розглядав Аккерс [7, с. 349–373].

В діапазоні чисел Фруда від 0.3 до 0.65, варіюючи положення аутригерів щодо центрального корпусу для кожної з конфігурацій, Аккерс провів ряд експериментів, які показали, що впливи хвильової інтерференції між центральним і аутригерами значно нижче в третьому варіанті конфігурації положення асиметричних корпусів.

На рисунок 9 показані контурні графіки, результатів експерименту Аккерса, хвильової інтерференції в трьох позиціях положення аутригерів [7, с. 349–373].

Важливо відзначити, що інтерференційні графіки показують лише відсоткову зміну  $C_R$ , а не фактичний

опір і можуть бути використані для оцінки відносних переваг різних положень аутригерів.

Виходячи з серії експериментів, проведених Аккерсом [7, с.349–373], очевидно те, що найменша зміна інтерференції спостерігається на графіку, де положення асиметричних аутригерів у конфігурації від борту (нижня серія графіків).

**Висновки.** 1. Формування цифрового двійника високошвидкісного пасажирського судна з аутригерами показало, що найбільш оптимальним на стадії раннього проектування для зниження хвильового опору слід використовувати гострі обводи головного корпусу та аутригерів.

2. Використання науково-технічних напрацювань та випробувань, проведених у різний час для визначення повного опору багатокорпусних суден, дозволяють на цій основі розробляти нові практичні методики для покращення та полегшення процесу проектування багатокорпусних пасажирських суден.

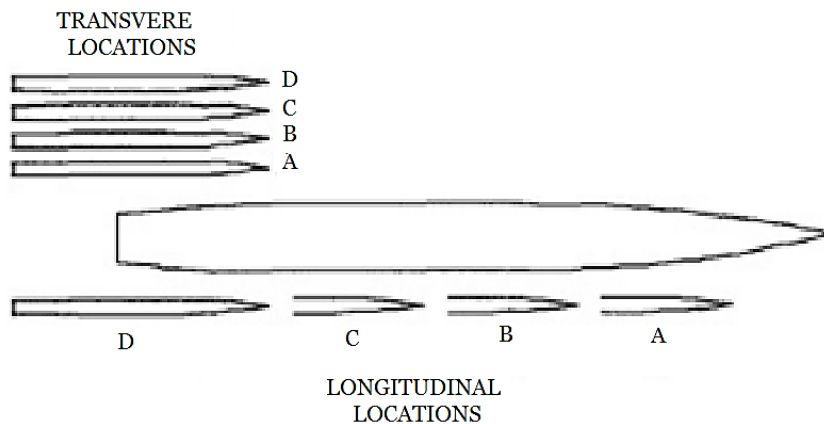


Рис. 7. Положення аутригерів щодо головного корпусу

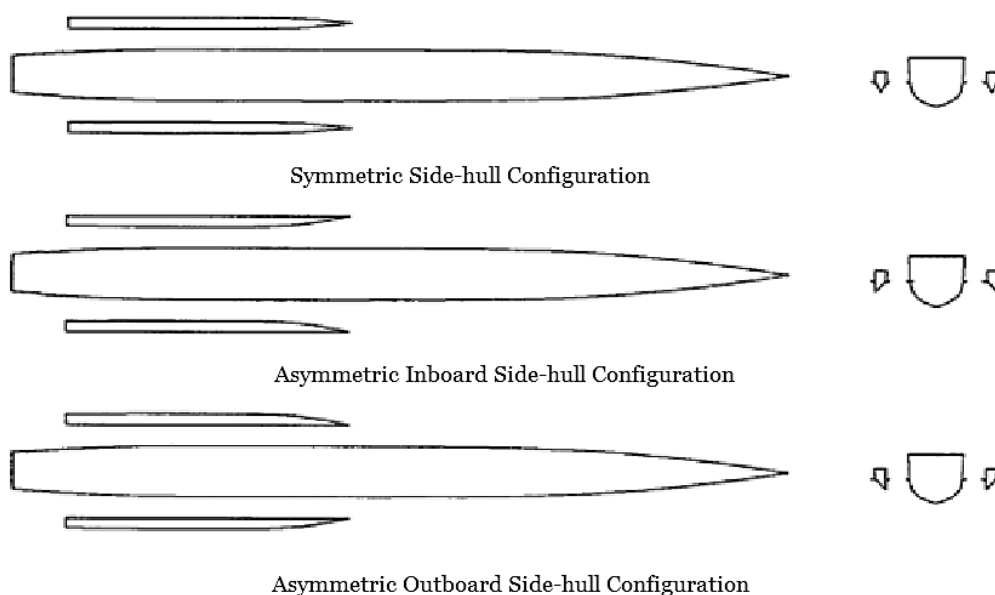


Рис. 8. Конфігурації аутригерів

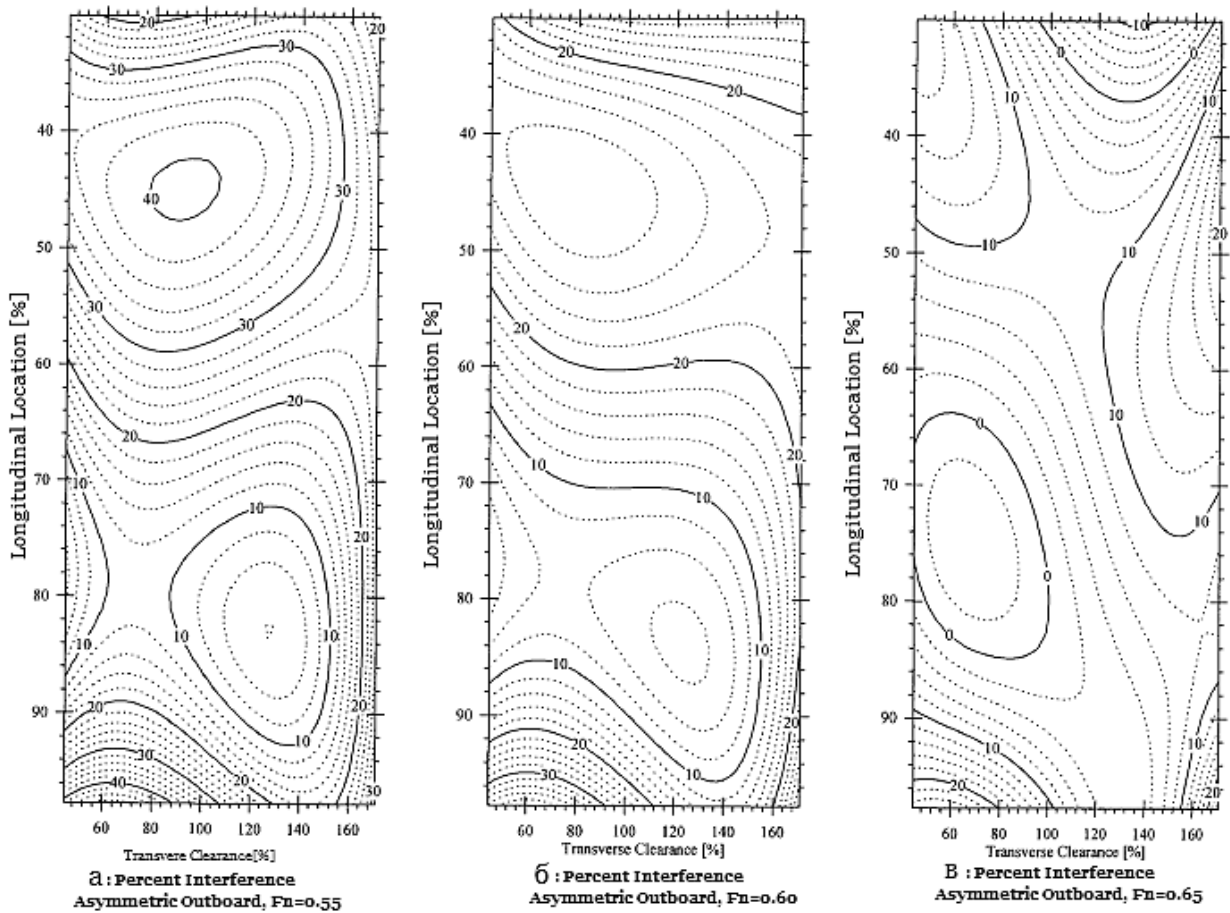


Рис. 9. Процентні інтерференційні контурні графіки для чисел Фруда 0,55(а), 0,60(б) та 0,65(в)

## REFERENCES

- [1] Slobodian S. O., Kharytonov Y. M., *Regulatory and legal support of projects and programs of implementation of technological platform Shipbuilding 4.0. SHIPBUILDING & MARINE INFRASTRUCTURE, № 2 (14), 2020.*
- [2] Hadler J. B., *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, 2008.*
- [3] Radojic D., Zgradic A., Kalajdzic M., Simic. *Resistance Prediction for Hard Chine Hulls in the Pre-Planing Regime. POLISH MARITIME RESEARCH 2 (82), Vol. 21, 2014.*
- [4] Prohaska C. W. *A simple method for evaluation of form factor and the low speed wave resistance, Proc. 11th ITTC, 1974.*
- [5] Sahoo P. K., Mynard T., Mikkelsen J., McGreer Simic, *Numerical and Experimental Study of Wave Resistance for Trimaran Hull Forms. 6th International Conference on High Performance Marine Vehicles, Vol. 21, 2014.*
- [6] Molland A. F., Turnock S. R. and Hudson D. A. *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press, 2011 New York.*
- [7] Ackers B. B., Michael T. J., Tredennick O. W., Landen H. C., Miller Iii E. R., Sodowsky J. P. and Hadler J. B. *An Investigation of the Resistance Characteristics of Powered Trimaran Side Hull Configurations. SNAME Transaction, Vol. 105, 1997. Pp. 349–373.*

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Слободян С. О., Харитонов Ю. М., *Нормативно-правове забезпечення та програм впровадження технологічної платформи Shipbuilding 4.0. SHIPBUILDING & MARINE INFRASTRUCTURE, № 2 (14), 2020.*
- [2] Hadler J. B., *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, 2008.*
- [3] Radojic D., Zgradic A., Kalajdzic M., Simic. *Resistance Prediction for Hard Chine Hulls in the Pre-Planing Regime. POLISH MARITIME RESEARCH 2 (82), Vol. 21, 2014.*

- [4] Prohaska C. W. *A simple method for evaluation of form factor and the low speed wave resistance*, Proc. 11th ITTC, 1974.
- [5] Sahoo P. K., Mynard T., Mikkelsen J., McGreer Simic, *Numerical and Experimental Study of Wave Resistance for Trimaran Hull Forms. 6th International Conference on High Performance Marine Vehicles, Vol. 21*, 2014.
- [6] Molland A. F., Turnock, S. R. and Hudson, D. A. *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press*, 2011 New York.
- [7] Ackers B. B., Michael, T. J., Tredennick, O. W., Landen, H. C., Miller Iii, E. R., Sodowsky, J. P. and Hadler, J. B. *An Investigation of the Resistance Characteristics of Powered Trimaran Side Hull Configurations. SNAME Transaction, Vol. 105*, 1997.

---

© С. О. Слободян, К. О. Морозов

Дата надходження статті до редакції: 12.04.2022

Дата затвердження статті до друку: 19.04.2022