

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
ШАНЬДУНСЬКИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНСТИТУТ ГІДРОМЕХАНІКИ НАН УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ



СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ПОБУДОВИ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

*Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції
з міжнародною участю*

15–16 травня 2024 р.

Миколаїв
«Іліон»
2024

УДК 629.5.01
ББК 39.42-08
С 89

ОРГАНІЗАТОРИ

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Шаньдунський науково-технічний університет
Морське інженерне бюро
Національний університет «Одеська національна академія»
Одеський національний морський університет
Інститут гідромеханіки НАН України
Національна академія наук України

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються

Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. — Електронні дані. — Миколаїв : Іліон, 2024. — 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. — Назва з тит. екрану.

ISBN 978-617-534-733-1

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд».

Розглянуті питання побудови, проектування та експлуатації суден, конструювання, міцності та надійності, технології побудови, реновації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд, морських технологій та океанотехніки, інформаційні технології в інженерії.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 629.5.01
ББК 39.42-08

ISBN 978-617-534-733-1

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
ADMIRAL MAKAROV NATIONAL UNIVERSITY OF SHIPBUILDING
SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (CHINA)
MARINE ENGINEERING BUREAU
NATIONAL UNIVERSITY «ODESSA MARITIME ACADEMY»
ODESSA NATIONAL MARITIME UNIVERSITY
INSTITUTE OF HYDROMECHANIC OF NAS UKRAINE
THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE



MODERN TECHNOLOGIES OF DESIGN, CONSTRUCTION, OPERATION AND REPAIR OF SHIPS, MARINE FACILITIES AND ENGINEERING STRUCTURES

*Materials of the All-Ukrainian scientific and technical conference
with international participation*

On the 15th – 16th of May, 2024

Mykolaiv
2024

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ НУК

Голова: Бондаренко О. В. – канд. техн. наук, проф., Xinghua Zhou – проф., Libin Du – проф.

Заступники голови: Некрасов В. О. – д-р техн. наук, проф., Hongyu Li – доц., Shengli Wang – доц.

Вчений секретар: Савенков О. І. – нач. НДЧ, Астахова А. О. – асистент кафедри ТПС

Члени організаційного комітету:

Давидов І. П. – канд. техн. наук, доц. (UA)

Демидюк О. В. – канд. техн. наук, доц. (UA)

Єгоров О. Г. – канд. техн. наук (UA)

Зайцев В. В. – д-р техн. наук, проф. (UA)

Зайцев Вал. В. – д-р техн. наук, доц. (UA)

Король Ю. М. – канд. техн. наук, проф. (UA)

Коростильов Л. І. – д-р техн. наук, проф. (UA)

Тимченко В. Л. – д-р техн. наук, проф. (UA)

Трохименко Г. Г. – д-р техн. наук, проф. (UA)

Щедролосєв О. В. – д-р техн. наук, проф. (UA)

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman: Bondarenko O. – Ph. D., Professor, Xinghua Zhou – Professor, Libin Du – Professor.

Deputy Chairman: Niekrasov V. – Dr. of Eng. Sc., Professor, Hongyu Li – Associate Professor, Shengli Wang – Associate Professor.

Scientific Secretary: Savenkov O., Astakhova A.

Члени організаційного комітету:

Davydov I. – Ph. D., Associate Professor (UA)

Demydiuk O. – Ph. D., Associate Professor (UA)

Yehorov O. – Ph. D. (UA)

Zaitsev V. – Dr. of Eng. Sc., Professor (UA)

Zaitsev Val. – Dr. of Eng. Sc., Associate Prof. (UA)

Korol Y. – Ph. D., Professor (UA)

Korostylov L. – Dr. of Eng. Sc., Professor (UA)

Tymchenko V. – Dr. of Eng. Sc., Professor (UA)

Trokhymenko G. – Dr. of Eng. Sc., Professor (UA)

Shchedrolosiev O. – Dr. of Eng. Sc., Professor (UA)

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ PLENARY SESSION

УДК 629. 5.01

ОПТИМІЗАЦІЙНА ЗАДАЧА МІНІМІЗАЦІЇ ОПОРУ ВОДИ РУХУ ПАРУСНОЇ ЯХТИ

Астахова А. О., викладач¹, Нєкрасов В. О., д.т.н. професор²
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна, Миколаїв

¹alina.astakhova@nuos.edu.ua, ORCID-0000-0002-8686-439X

²valery.nekrasov@nuos.edu.ua, ORCID-0000-0002-7157-9481

Анотація. Наведено формулювання оптимізаційної задачі мінімізації буксирувального опору парусної яхти на основі використання регресійних рівнянь, побудованих за даними серійних експериментальних досліджень у дослідному басейні. Розв'язання задачі одержано методом узагальненого редукованого градієнта. Показано ефективність використання запропонованої оптимізаційної задачі під час вибору головних елементів яхти.

Ключові слова: вітрильна яхта, опір води руху яхти, оптимізаційна задача мінімуму опору, вибір головних елементів

Основною метою проектування вітрильної яхти є вибір таких її головних елементів, які забезпечують найбільшу ефективність проектного рішення. Однією із складових такого вибору є визначення параметрів форми корпусу яхти, що мінімізує опір води його руху.

Вирішення такої проблеми є метою даного дослідження.

Воно реалізується за допомогою методу, наведеного в монографії [1] на прикладі мінімізації буксирувального опору патрульного катера.

Формулювання та метод вирішення оптимізаційної задачі. У якості цільової функції $f(\mathbf{x})$ задачі оптимізації опору корпусу яхти з виступаючими частинами кілем і кермом - вибирається залежність буксирувального опору, визначена за даними експериментальних досліджень при ході яхти на тихій воді:

$$f(\mathbf{x}) = R_{Full}(\mathbf{x}) = R_F + R_R(\mathbf{x}) + R_{APP}, \quad (1)$$

де R_F – опір тертя корпусу; R_R – залишковий опір корпусу; R_{APP} – опір виступаючих частин (кіля та керма); $\mathbf{x}$ – вектор незалежних змінних оптимізаційної задачі.

У цієї формулі залишковий опір води руху корпусу яхти $R_R(\mathbf{x})$ визначається на основі експериментальних залежностей, що наведено в роботах [2, 3] у вигляді:

$$R_R = (a_0 + a_1K_1 + a_2K_1 + a_3K_1 + a_4K_1 + a_5K_1 + a_6K_1 + a_7K_1 + a_8K_1 + a_9K_1)gM_c10^{-3}, \quad (2)$$

де $a_i, i = 0, 1, 2, 3, \dots, 9$, – коефіцієнти, що залежать від числа Фруда $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL_{wl}}}$; $K_i, i = 0, 1, 2, 3, \dots, 9$, – перемінні, що визначаються такими співвідношеннями параметрів форми корпусу яхти:

$$K_1 = C_p; K_2 = LCB; K_3 = B_{wl}/T_c; K_4 = L_{wl}/V_c^{1/3}; K_5 = C_p^2; K_6 = C_p L_{wl}/V_c^{1/3};$$

$$K_7 = (LCB)^2; K_8 = \left(\frac{L_{wl}}{V_c^{1/3}}\right)^2; K_9 = \left(\frac{L_{wl}}{V_c^{1/3}}\right)^3;$$

g – прискорення вільного падіння; V_c и M_c – об'ємна та масова водотоннажність яхти.

При заданому числі Фруда Fr , як незалежні змінні оптимізаційні задачі, обираються:

1) габаритні розміри підводної частини корпусу судна, такі як довжина по ватерлінії

$L_{wl} = x_1$, ширина по ватерлінії $B_{wl} = x_2$ та осадка $d = T_c = x_3$;

2) параметри форми корпусу у зазначених розмірах, такі як коефіцієнт загальної повноти $C_B = x_4$, коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту $C_m = x_5$ та відносне відстань центру плавучості від мішеневого перерізу $LCB = x_6$.

Основним обмеженням оптимізаційної задачі є те, що водотоннажність V_c повинна залишатися незмінною. Таким чином, оптимізаційна задача, що розглядається, представляється у вигляді:

Мінімізувати цільову функцію

$$f(\mathbf{x}) = R_{Full}(V_c, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$$

при обмеженнях $[g_1(\mathbf{x}) = x_1] \geq x_{1min}; [g_2(\mathbf{x}) = x_2] \leq x_{2max};$

$$x_{3min} \leq [g_3(\mathbf{x}) = x_3] \leq x_{3max}; x_{4min} \leq [g_4(\mathbf{x}) = x_4] \leq x_{4max};$$

$$x_{5min} \leq [g_5(\mathbf{x}) = x_5] \leq x_{5max}; x_{6min}(\mathbf{x}) = x_6 \leq x_{6max},$$

$$[g_7(\mathbf{x}) = V_c] = const.$$

Розв'язання цього завдання знаходиться шляхом узагальненого редукованого градієнта [4].

Приклад розв'язання оптимізаційної задачі. Розглядається рух на тихій воді океанської гоночної яхти YD-40, головні елементи гладкого корпусу якої і частин (кіля і керма), що виступають, представлені в табл. 1 [3].

Таблиця 1 – Оптимізація форми корпусу яхти
при водотоннажності 7,632 м³, Fr = 0,350 и L_{wl} = 11,0 м

Parameters of yacht hull and appendages			Optimal Solution	YD-40 Data
Length	L_{wl}	m	11,000	10,000
Beam	B_{wl}	m	2,899	3,168
Draft	T_c	m	0,570	0,570
Trim angle (ve+ at stern)	ψ	deg.	0,000	0,000
Bow draft	T_f	m	0,570	0,570
Aft draft	T_a	m	0,570	0,570
Block coefficient	C_b		0,420	0,423

Продовження табл. 1				
Volume displacement of ship	V_c	m ³	7,632	7,632
Mass	m_c	kg	7823	7823
Prismatic coefficient	C_p		0,555	0,780
Relative longitudinal center of buoyancy	LCB	%	-3,600	-3,600
Ratio Lwl/Bwl	L_{wl}/B_{wl}		3,794	3,157
Ratio Lwl/($V_c^{1/3}$)	$L_{wl}/V_c^{1/3}$		5,587	5,079
Middle section area	S_m		1,251	1,367
Middle section area coefficient	C_m		0,757	0,757
Waterline area	S_{wp}		22,769	22,610
Waterline area coefficient	C_{wp}		0,714	0,714
Length of keel (mean chord)	L_k	m	1,450	1,450
Wetted area of keel	S_{wk}	m ²	4,400	4,400
Length of rudder (mean chord)	L_r	m	0,500	0,500
Wetted area of rudder	S_{wr}	m ²	1,300	1,300
Wetted area of appendages	S_{app}	m ²	5,700	5,700
Bilge factor	c		1,040	1,040
Wetted area of Hull	S_{wh}	m ²	25,719	25,220
Water density	ρ	t/m ³	1025	1025
Cinematic coefficient of water viscosity	ν	m ² /s	1,00E-06	1,00E-06
Heel angle	θ	deg	13,6	13,6
Total draft	T	m	2,050	2,050
Values of Resistance at $Fr = 0,350$				
Considered types of resistance			Optimal Solution	YD-40 Data
Heel resistance coefficient at $\theta \neq 0$	C_H		0,0199	0,0216
Residuary Resistance at $Fr = 0,350$; $\theta = 0$	R_R	N	571	611
Residuary Resistance at $Fr = 0,350$; $\theta \neq 0$	R_R	N	672	710
Full Resistance at $Fr = 0,350$; $\theta = 0$	R_F	N	1148	1139
Full Resistance at $Fr = 0,350$; $\theta \neq 0$	R_F	N	1249	1238
Froude number	Fr		0,350	0,350
Velocity	V_s	knots	7,074	6,263
Velocity increasing	ΔV_s	%	12,949	

Оптимізаційна задача мінімізації опору, наведена в таблиці 2, формулюється та вирішується для варіанта яхти YD-40, подовженого на 1 метр. Результат розв'язання задачі при $Fr = 0,350$ наведено у таблиці 1. На рисунках 1, 2 цей результат розповсюджено на весь діапазон чисел Фруда, що розглядався (0,125 – 0,450)

Таблиця 2 – Незалежні змінні та обмеження завдання мінімізації опору води руху яхти

	Independent variables	Lwl ; Bwl ; Tc ; C_B ; C_M ; LCB		
No	Constraints			
1	Constraint of length	Lwl		≤ 11.0
2	Constraint of breadth	Bwl		≤ 3.168
3	Constraint of draft	Tc	≥ 0.50	$\leq 0,57$
4	Constraint of block coefficient	C_B	≥ 0.40	≤ 0.42266
5	Constraint of middle section coefficient	C_M	≥ 0.70	≤ 0.757
6	Constraint of longit. center of buoyancy	LCB	≥ -6.00	≤ -3.60
7	Constraint of displacement	Vc	7,632	

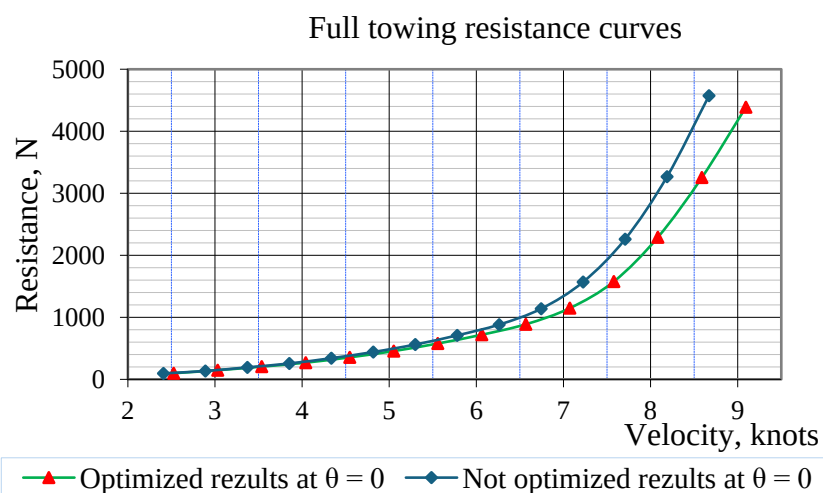


Рисунок 1 – Залежності буксирувального опору оригіналу – яхти YD-40 [3], та її варіанта – подовженого на один метр, від швидкості ходу

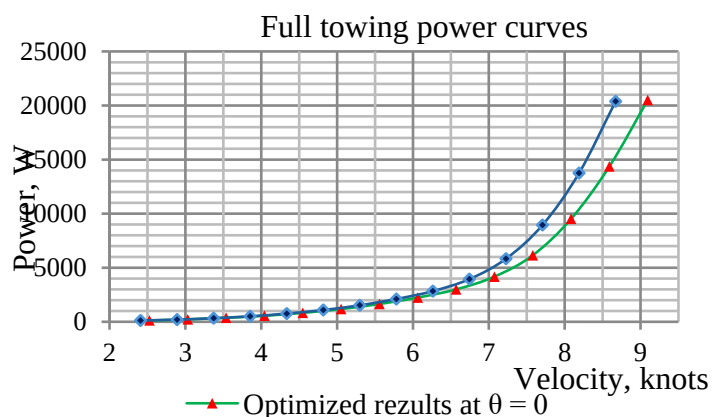


Рисунок 2 – Залежності буксирувальної потужності оригіналу – яхти YD-40 [3], та її варіанта – подовженого на один метр, від швидкості ходу

Висновки. Отримане оптимізаційне рішення задачі мінімізації опору води руху яхти показує, що збільшення довжини її проектного рішення на 10% може призвести до діапазону помірних вітрів до збільшення швидкості ходу на 13%. Це означає, що запропонована оптимізаційна задача може бути ефективним інструментом проектування яхт розглянутого класу.

REFERENCES

- [1] Nekrasov V. Conceptual Designing of Ships. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 2019.
- [2] Gerritsma J., Onnink R., Verluis A. Geomety, Resistance and Stability of the Delft Systematic Yacht hull Series. International Shipbuilding Progress, 28(328): 276 97, 1981.
- [3] Larsson L, Eliasson R. E. Principles of Yacht Design. – Bloomsbury Publishing: Adlard Coles Nautical, 2000.
- [4] Microsoft 365. Excel program.

Astakhova A. O., Nekrasov V. O.

Optimization problem of minimizing water resistance to the movement of a sailing yacht

Annotation Formulation of the towing resistance minimizing optimization problem of sailing yacht is given based on the use of regression equations constructed according to data from serial experimental studies in experimental pool. Solution of the problem was obtained by the generalized reduced gradient method. Effectiveness of using the proposed optimization problem when choosing the main elements of yacht is shown.

Keywords: sailing yacht, water resistance to the movement of the yacht, optimization problem of minimum resistance, choice of main elements

УДК 629.5.01

МАЛІ РІЧКОВІ НАДВОДНІ ДРОНИ: АНАЛІЗ ВИМОГ ТА ОСНОВНІ ЗАДАЧІ

Бондаренко О. В. к.т.н., професор¹, Ястреба О. П. к.т.н., старший викладач²

¹ Шандунський науково-технічний університет;

² Національний університет кораблебудування імені Макарова

¹ Китай, Ціндао; ² Україна, Миколаїв

¹ 0000-0002-6115-1422, ² oleksii.yastreba@nuos.edu.ua

Анотація. Проаналізовано сучасний стан розробок та основні загрози для річкових надводних без екіпажних катерів. Вказано на особливості їх експлуатації та основні місії.

Ключові слова: річковий дрон, місія, загроза, без екіпажний катер.

Актуальність. Сьогодні в Україні досить велика увага приділяється розробці морських без екіпажних надводних катерів та підводних човнів, або як їх ще називають – дронів. Усім добре відомі такі морські надводні дрони як «SeaBaby», «Magura V5», «Cossack Mamai». Серед підводних дронів в першу чергу слід назвати проекти «Marichka», «Toloka». Ведуться роботи і над іншими проектами надводних та підводних дронів.

У той же час досить велика частина лінії фронту проходить по річці Дніпро: від гирла р. Дніпро практично до м. Василівка (Запорізьська область). Це приблизно 350 км лінії фронту по водній акваторії річки Дніпро. Фактично р. Дніпро є роздільною лінією, де на правому березі знаходяться Збройні Сили України, а на лівому – ворог. У гирлі Дніпра багато островів, боротьба за володіння якими є досить запеклою, з людськими втратами з обох сторін. Плацдарм на лівому березі Дніпра в районі Кринок, який українські бійці тримають неймовірними зусиллями, потребує використання швидкісних маломірних суден.

Для виконання різних задач на р. Дніпро, як ворогом, так і ЗСУ, зараз в основному використовуються різні маломірні судна типу «Казанки», «Криму», «Прогресу», а також RIB та інші. У більшості випадків ці човни управляються військовослужбовцем «драйвером» (як їх називають серед солдат).

У той же час багато досить специфічних задач можна було б вирішувати за допомогою без екіпажних річкових надводних катерів (дронів).

Тому задача створення проектів таких дронів є досить актуальною для України в умовах сьогодення.

Основна *мета* даної роботи – аналіз вимог та основних задач річкових надводних дронів.

Основна частина. Річка Дніпро, в тій частині, де ведуться бойові дії, характеризується великою кількістю проток, озер й озерець, заводей, заболоченими ділянками, рукавами, та невеликими глибинами. Нижче від правої притоки (річки Базавлук) – долина Дніпра ширина заплави 3 – 7 км [1, 2], а середня ширина дельти Дніпра 10—12 км, місцями доходить до 17 км.

Особливістю майбутніх умов експлуатації є те, що над р. Дніпро постійно перебувають ворожі розвідувальні дрони типу «Zala», «Supercam», «Orlan», а велика смуга правобережжя вздовж річки перебуває в зоні постійного ураження ворожої артилерії, РСЗО, ударних та FPV дронів.

Більшість споруд, де можна було б заховати річковий дрон, пошкоджені і постійно моніторяться ворожими дронами. Запуск великогабаритного річкового дрону «з коліс» є проблематичним, оскільки правий берег р. Дніпро є досить крутим, а усі під'їзди (спуски) до ріки перебувають під ворожим спостереженням. До цього ще слід додати болотисте дно і це, практично, не дозволяє спускати великий дрон з трейлера чи за допомогою крана.

Виходячи з вищевказаних факторів стає зрозумілим, що для р. Дніпро треба розробити лінійку невеликих за масою і розмірами дронів так, щоб їх могли переміщати чи підіймати 2-5 військовослужбовців. На спуск і бойове розгортання дрону (приведення в бойову готовність) є досить мало часу, оскільки зі збільшенням часу розгортання збільшується ймовірність виявлення та ураження дрону та його обслуги.

Основні задачі, які потрібно виконувати за допомогою річкових дронів:

1. Доставка боєкомплекту через річку для десанту на лівому березі;
2. Евакуація поранених з плацдарму на лівому березі на правий;
3. Мінування водної акваторії для знищення ворожих плавзасобів;
4. Нанесення вогневого враження по прибережних та острівних спостережних пунктах противника;
5. Вогнева підтримка українських сил при проведенні десантних операцій;

6. Розмінування акваторії в районі бойових дій з використанням мінних тралів, або ж ціною знищення дрону;

7. Патрулювання водної акваторії в заданому районі проведення бойових операцій;

8. Буксирування маломірних плавучих засобів;

Загрози з боку противника:

1. Можливість ураження стандартними артилерійськими засобами, гарматами, мінометами;

2. Знищення або пошкодження FPV-дронами, ударними дронами типу «Ланцет», або скидами з дронів;

3. Ураження стрілецькою зброєю при підході на близькі відстані до ворожих позицій;

4. Знищення ворожими річковими дронами та іншими плавзасобами противника.

Зовсім недавно шойгу заявив про створення на Дніпрі «дніпровської річкової флотилії». Даних про катерний склад немає. Проте слід зазначити, що уже зараз ворог має дослідні зразки дронів для використання в акваторії річок та малих водойм (рис. 1).

Насамперед слід вказати на проект дрону «КиберБоат-330» [3]. Катер оснащений гібридним двигуном, який працює за рахунок заряду сонячних та акумуляторних батарей. На катері передбачена система самоповернення в початкове положення після перекидання. Завдяки тепловізору та лідару судно може використовуватися для патрулювання акваторії у будь-яких метеоумовах. На катері можна розмістити модуль з ракетами і кулеметом.

Ще є проект спеціально створеного для річок дрону, характеристики якого невідомі.

Зі сторони України для часткового вирішення деяких з цих задач волонтерами та самими військовими пропонуються кустарні рішення. Перший варіант – це застосування маленьких дешевих дронів. Друге рішення – застосування електричних тролінгових двигунів і переобладнання для цього маломірних човнів типу «Казанка», «Прогрес» тощо в без екіпажні.



Рисунок 1. – Без екіпажний надводний катер «КиберБоат-330»

Комплексне ж вирішення поставлених задач можна зробити лише розробивши спеціально створені річкові без екіпажні катери (річкові дрони). Наявні морські дрони типу «SeaBaby», «Magura V5», «Cossack Mamai» використовувати на річці Дніпро недоцільно, оскільки вони мають великі розміри та непристосовані до використання у невеликих водоймах.

Висновок. Таким чином, в Україні існує нагальна потреба в створенні річкових надводних дронів різного призначення та типорозмірів. Це дасть можливість значно покращити проведення бойових дій в районі річки Дніпро та в прибережній зоні Чорного моря. В Україні є можливості налагодити виробництво даних дронів шляхом розосередження в різних містах України та наявні підприємства, зацікавлені в налагодженні виробництва даних дронів.

REFERENCES

- [1] Кубийович, В. (1957b). Дніпро. Енциклопедія українознавства: в 2 томах. 573-574.
[2] Вікімедіа, У. П. (2024, May 1). Дельта Дніпра. <http://surl.li/sgazg>
[3] Кибербоат-330. Надводные беспилотные платформы. https://ghostpi.spbstu.ru/product/kiberboat-330#product_specs

Oleksandr Bondarenko, Oleksii Yastreba

Small river surface drones: analysis of requirements and main tasks

Annotation: The current state of development and the main threats to autonomous river surface boats are analyzed. The peculiarities of their operation and main missions are indicated.

Keywords: River Drone, Mission, Threat, Autonomous Boat

УДК 629.5.035.5

ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХОМ ОБМІРУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУШІВ ТА СТВОРЕННЯ ЇХ 3D МОДЕЛЕЙ

Король Ю.М., канд., техн., наук, доцент¹, Корнелюк О.М., ст. викладач², Малінкін
О.Ю. зав. лабораторією³, Соломаха М.В., студент⁴

^{1,3,4}Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна,
м. Миколаїв

²Херсонська державна морська академія, Україна, м. Херсон

¹yuriy.korol@nuos.edu.ua, ²olganikkornelyuk@gmail.com, ³telex21101980@gmail.com,
⁴solomon10523@gmail.com

Анотація. Наведено результати обміру гребного гвинта буксиру проекту №48/50, опис технології і програмного забезпечення для створення 3D моделей гребних гвинтів та їх зображення. Побудовані 3D моделі гребних гвинтів збережені у форматі CAD, CAE, CAM системи SolidWorks для здійснення ремонтних та/або відновлювальних робіт.

Ключові слова: гребні гвинти, обмір, технологія і засоби створення 3D моделей.

Вступ. Експлуатація суден, особливо в стисливих умовах річок, каналів, мілин і портів пов'язана з постійним ризиком пошкодження, або навіть втрати гребних гвинтів, тому на борту суден повинні зберігатися проектні документи з їх основними характеристиками і кресленнями. Нажаль при зміні власників суден відбувається часткова втрата документів із за необізнаності покупців, тому і виникає потреба в здійсненні обміру гребних гвинтів. Цю роботу за звичай виконують ремонтні організації [1,2], але тільки за наявності креслень, щоб витримати проектні параметри форми після ремонту.

Сукупність проектних параметрів, які визначають геометрію гребних гвинтів, можна розділити на дві групи – загальні та лопатеві. До загальних відносять такі параметри: D – діаметр; P – крок; D_H – діаметр маточини; t_0 – умовна товщина лопаті на осі; A_E – площа, обмежена контуром випрямленої лопаті; z_p – кількість лопатей; d_r – напрямок обертання.

Не зупиняючись на детальних визначеннях цих загальновідомих величин, відзначимо, що найчастіше використовуються безрозмірні відносні параметри [3], а саме: $\frac{P}{D}$ – крокове

відношення; $\frac{D_H}{D}$ – відносний діаметр маточини; $\frac{t_0}{D}$ – відносна товщина лопаті на осі та

$\vartheta = \frac{4z_p A_E}{\pi D^2}$ – дискове відношення.

Лопатеві параметри більш детально характеризують форму лопаті гвинта та їх у свою чергу також можна розділити на дві групи. До першої групи належать параметри, що визначають форму контуру лопаті та характеристики гвинтової поверхні. А саме: $\bar{c}_b(\bar{r})$ – закон зміни безрозмірної довжини хорди профілю вздовж радіусу; $\bar{s}_m(\bar{r})$ – закон зміни безрозмірної ординати середньої лінії лопаті вздовж радіусу; $\bar{P}_d(\bar{r})$ – закон зміни крокового відношення вздовж радіусу лопаті, $\overline{rake}(\bar{r})$ – закон зміни осьового зміщення точок профілю лопаті,

причому $s_m(r) = c_{bm} \bar{s}_m(\bar{r})$, $c_b(r) = c_{bm} \bar{c}_b(\bar{r})$, $\frac{P}{D}(r) = \frac{P_c}{D} \bar{P}_d(\bar{r})$, $\Delta\xi = \frac{D}{2} \overline{rake}(\bar{r})$, де $\bar{r} = \frac{2r}{D}$, r –

поточний радіус, c_{bm} – максимальна ширина (довжина хорди) лопаті, $\frac{P_c}{D}$ – конструктивне

крокове відношення, $\Delta\xi$ – осьове зміщення точок профілю лопаті. До другої групи відносяться параметри, що визначають форму профілю лопаті. Кількість, сутність та значення цих параметрів залежать від типу профілю. Наприклад, для 4-х цифрового профілю НАСА маємо 3 параметри: $\bar{y}_{cm}$ – максимальне відхилення середньої лінії від хорди; $\bar{x}_{cm}$ – положення місця максимального відхилення середньої лінії; $\bar{t}_m$ – товщина профілю (всі параметри в частках від хорди профілю c_b). На відміну від стандартних параметри профілів для гребних гвинтів можуть приймати не тільки фіксовані, але і довільні значення. Ці значення можуть бути як постійними, так і змінними вздовж радіусу лопаті. Тоді до вже перерахованих необхідно додати наступні залежності: $\bar{y}_{cm}(\bar{r})$, $\bar{x}_{cm}(\bar{r})$, $\bar{t}_m(\bar{r})$, $\bar{x}_{tm}(\bar{r})$ та/або інші, характерні для профілів НАСА, ЦАГІ, Gö та ін. Така велика кількість параметрів виключає ефективну побудову 3D моделей гребних гвинтів у “ручному” режимі і стала причиною розробки мульти-параметричного 3D генератора гребних гвинтів GSP3D [3] для CAD системи SolidWorks.

Нажаль, відсутність проектної документації на рушії буксиру Halmatic Nelson № 48/50 не дає змогу побудувати 3D моделі рушіїв для можливості їх виготовлення на сучасних підприємствах. Втім така нагальна потреба існує, бо можливість пошкодження гребних гвинтів під час експлуатації буксиру на обмеженому річковому фарватері має велику вірогідність. Тому і виникла потреба визначення загальних, лопатевих і профільних характеристик шляхом вимірювання, на основі яких в рамках науково-дослідної роботи [4] повинні бути створені дві 3D моделі рушіїв правого і лівого напрямку обертання.

Метою роботи є побудова по результатах вимірювання 3D моделей гребних гвинтів лівого та правого напрямків обертання в CAD модулі системи SolidWorks.

Основна частина.

1 Визначення геометричних характеристик рушіїв буксиру

1.1 Вимірювання геометричних характеристик лопаті гребного гвинта

Вимірювання лопатевих і профільних геометричних характеристик гребного гвинта здійснюється за допомогою спеціального пристосування, зображеного на рис.1.1. Воно складається з вертикального валу 1, який за допомогою муфти 2 з'єднується з горизонтальним фіксатором 3 в якому посвердлено з шагом 50 мм 7 вертикальних отворів для вимірювального щупу 5. Це пристосування готується для вимірювання наступним чином.

Вал 1 кріпиться перпендикулярно до столу 6 за допомогою зварки, потім на вал одягається підкладка 7 яка запобігає торканню лопатей до поверхні робочого столу. Далі на вал одягається нижня фіксуєча шайба, що щільно входить в нижній отвір маточини 9, потім гребний гвинт і верхня фіксуєча шайба 8. На верхній кінець вертикального валу одягається і фіксується на ньому муфта 2 з'єднана з фіксатором 3, який вільний до обертання навкруги валу 1.

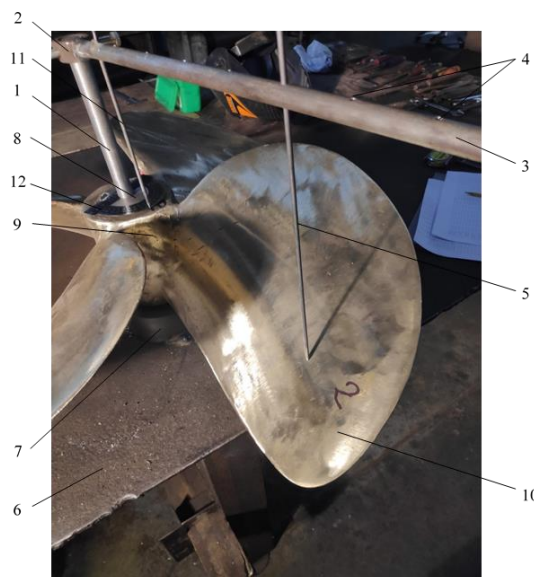


Рисунок 1.1 – Пристосування для вимірювання геометричних характеристик лопаті гребного гвинта

Для початку вимірювання щуп 5 встромляється в обраний отвір, який відповідає потрібному радіусу, а фіксатор 3 повертається таким чином, щоб кінець щупу 5 торкнувся нижньої точки лопаті. Кут зафіксованої точки вимірюється за допомогою транспорту 12 і стрілки 11. Також для цієї точки вимірюється довжина висунування щупу 5. Далі з деяким

кроком по куту розташування фіксатора здійснюється вимірювання довжини висування щупу. Після закінчення вимірювання координат точок цієї поверхні лопаті, аналогічно здійснюється вимірювання на протилежній поверхні цієї ж лопаті. Результати вимірювання наведено в табл.1.1 – 1.2.

Таблиця 1.1 – Результати вимірювання координат точок нагнітаючої поверхні лопаті

r=80	φ°	123	120	110	100	90	80	70	57	-	-
	z	330	296	272	242	222	205	191	177	-	-
130	φ°	123	110	100	90	80	70	60	50	44	-
	z	338	299	266	245	220	198	182	166	155	-
180	φ°	123	120	110	100	90	80	70	60	50	40
	z	346	335	304	274	250	223	201	185	164	149
230	φ°	123	120	110	100	90	80	70	60	50	42
	z	353	350	310	282	261	235	209	193	169	151
280	φ°	123	120	110	100	90	80	70	60	50	48
	z	353	346	316	285	264	239	218	195	173	167
330	φ°	123	120	110	100	90	80	70	64	-	-
	z	354	345	318	292	264	240	217	199	-	-
380	φ°	115	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	z	340	-	-	-	-	-	-	-	-	-
r=80	φ°	123	120	110	100	90	80	70	57	-	-
	z	330	296	272	242	222	205	191	177	-	-
130	φ°	123	110	100	90	80	70	60	50	44	-
	z	338	299	266	245	220	198	182	166	155	-
180	φ°	123	120	110	100	90	80	70	60	50	40
	z	346	335	304	274	250	223	201	185	164	149
230	φ°	123	120	110	100	90	80	70	60	50	42
	z	353	350	310	282	261	235	209	193	169	151
280	φ°	123	120	110	100	90	80	70	60	50	48
	z	353	346	316	285	264	239	218	195	173	167
330	φ°	123	120	110	100	90	80	70	64	-	-
	z	354	345	318	292	264	240	217	199	-	-
380	φ°	115	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	z	340	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 1.2 – Результати вимірювання координат точок засмоктуючої поверхні лопаті

r=80	φ°	103	90	80	70	60	50	35	-	-	-
	z	338	314	286	257	234	210	184	-	-	-
130	φ°	111	100	90	80	70	60	50	40	35	-
	z	357	329	306	281	255	235	212	187	178	-
180	φ°	120	110	100	90	80	70	60	50	40	35
	z	368	342	318	296	274	253	232	207	180	174
230	φ°	116	110	100	90	80	70	60	50	40	35
	z	363	349	327	301	279	254	232	207	183	170
280	φ°	110	100	90	80	70	60	50	40	35	-
	z	354	331	306	281	257	231	206	182	168	-
330	φ°	99	90	80	70	60	50	40	35	-	-
	z	325	303	279	254	229	206	181	169	-	-
380	φ°	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	z	176	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Побудова контуру лопаті і середньої лінії (див. рис. 1.2) здійснена по даним таблиць 1.1-1.2 за допомогою формул (1.1). Координати точок контуру і середньої лінії представлені в табл. 1.3.

$$\begin{aligned}
 \varphi_{cp} &= \varphi_{\min} + \frac{\Delta\varphi}{2}; \\
 x_{\max} &= r \cos \varphi_{\max}; \\
 y_{\max} &= r \sin \varphi_{\max}; \\
 x_{cp} &= r \cos \varphi_{cp}; \\
 y_{cp} &= r \sin \varphi_{cp}; \\
 x_{\min} &= r \cos \varphi_{\min}; \\
 y_{\min} &= r \sin \varphi_{\min}.
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

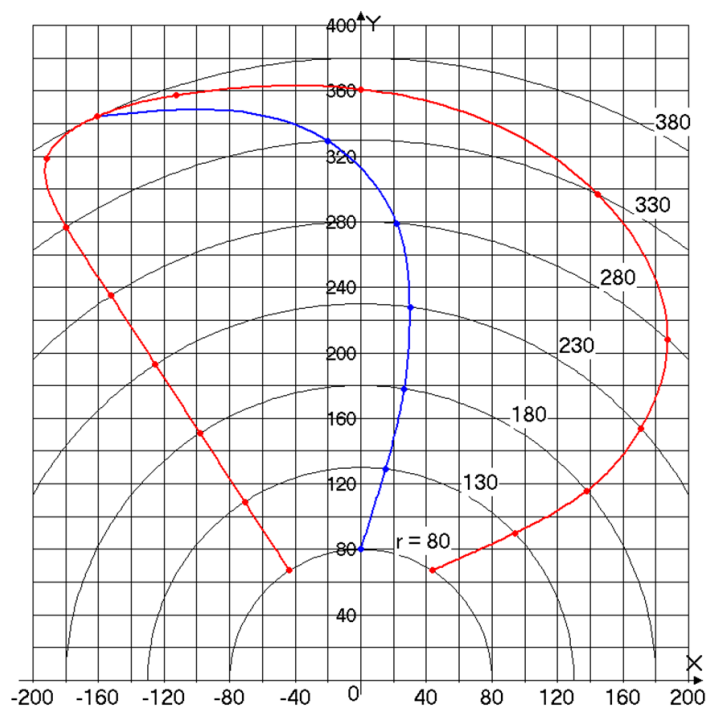
Таблиця 1.3 – Координати точок контуру і середньої лінії лопаті

r	φ_{cp}	$x_{\max}$	$y_{\max}$	x_{cp}	y_{cp}	$x_{\min}$	$y_{\min}$
80	90	-45.9	65.5	0	80.0	43.6	67.1
130	83.5	-63.0	113.7	15.05	129.1	99.6	83.6
180	81.5	-103.2	147.4	26.6	178.0	137.9	115.7
230	82.5	-125.3	192.9	30.0	228.0	170.9	153.9
280	85.5	-144.2	240.0	22.0	279.1	187.3	208.1
330	93.5	-179.7	276.8	-20.1	329.4	144.7	296.7
380	115	-160.6	344.4	-160.6	344.4	-160.6	344.4

1.2 Визначення основних геометричних характеристик лопаті гребного гвинта

1.2.1 Визначення кроку, довжини розгортки профілю лопаті і середньої лінії

Визначення кроку і довжини розгортки профілю лопаті здійснюється по формулах 1.2



$$\begin{aligned}
 \Delta\varphi(r) &= \varphi_{\max}(r) - \varphi_{\min}(r); \\
 B_x(r) &= \frac{\pi\Delta\varphi(r)}{180} r; \\
 B_z(r) &= z_{\max} - z_{\min}; \\
 \tan \psi(r) &= \frac{B_z(r)}{B_x(r)}; \\
 P(r) &= 2\pi r \tan \psi(r); \\
 B(r) &= \sqrt{B_x^2(r) + B_z^2(r)},
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

Рисунок 1.2 – Контур і середня лінія лопаті

де φ - кут вимірювання точок профілю, B_x - проекція довжини профілю на площину обертання, B_z - проекція довжини профілю на вісь, що паралельна осі обертання; ψ - кроковий кут; P - крок, B - довжина профілю лопаті на радіусі r ; $z_{\max}$, $z_{\min}$ - аплікати крайніх точок профілю. Результати розрахунків в безрозмірному вигляді наведено на рис. 1.3-1.4.

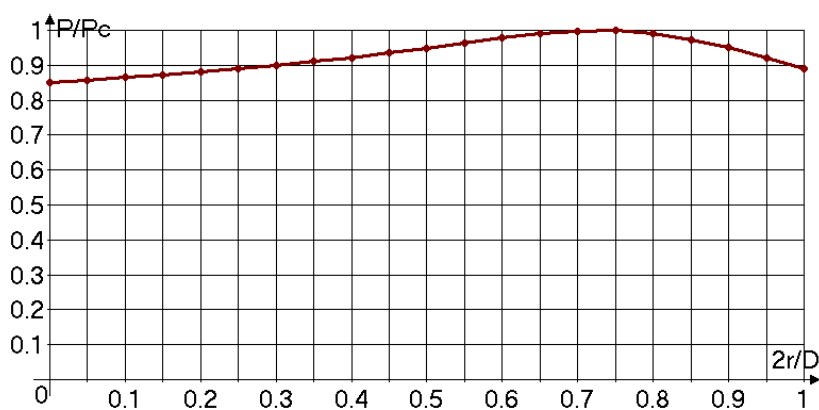


Рисунок 1.3 – Залежність $\frac{B}{B_m}(\bar{r})$

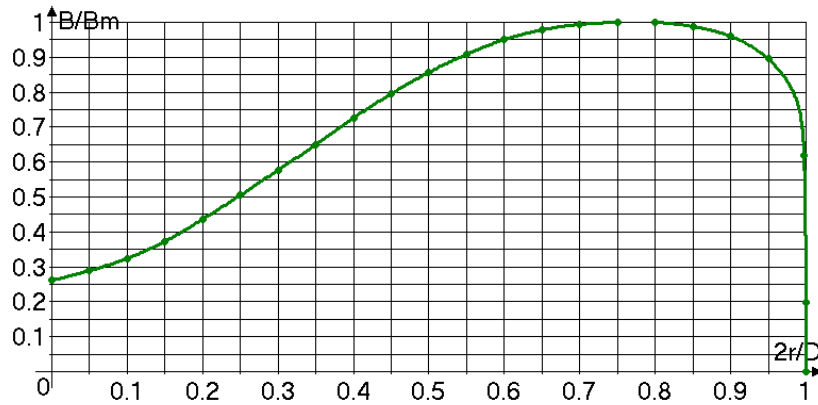


Рисунок 1.4 – Залежність $B / B_m(\bar{r})$

Для визначення залежності $\bar{s}_m(\bar{r})$ будемо використовувати дані попередніх таблиць і формул 1.3. Результати розрахунків наведено на рис. 1.5.

$$\begin{aligned}\psi &= \tan^{-1} \left(\frac{P(r)}{2\pi r} \right); \\ s_m &= r(90 - \varphi_{cp}) / \cos \psi; \\ \bar{s}_m &= s_m / B_m.\end{aligned}\tag{1.3}$$

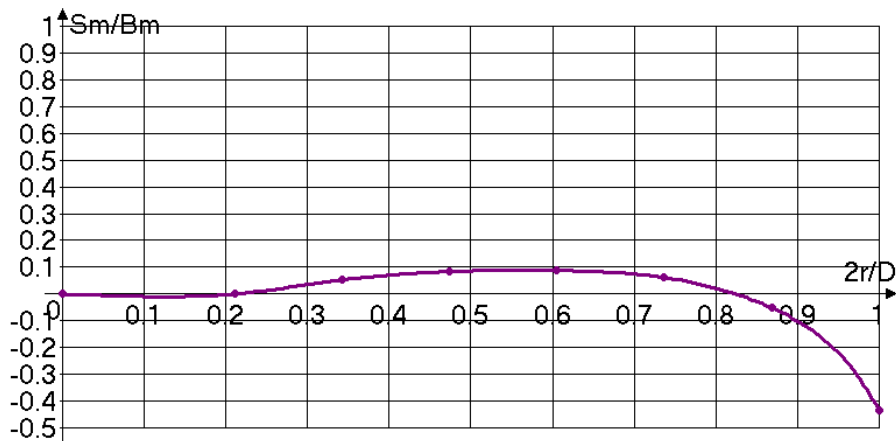
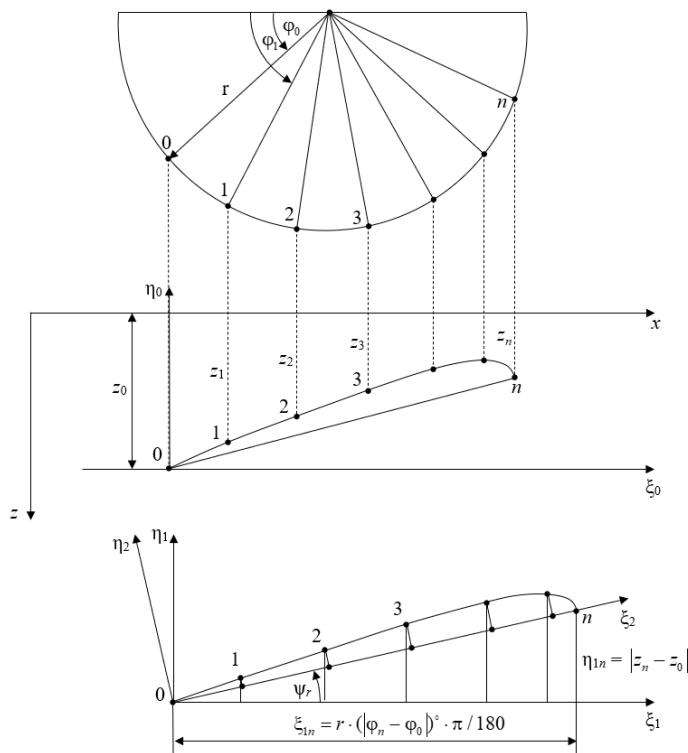


Рисунок 1.5 – Залежність $\bar{s}_m(\bar{r})$

1.2.2 Визначення характеристик профільних перетинів лопаті

Для побудови профільних перетинів розглянемо послідовність вимірювання і побудову розгортки профільної кривої за схемою, що наведена на рис.1.6 та формулами 1.4.



$$\begin{aligned}\xi_{1i} &= r \cdot (|\varphi_i - \varphi_0|)^\circ \cdot \pi / 180; \\ \eta_{1i} &= |z_i - z_0|; \\ \tan \psi_r &= \frac{\eta_{1n}}{\xi_{1n}}; \psi_r = \tan^{-1} \frac{\eta_{1n}}{\xi_{1n}}; \\ \Delta \eta_{1i} &= \eta_{1i} - \xi_{1i} \tan \psi_r; \\ \xi_{2i} &= \frac{\xi_{1i}}{\cos \psi_r} + \Delta \eta_{1i} \sin \psi_r; \\ \eta_{2i} &= \Delta \eta_{1i} \cos \psi_r; \\ B_m &= \xi_{2n}; \bar{\eta}_{2i} = \frac{\eta_{2i}}{B_m} \\ \bar{\xi}_{2i} &= \frac{\xi_{2i}}{B_m}; \bar{\xi}_{2i} = 1 - \frac{\xi_{2i}}{B_m}, \text{ для з-поверхні.}\end{aligned}\quad (1.4)$$

Рисунок 1.6 – Системи координат і формули для побудови профільного перетину по результатах вимірювання

На рис. 1.7 наведені результати вимірювання і побудови безрозмірного профілю лопаті на радіусі $r = 80$ мм. На цьому рисунку також наведено профіль NACA4D з наступними параметрами $\bar{y}_{cm} = 0.06$, $\bar{x}_{cm} = 0.55$, $\bar{t}_m = 0.0848$, що визначені шляхом послідовних наближень за допомогою авторської програми FG2017. Виконавши цю роботу для всіх профільних перетинів ми отримуємо змогу побудувати залежності профільних параметрів від безрозмірного радіусу, апроксимувати їх і ввести до бази даних програми GSP3D.

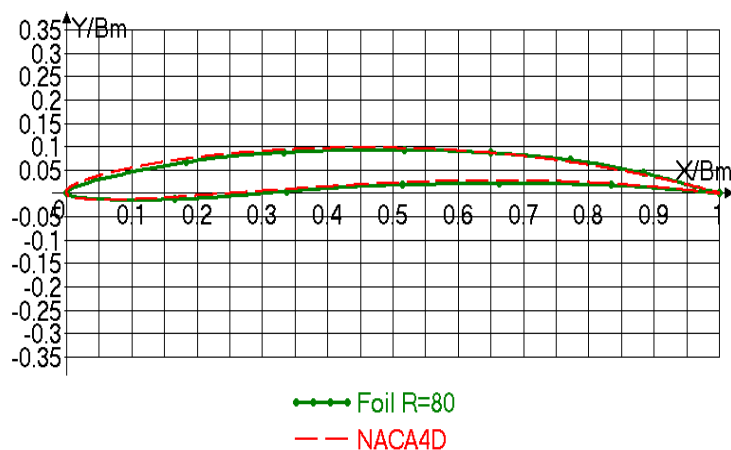


Рисунок 1.7 – Форма профілю лопаті при $r = 80$ мм

Далі згідно з інструкцією до програми GSP3D формується файл початкових даних з загальними характеристиками гребних гвинтів і після запуску вона генерує тривимірні криві лопаті і профілів. Далі засобами CAD SolidWorks будуються 3D моделі гвинтів лівого і правого напрямку обертання у вигляді, що наведено на рис. 1.8.

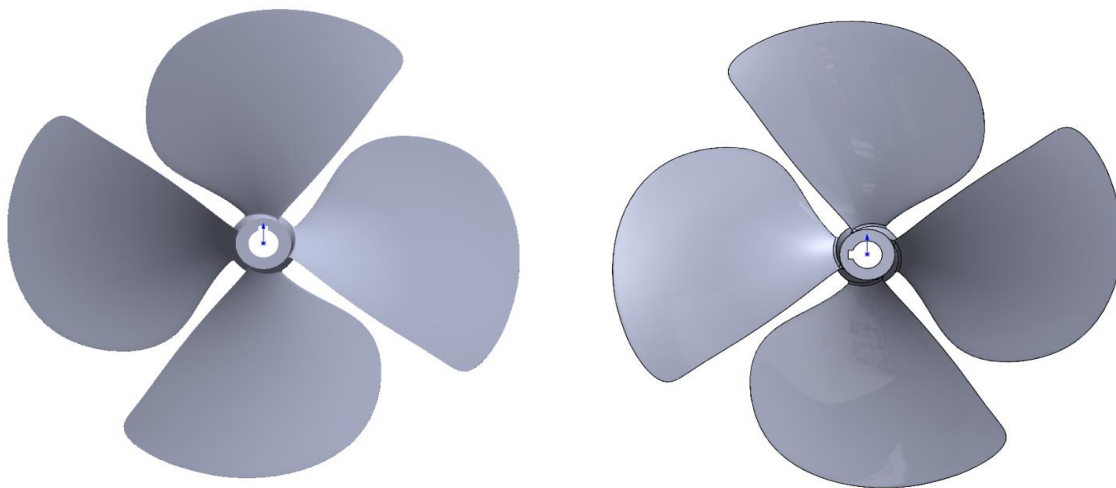


Рисунок 1.8 – Тривимірні моделі гребних гвинтів лівого та правого напрямку обертання

Висновки:

1. Створена технологія і пристосування для здійснення вимірювання геометричних характеристик гребних гвинтів буксиру проекту 48/50.
2. Здійснено обмір лопатевих і профільних характеристик гребного гвинта буксиру 48/50.
3. В результаті обробки даних вимірювання побудовано залежності безрозмірної хорди профілю лопаті від радіусу $\frac{B}{B_m}(\bar{r})$, безрозмірного крокового відношення $\frac{P}{P_c}(\bar{r})$ та безрозмірних ординат середньої лінії $\bar{s}_m(\bar{r})$.
4. Визначені значення конструктивного кроку $P_c = 1,205$, дискового відношення $\vartheta = 0,923$, відносного діаметра маточини $\frac{d_H}{D} = 0,15$ та відносна товщина лопаті на осі $\frac{t_0}{D} = 0,03$.
5. Визначені геометричні характеристики профільних перетинів і їх залежності від радіусу перетинів.
6. Похибки вимірювання суттєво вплинули на кількість наближень по створюванню гладкої поверхні лопатей, що контролювалася будуванням для кожного варіанта 3D моделі в середовищі SolidWorks.
7. Доведено, що відсутність технічної документації не є перешкодою до можливості ремонту і модернізації суднових гребних гвинтів.
8. Тривимірні моделі побудовані в CAD SolidWorks 2021 sp.3, додаються замовнику в електронному вигляді і є базою для виготовлення гребних гвинтів за сучасними технологіями та обладнанням.

REFERENCES

- [1] Інтернет посилання «Ремонт гребних гвинтів»:
 (N.d.). <https://dnipro-river.net/ua/p288357072-remont-grebnyh-vintov.html>
 (N.d.-b). <https://hsp.com.ua/uk/poslugi/remont-pereobladnannja-izoljacijni-roboti/grebni-gvinti>
 (N.d.-a). <https://izi.ua/uk/p-23178956-remont-vintov-lodochnykh-motorov>

- [2] Ліпенков, І. В. (2019). Аналіз сучасних методів ремонту, шліфування і балансування гребного гвинта для великотоннажних суден. Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія». Молодий Вчений, 68(4), 16–19.
- [3] Король, Ю. М. (Ed.). (2015). Комплекс CAD CAE CAM систем для осьових лопатевих машин. (Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, Vols. 218–285). НУК.
- [4] Король, Ю. М., & Малінкін, О. Ю. (2024). Визначення шляхом обміру геометричних характеристик рушіїв та створення їх 3D моделей для буксиру HALMATIC NELSON проекту No48/50 (Звіт з НДР № 2329). НУК. Korol Yu.M., Kornelyuk O.M., Malinkin O.Y., Solomakha M.V.

Korol Yu.M., Korneliuk O.M., Malinkin O.Yu., Solomakha M.V.

Determination by measuring the geometric characteristics of engines and creating their 3d models

Annotation. The results of measuring the propeller of tugboat project #48/50, a description of the technology and software for creating 3D models of propellers and their images are given. Built 3D models of propellers are saved in CAD, CAE, CAM format of the SolidWorks system for repair and/or restoration work.

Keywords: propellers, measurement, technology and means of creating 3D models.

Секція № 1. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНЖЕНЕРІЇ

SECTION № 1. ENGINEERING INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 629.5.016

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДНОШЕНЬ L/B ТА В/Т НА ОПІР СУДНА ПРИ ПОСТІЙНІЙ ВОДОТОННАЖНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДУЛЯ FLOW SIMULATION СИСТЕМИ SOLID WORKS

Король Ю.М., канд., техн., наук, доцент¹, Василько М., студент², Зінкевич В., студент³, Захлипа В., студент⁴, Бадюл Ю., студент⁵, Крайнік Д., студент⁶, Максименко Є., студентка⁷, Кльосов К., студент⁸, Рябов Д., студент⁹, Панков С., студент¹⁰, Вашкевич В., студент¹¹, Вихопень М., студент¹², Безушко Д., студент¹³
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, м. Миколаїв

yuriy.korol@nuos.edu.ua¹, vasulko007@gmail.com², vladimirkammler@gmail.com³,
zakhlypavasyul@gmail.com⁴, yuiribadiul@gmail.com⁵, daniel.krainss@gmail.com⁶,
lmaksymenko09@gmail.com⁷, klesov84@gmail.com⁸, frankil12daniil@gmail.com⁹,
sergeypnkv@gmail.com¹⁰, vashkvlad@ukr.net¹¹, whitenick727@gmail.com¹²,
meison0117@gmail.com¹³

Анотація. Наведено результати колективного дослідження впливу відношень L/B та В/Т на опір судна при постійній водотоннажності за допомогою модуля Flow Simulation системи Solid Works. Результати дослідження можуть бути використані для обґрунтованого вибору проектного варіанту судна.

Ключові слова: дослідження, вплив відношень L/B та B/T на опір судна, постійна водотоннажність, вибір проектного варіанту судна.

Вступ. Зазвичай вибір головних розмірів і форми обводів виконується на початкових стадіях проектування суден, зокрема під час ескізного проектування [1]. Більшість проектних організацій залишає за собою право коригування початкового теоретичного креслення з метою зменшення опору руху судна, для чого розробляється декілька варіантів обводів, а їх верифікація виконується шляхом експериментальних досліджень. Довгий час основою таких досліджень був модельний фізичний експеримент у науково-дослідних басейнах, який був дуже трудомістким, займав багато часу і коштів, тому кількість верифікаційних варіантів не перевищувала 2-3. З появою потужних комп'ютерів і надійних сертифікованих сучасних CFD програмних комплексів чисельний експеримент почав витісняти фізичний і не тільки за рахунок вартості досліджень, а й тому, що він може здійснюватися для натурних об'єктів уникаючи зайвих похибок перерахунку з моделі на натуру. Технологія побудови тривимірних моделей корпусів суден [2] дозволяє шляхом оцифрування теоретичних креслень за допомогою програми Get Data Graph Digitizer [3] створювати базу даних безрозмірних 3D кривих шпангоутів, ватерліній та діаметрального батоксу для конкретних суден. Ці криві масштабуються/трансформуються в формат кривих системи Solid Works по яких в цій системі будується 3D модель, що використовується для розрахунків опору судна.

Метою роботи є визначання впливу відношень L/B та B/T на опір судна при постійній водотоннажності за допомогою модуля Flow Simulation системи Solid Works.

Основна частина. В якості прикладу розглянемо теоретичне креслення контейнеровозу, після оцифрування якого отримані зображені на рис. 1-4 безрозмірні криві.

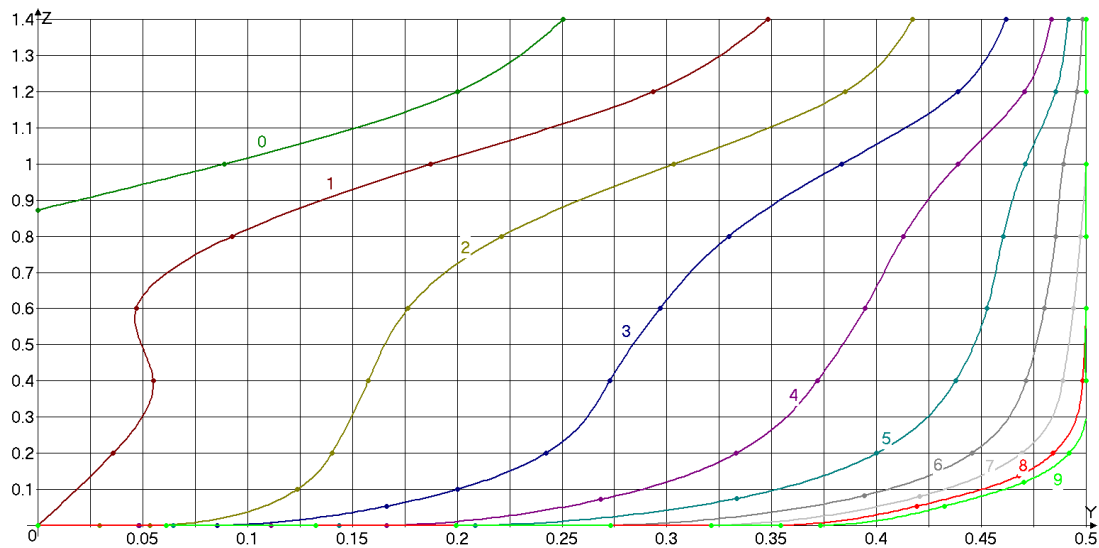


Рисунок 1 – Зображення кормових шпангоутів

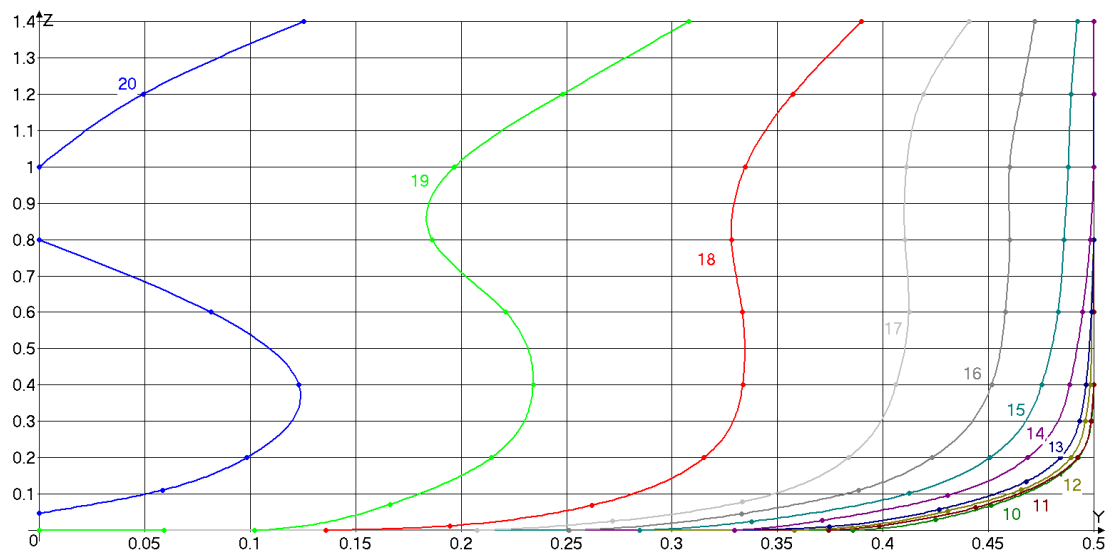


Рисунок 2 – Зображення носових шпангоутів

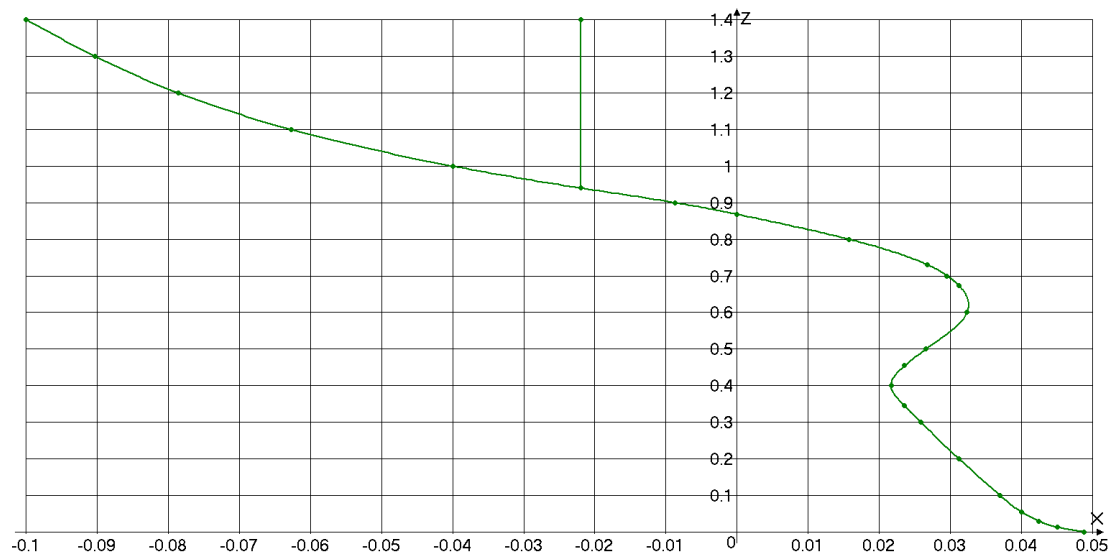


Рисунок 3 – Зображення ахтерштевню

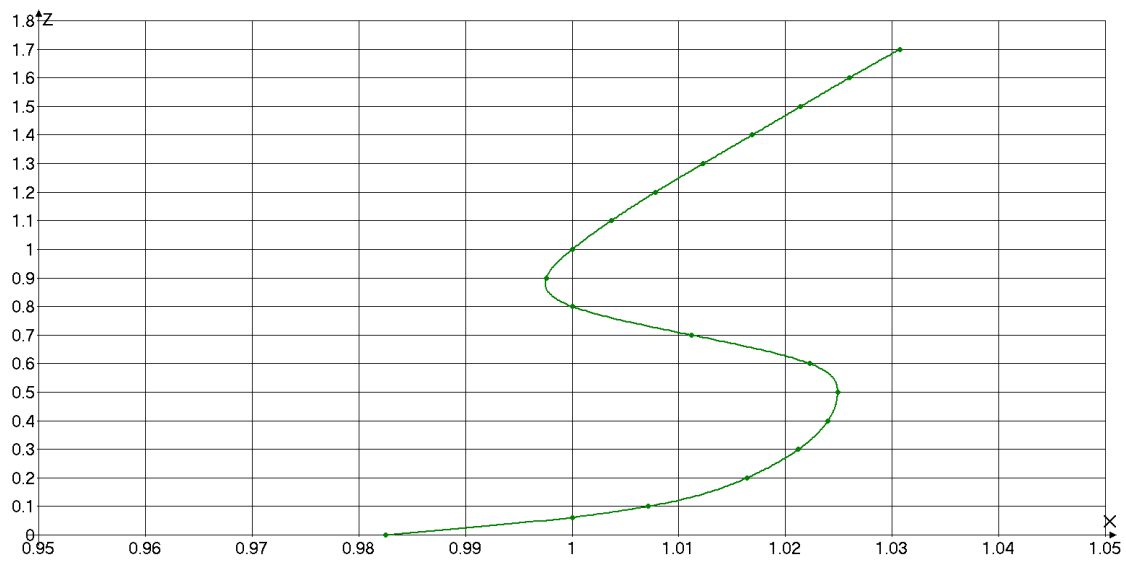


Рисунок 4 – Зображення форштевню

Базовий варіант контейнеровозу має наступні загальні характеристики:

№		L	B	T	L/B	B/T
5112м	1	133.000	23.600	8.600	5.636	2.744
	2	135.000	23.250	8.600	5.745	2.703
	3	140.000	22.420	8.600	6.244	2.607
	4	145.000	21.647	8.600	6.698	2.517
	5	150.000	20.925	8.600	7.168	2.433
	6	155.000	20.250	8.600	7.654	2.355
	7	133.000	22.300	9.101	5.964	2.450
	8	135.000	22.300	8.966	6.054	2.487
5113м	9	140.000	22.300	8.646	6.278	2.579
	10	145.000	22.300	8.348	6.502	2.671
	11	150.000	22.300	8.070	6.726	2.763
	12	155.000	22.300	7.809	6.951	2.856

$$L = 133.00 \text{ м};$$

$$B = 23.60 \text{ м};$$

$$T = 8.60 \text{ м};$$

$$V = 20437.91 \text{ м}^3;$$

$$\frac{L}{B} = 5.636; \frac{B}{T} = 2.744; C_B = 0.757.$$

При трансформації головних розмірів судна будемо вважати, що $C_B = \text{const}$ і $V = \text{const}$, тобто і $V_{LBT} = 26993.68 \text{ м}^3 = \text{const}$. При фіксації одного з розмірів і зміні другого неминуче виникає потреба в зміні третього. Наприклад: $L_1 = L$; $B = B_1$ то $T_1 = \frac{V_{LBT}}{LB_1}$

, що приводить до зміни відношень $\frac{L}{B}$ і $\frac{B}{T}$. Таким чином з'являється можливість генерації нової 3D моделі (за допомогою програми BLAT3D_01) при відкоригованих початкових даних в файлі blatdata.txt. Після чисельного визначення опору в модулі Flow Simulation з'являється можливість оцінки впливу відношень $\frac{L}{B}$ і $\frac{B}{T}$ на опір судна при постійній водотоннажності.

Варіанти завдань наведено в таблиці 1.

Таким чином кожен студент повинен обрати свій варіант головних розмірів (номер варіанту співпадає з номером студента по списку в групі) і занести їх значення в файл початкових даних blatdata.txt як наведено для прикладу на рис.5 для 1 варіанту.

Програма BLAT3D_01, файл blatdata.txt та інші файли з даними розташовані в папці P1. Після запуску програми BLAT3D_01 вона генерує файли для побудови 3D частин діаметрального батоксу (b00-1.sldcrv - b00-4.sldcrv), шпангоутів (s00-00-1.sldcrv - s00-20-2.sldcrv) і ватерліній (w02-1.cldcrv – w14-1.sldcrv). По цих даних в CAD SolidWorks будується 3D модель корпусу (див. рис. 6), яка використовується для розрахунків опору в CAE модулі Flow Simulation системи SolidWorks. Розрахунки виконуються для швидкостей 2, 4, 6, і 8 м/с.

Таблиця 1 – Варіанти головних розмірів

Довжина судна розрахункова	(м)=133.0
Ширина судна розрахункова	(м)=23.6
Осадка судна розрахункова	(м)=8.6
Зміщення вздовж поздовжньої осі	(м)=0.0
Зміщення вздовж поперечної осі	(м)=0.0
Зміщення вздовж вертикальної осі	(м)=0.0
Кут крену	(град)=0.0
Кут диференту	(град)=0.0
Кут нищпорення	(град)=0.0

Рисунок 5 – Зміст файлу blatdata.txt для варіанту

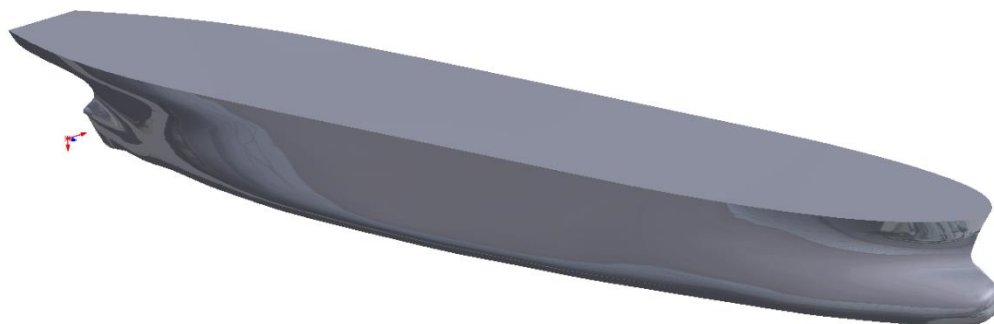


Рисунок 6 – 3D модель контейнеровоза для варіанту 1

Далі в модулі Flow Simulation будується проект і виконується розрахунок опору, результати якого (для швидкості 8 м/с) мають вигляд, зображений на рис. 7 - 8. Враховуючи обмежену можливість студентів виконувати розрахунки на потужних комп'ютерах для студентів обирається мінімально-допустима кількість клітинок розрахункової сітки -230-250 тисяч клітинок. Звичайно, що результати такого розрахунку будуть мати наближений якісний характер, але не заважають опануванню навичками створення проекту и виконання розрахунків. За допомогою потужного комп'ютера Навчально-наукового центру Гідромеханіка для судна варіанту №1 виконано розрахунок опору для швидкості 8 м/с більшої кількості клітинок розрахункової сітки, результати якого наведені в табл. 2.

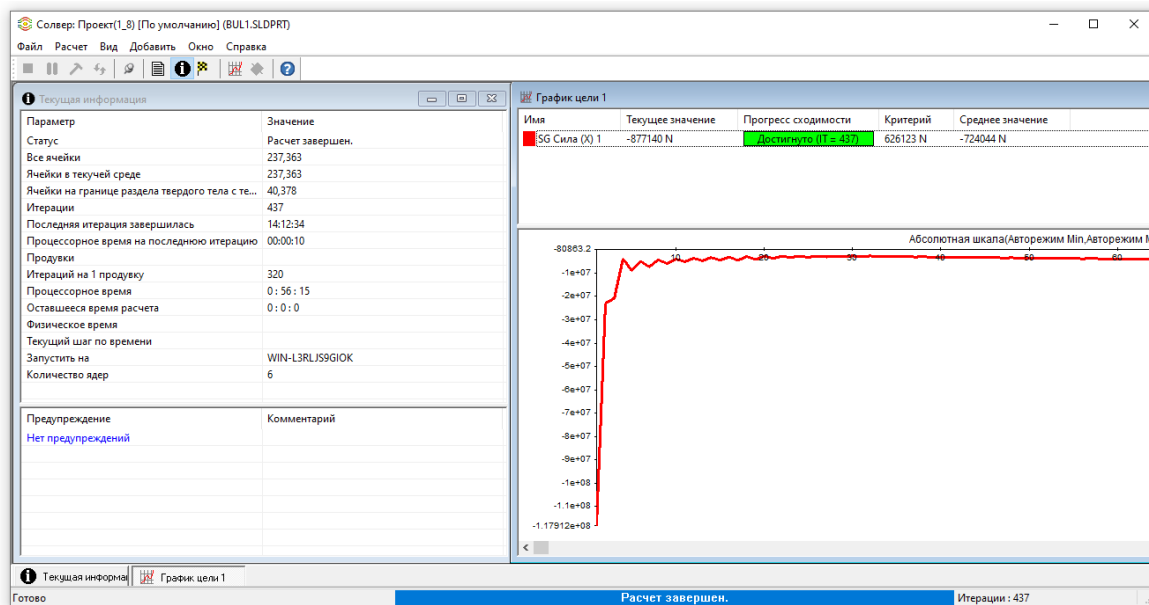


Рисунок 7 – Результати розрахунку опору судна варіанту №1 для швидкості 8 м/с при 237363 клітинах розрахункової сітки

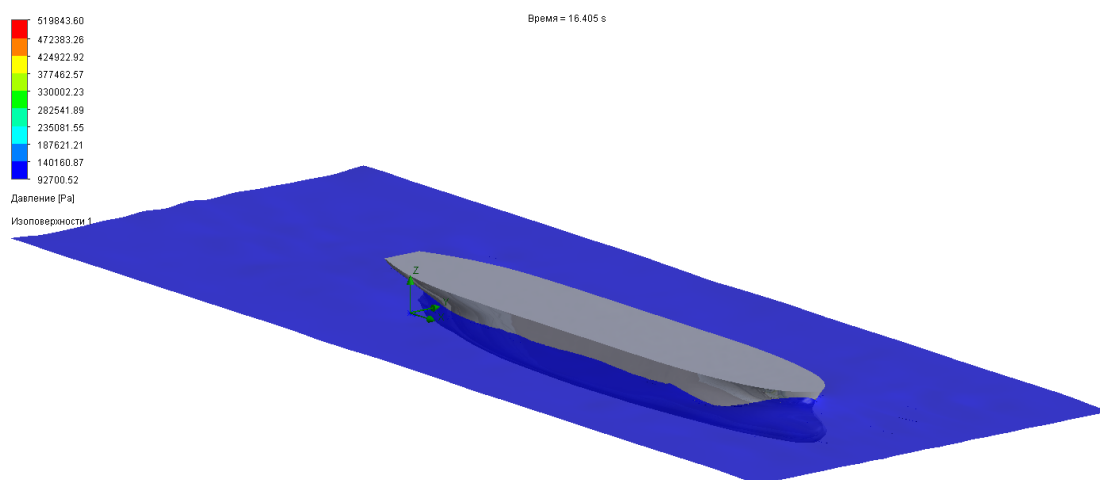


Рисунок 8 – Картина хвиле утворення при русі судна варіанту №1 для швидкості 8 м/с при 237363 клітинах розрахункової сітки

Таблиця 2 – Результати впливу кількості клітинок розрахункової сітки на результат розрахунку опору судна варіанту № 1 для швидкості 8 м/с

Кількість клітинок	237363	461512	741398
Опір (кН)	724.04	527.91	506.39

Добре видно, що зростання кількості клітинок швидко поліпшує збіжність результатів розрахунку, але потребує більшої потужності комп'ютерної техніки та часу виконання розрахунків.

На рис. 9 наведено результати оцінки впливу відношення L/B на опір при кількості клітинок 420000 – 485000. Очевидно, що для зменшення розбіжностей потрібно збільшення клітин розрахункової сітки. Очевидно, що збільшення відношення L/B викликає суттєве

зменшення опору при постійній водотоннажності, що не суперечить відомим якісним результатам фізичного експерименту.

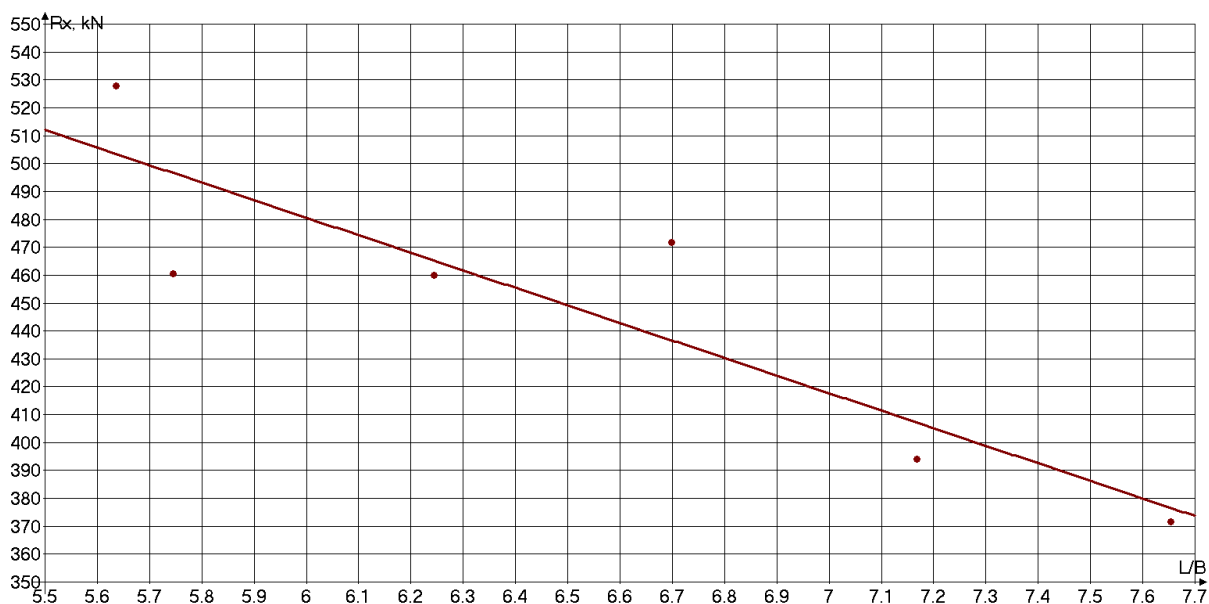


Рисунок 9 – Вплив відношення L/B на величину опору для варіантів 1-6

Висновок. Розроблена технологія оцінки впливу відношень головних розмірів суден на їх опір може використовуватися не тільки студентами для виконання науково-дослідних навчальних проектів, а й при оцінці варіантів проекту суден проектно-конструкторськими бюро.

REFERENCES

- [1] Вашедченко. (1985). *Автоматизированное проектирование судов* (Vol. 163). Судостроение.
- [2] Король, Корнелюк, & Соломаха. (2023). Формування бази теоретичних креслень суден різних типів в безрозмірному вигляді. *Сучасні Технології Проектування, Побудови, Експлуатації І Ремонту Суден, Морських Технічних Засобів І Інженерних Споруд*, 12–19.
- [3] GetData Graph Digitizer. *Get the software safely and easily*. (n.d.). Software Informer. https://getdata-graph-digitizer.software.informer.com/#google_vignette

Korol Yu.M., Vasilko M, Zinkevich V., Zachlypa V., Badiul Yu., Krainic D., Maksimenko E., Kliosov K., Riabov D., Pankov S., Vashkevich V., Vychopen M., Bezushko D.

Study of the influence of l/b and b/t ratios on vessel resistance at constant water tension using the Flow Simulation module of the SOLID WORKS SYSTEM

Annotation. The results of a collective study of the influence of the L/B and B/T ratios on the vessel's resistance at constant displacement using the Flow Simulation module of the Solid Works system are presented. The results of the study can be used for a justified choice of the design variant of the vessel.

Key words: research, influence of L/B and B/T ratios on vessel resistance, constant tonnage, choice of vessel design option.

Секція № 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

SECTION № 2. DESIGN AND OPERATION OF SHIPS, MARINE FACILITIES AND ENGINEERING STRUCTURES

УДК 629.5.018.71

ГІБРИДНА ГІДРОДИНАМІЧНА СХЕМА ШВИДКІСНОГО СУДНА

Мороз В.В. канд. техн. наук, стар. наук. співроб.¹, Кочін В.О канд. техн. наук²

Інститут гідромеханіки НАН України;

Україна, Київ

¹ MorozVV@nas.gov.ua, ² KochinVO@nas.gov.ua

Анотація. Наведено результати формування гідридної гідродинамічної схеми швидкісного судна на основі форми корпусу зі зворотною кілюватістю, гідролиж та форми корпусу швидкісного катера типу «морський ніж». Працездатність отриманої гідридної гідродинамічної схеми перевірено шляхом проведення буксировочних модельних випробувань в дослідному басейні. Показано, що отримана гідридна гідродинамічна схема має низький гідродинамічний опір в широкому діапазоні швидкостей. Отримані результати можуть бути використані при оптимізації гідридної гідродинамічної схеми судна на початкових стадіях його проектування.

Ключові слова: гідридна гідродинамічна схема судна; дослідний басейн; буксировочні випробування; гідродинамічний опір.

Нині активно розвиваються малогабаритні безпілотні швидкісні судна. Як правило, умови їх застосування передбачають рух з помірною швидкістю, короточасний рух з максимальною великою швидкістю, перебування в режимі очікування (на стопі). Таким чином, з точки зору гідродинаміки сучасне малогабаритне безпілотне швидкісне судно є багато режимним судном, яке здатне рухатися в водотоннажному, перехідному та глісуючому режимах. Як відомо [1], для кожного з цих режимів руху в практиці суднобудування сформувалася уява щодо оптимальної форми корпусу судна. Нажаль, для малогабаритного безпілотного швидкісного судна неможливо передбачити який із цих режимів є визначальним при виборі форми його корпусу. Тому, основним напрямком розвитку малогабаритних безпілотних швидкісних суден на сучасному етапі є гібридизація їх гідродинамічних схем. Пошук оптимальної гідродинамічної схеми малогабаритного безпілотного швидкісного судна є **актуальною задачею**.

Метою роботи є розробка загальної гідродинамічної схеми багато режимного малогабаритного швидкісного судна.

На сьогоднішній день формам корпусів швидкісних суден властиве значне різноманіття: існує понад 70 різноманітних форм і їх модифікації [1]. Для визначення гідродинамічної досконалості тієї чи іншої форми корпусу в практиці суднобудування використовуються зокрема наступні параметри та співвідношення:

- число Фруда Fr_{Δ} , обчислене за водотоннажністю судна,

$$Fr_{\Delta} = v / \sqrt{g^3 \Delta / \gamma},$$

де v - швидкість руху судна, g - прискорення вільного падіння, Δ - масова водотоннажність судна, γ - питома вага води.

- зворотна гідродинамічна якість ε

$$\varepsilon = R_x / \Delta,$$

де R_x - гідродинамічний опір судна.

- коефіцієнт статичного навантаження судна C_{Δ}

$$C_{\Delta} = \Delta / \gamma B^3$$

де B - ширина судна по діючій ватерлінії.

- відносне центрування судна $\bar{x}_g$

$$\bar{x}_g = x_g / L_{ск},$$

де x_g - відстань центру тяжіння від транця судна, $L_{ск}$ - довжина судна по скулі.

На основі аналізу сучасного стану та перспектив розвитку швидкохідних суден в процесі розробки концепції гібридної гідродинамічної схеми були використані такі елементи обводів:

1. *Форма корпусу із зворотною кілюватістю.* Якщо корпус має пряму кілюватість, то хвилі та бризки, які утворюються в результаті його руху по воді, відкидаються на боки. Енергія, витрачена на їх утворення, є втраченою енергією. Якщо судно має зворотну кілюватість, то хвилі та бризки спрямовуються під днище корпусу, де в результаті взаємного руйнування хвильових систем правого та лівого борту утворюється газо-водяна суміш. Так як корпус має зворотну кілюватість, то ця газо-водяна суміш утримується під днищем корпусу. Змінюються фізичні константи рідини, якою рухається корпус (зокрема – масова густина), а також знижується коефіцієнт опору тертя. При цьому, зовнішній борт корпусу є плоским, тобто не хвилеутворюючим.

На рис.1 представлена залежність зворотної гідродинамічної якості ε від числа Фруда для корпусів різної форми. Видно, що в перехідному режимі руху корпус зі зворотною кілюватістю має незаперечну перевагу в порівнянні з корпусами з прямою кілюватістю. Хоча у режимі глісування він має посередні показники.

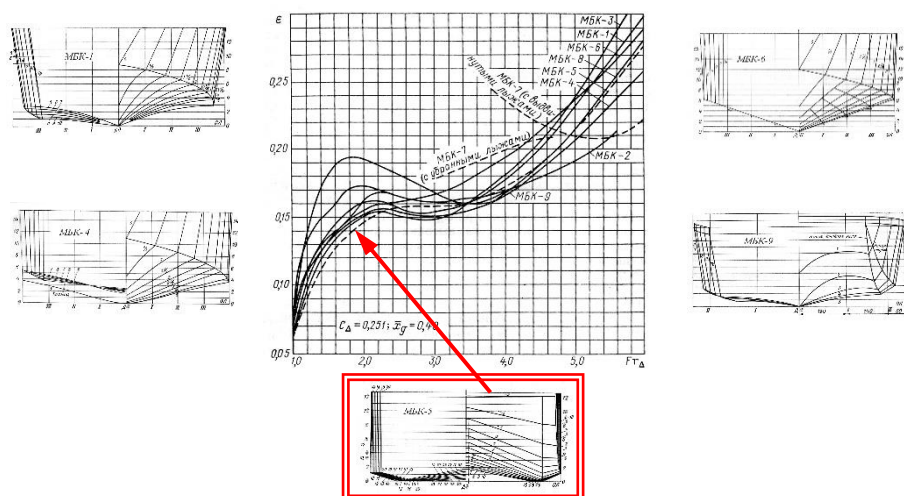


Рисунок 1 – Гідродинамічні характеристики корпусу зі зворотною кілюватістю та традиційних корпусів [2].

2. *Гідролижі*. Для поліпшення характеристик корпусу, що рухається в режимі розвинутого глісування, можна використовувати гідролижі. На рис.2 представлені результати випробувань моделі корпусу, обладнаного гідролижами та без них. Видно, що при великих числах Фруда ($Fr_{\Delta} > 5$) гідролижі є дуже ефективним способом зниження гідродинамічного опору корпусу.

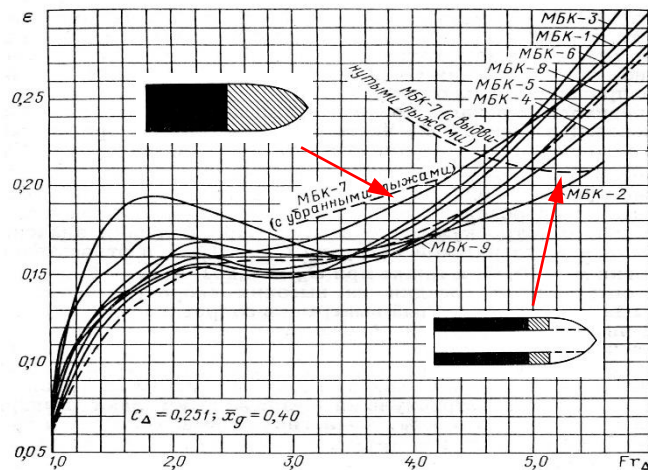


Рисунок 2 – Гідродинамічні характеристики корпусу з гідролижами [2].

2. *Форма корпусу швидкісного катера типу «морський ніж»*. Концепція корпусу «морський ніж» найкраще пристосована для підвищення мореплавності корпусів швидкісних суден (рис.3).

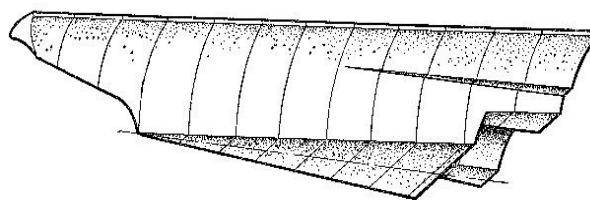
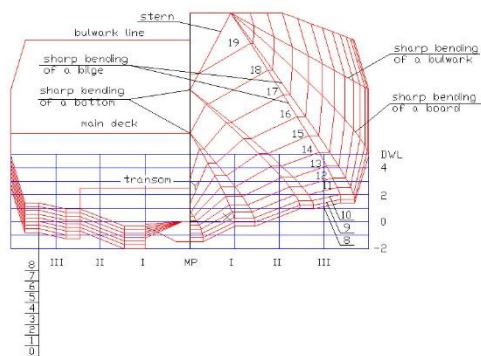


Рисунок 3 – Характерний вигляд обводів швидкісного катера типу «морський ніж» [2].

Суть її полягає в тому, що носова частина корпусу виготовляється дуже тонкою. Кут входу ватерлінії не перевищує 16 градусів. Така форма носа у поєднанні з плоским днищем та зрізаним форштевнем забезпечують корпусу високу швидкість руху в умовах схвильованого моря. В умовах схвильованого моря такий корпус зазнає перевантажень приблизно на порядок менших, ніж аналогічні корпуси з прямою кілюватістю.

На базі перерахованих вище елементів було сформовано теоретичне креслення концептуального швидкісного судна з гібридними обводами (рис. 4-а). Передбачається, що катер буде мати максимальну довжину близько 9 метрів, ширину близько 2,6 метра і повну водотоннажність близько 4,5 тон.

а)



б)



Рисунок 4 – Проекція «корпус» теоретичного креслення (а) та зовнішній вигляд (б) швидкісного судна з гібридними обводами.

Варто зауважити, що в гібридній гідродинамічній схемі швидкісного судна використано три гідролижі, одна з яких висунута вперед, а дві інші – зміщені в корму. При цьому між кормовими гідролижами днище корпусу судна має зворотню кілюватість. Для інтенсифікації утворення газо-водяної суміші під днищем швидкісного судна безпосередньо за носовою гідролижею є вентиляційний отвір. Вентиляція днища може здійснюватися як безпосередньо з поверхні, так і за рахунок вихлопних газів від двигунів.

Для перевірки працездатності запропонованої гідродинамічної схеми катера в швидкісному дослідному басейні Інституту гідромеханіки НАН України були проведені буксировочні випробування моделі запропонованого корпусу катера в масштабі 1:10 (рис.5).

а)



б)

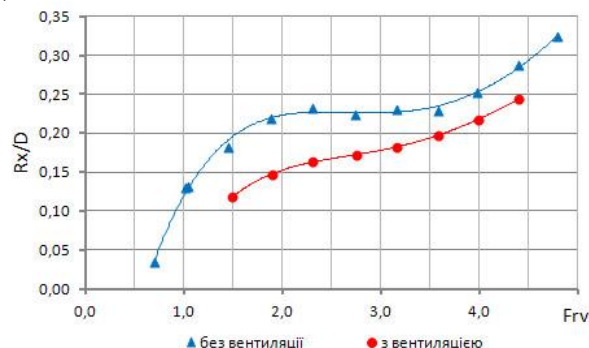


Рисунок 5 – Модель катера в басейні (а) та залежність гідродинамічного опору від швидкості судна (б).

Звертає на себе увагу те, що утворення газо-водяної суміші на днищі катера суттєвим чином впливає на зниження гідродинамічного опору моделі як в перехідному режимі руху, так і в режимі розвинутого глісування.

Висновки.

1. Розроблена гібридна гідродинамічна схема швидкісного судна має низький гідродинамічний опір в широкому діапазоні швидкостей як в перехідному режимі руху, так і в режимі розвинутого глісування.
2. Отримані результати можуть бути використані при оптимізації гібридної гідродинамічної схеми судна на початкових стадіях його проектування.

REFERENCES

- [1] Faltinsen O.M. (2005). *Hydrodynamics of High-Speed Vehicles*. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- [2] Egorov I.T. Bunkov M.M., Sadovnikov Y.M. (1978). *Khodkost i morekhonost glissiruiushchikh sudov*. L.:Sudostroenie. (in Russian).

Volodymyr Moroz, Victor Kochin

Hybrid hydrodynamic scheme of a high-speed vessel

Annotation: *The results of the formation of the hydrodynamic scheme of a high-speed vessel based on the shape of the hull with reverse camber, hydroskis and the shape of the hull of a high-speed boat of the "sea knife" type are presented. The performance of the obtained hybrid hydrodynamic scheme was verified by conducting towing model tests in the experimental basin. It is shown that the obtained hybrid hydrodynamic scheme has low hydrodynamic resistance in a wide range of speeds. The obtained results can be used in the optimization of the hybrid hydrodynamic scheme of the vessel at the initial stages of its design.*

Keywords: *hybrid hydrodynamic scheme; experimental tank; towing tests; hydrodynamic resistance*

УДК 629.546.6:666

ПРОЄКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СУДЕН-ПРОДУКТОВОЗІВ

Казимиренко Ю. О., доктор технічних наук, доцент¹, Савочкіна В. В²

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна^{1,2}

yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua, vira.savochkina@nuos.edu.ua²

Анотація. *Розглянуто проєктно-технологічні можливості модернізації суден-продуктовозів для перевезення розігрітих вантажів. Запропоновано науково-технічне підґрунтя для улаштування вантажної зони судна модульними теплоізоляційними конструкціями, для виготовлення яких застосовуються нові композиційні матеріали.*

Ключові слова: *проєктування теплоізоляційних конструкцій, розігрівання вантажів, композиційні матеріали, відбудова прибережної зони.*

Створення стартапів повоєнного відновлення морських і річкових акваторій півдня України передбачатиме розвиток науково-технічної бази щодо модернізації суден і плавучих засобів. Відбудова прибережної зони зі складним природним ландшафтом вимагатиме безперервного постачання будівельних матеріалів, деякі з яких потребують постійного підігрівання. Це асфальт, бітум з температурою транспортування 150...200 °С. Нові рецептури, модифіковані полімерами [1] мають високі показники міцності, водо- і морозостійкості. Для забезпечення стабільного хімічного складу вони завантажуються у розігрітому в'язкому стані у теплоізововані танки суден, улаштованих нагрівальних устаткуванням.

Сучасні наукові здобутки в області інноваційних технологій суднобудування є малочисельними, окремі з них [2-4] висвітлюють енергетичні, екологічні та юридичні питання з впровадження оригінальних раціональних рішень щодо модернізації існуючих суден під обслуговування річкових акваторій. Тому проєктування і модернізація суден-продуктовозів є

актуальною науково-технічною проблемою, вирішення якої вимагатиме розв'язання задач проєктування теплоізоляційних конструкцій, стабілізації та економії енерговитрат.

Мета роботи ґрунтовний аналіз проєктно-технологічних можливостей з визначенням пропозицій щодо модернізації суден-продуктовозів для транспортування розігрітих асфальто-бітумних композицій.

Методологію досліджень наведено у таблиці 1. Визначені етапи можна представити у вигляді ланцюгової моделі.

Таблиця 1. Основні етапи і методи дослідження
[складено авторами]

Етапи дослідження	Теоретичне і методологічне підґрунтя
Дослідження змін річкового дна та берегової лінії та стану на території Миколаївської області внаслідок воєнно-техногенного тиску	Аналітичний огляд географічних і екологічних досліджень і фондів [6-8]
Визначення властивостей асфальто-бетонних і бітумних сумішей, які можуть бути застосовані для відбудови прибережної зони	Систематизація інформації щодо хімічного складу, реологічних і фізико-механічних властивостей [1, 9]
Дослідження умов підтримки температур вантажу на судні	Науково-технічні напрацювання щодо енергетичного устаткування [4] та проєктування ізоляційних конструкцій суден для транспортування вантажів зі спеціальними температурними умовами [10, 11]
Ґрунтовний вибір ізоляційних матеріалів	Вивчення досвіду впровадження сучасних теплоізоляційних матеріалів у технології суднобудування і судноремонту [12-15]
Вибір суден-донорів для модернізації	Аналіз елементів складової транспортної системи за участю водних видів транспорту [16]
Розробка практичних рекомендацій	Узагальнення сучасного досвіду [1-16]
Розробка заходів з пожежної безпеки	Врахування існуючого практичного досвіду транспортування наливних розігрітих речовин [17]

Внаслідок бойових дій, ракетних ударів і бойових обстрілів прибережна зона Миколаївської області зазнала значних руйнувань; через засмічення твердими відходами і залишками боєприпасів спостерігається деградація ґрунту [7]. Одним із шляхів пошкоджених ділянок є часткове бетонування з нанесенням асфальто-бітумного покриття. Доставку необхідних будівельних матеріалів доцільно здійснювати річковим транспортом. В'язки суміші транспортуються наливом у розігрітому стані [1, 9]. Існуючі судна-продуктовози зазвичай мають потужне нагрівальне обладнання, яке може бути автономним для кожного вантажного танку або розміщуватися у подвійній переборці між декількома теплоізольованими танками, як це показано на рис. 1.

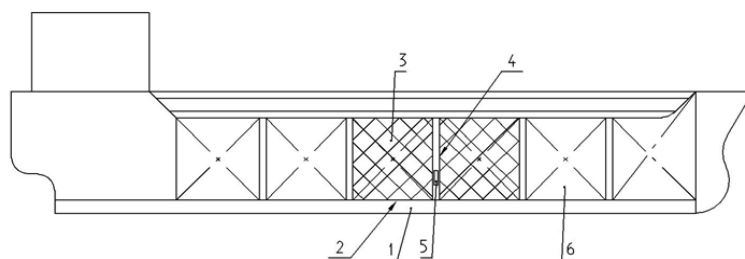
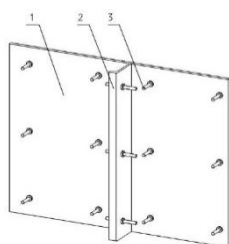


Рисунок 1 – Поздовжній перетин продуктового, частково переобладнаного під розігріті вантажі [5]: 1 – подвійне дно; 2 – вантажні танки, модернізовані під розігріті вантажі; 3 – теплова ізоляція; 4 – подвійна переборка; 5 – нагрівальне обладнання; 6 – танки для інших вантажів.

На підставі аналізу літературних джерел [11-15] доведена необхідність впровадження нових теплоізоляційних композиційних матеріалів, що зумовлюється зменшенням масогабаритних показників та матеріалоемності тепло- і звукоізоляційних конструкцій, підтримкою певних температурних вимог. Таке технічне рішення сприятиме економії енерговитрат на підігрівання вантажів та дасть змоги розширити вантажні перевезення за рахунок одночасного транспортування декількох вантажів.

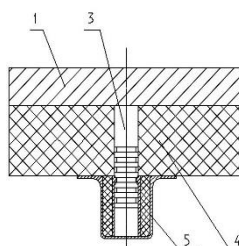
Для ізолювання танків суден, призначених для розігрітих в'язких речовин, рекомендується використовувати неорганічні композиційні матеріали з механічним кріпленням (рис. 2), що сприятиме уникненню температурних напружень.



а



в



б



г

Рисунок 2 – Формування теплоізоляційної конструкції: 1 – стінка танка або ємкості; 2 – ребро жорсткості; 3 – шпилька; 4 – теплова ізоляція; 5 – ковпачок
а – монтаж ізоляції; б – схематичне кріплення теплоізоляційних плиток; в – світлина теплоізоляційної плитки з синтактичного піноскла з полімерним покриттям; г – ковпачок для кріплення теплової ізоляції
[11, світлини зроблено авторами]

Для складних випадків виконання вантажних операцій біля необладнаного берега, доцільно застосовувати річкові судна з невеликою осадкою – ліхтери (баржі). Як показали результати досліджень авторів роботи [16] саме ліхтеровозні системи набувають розвитку у перевезеннях річка-море. Модернізація ліхтерів можлива шляхом улаштування малопотужних автономних нагрівальних систем, які б тільки підтримували температуру вже розігрітих перед завантаженням в'язких наливних речовин. Рациональний вибір товщини теплової ізоляції сприятиме підтримці необхідного теплового стану.

Висновки

1. Розглянуто перспективи доставки річним транспортом асфальто-бітумних будівельних композицій у місця відбудови прибережної зони.

2. Методологія дослідження включатиме у себе етапи, пов'язані з визначенням особливостей ландшафту узбережжя і стану річкового дна, аналізом властивостей асфальто-бітумних композицій та умовами підтримки їх температурних режимів на судах, ґрунтовний вибір ізоляційних матеріалів, вибір суден-донорів, розробку практичних рекомендацій і заходів з пожежної безпеки.

3. Показана доцільність впровадження нових теплоізоляційних матеріалів у технології суднобудування та судноремонту.

REFERENCES

- [1] Кіщинський С. В., (2016). Реологічні властивості асфальтобетонів, модифікованих композиційною добавкою на основі вторинного поліетилену ПОЛІДОМ. *Збірник «Дороги і мости»*. Вип. 16. С. 52-68.
- [2] Круглий Д. Г. (2021). Інноваційні технології суднобудування як запорука цілісної екосистеми України. *Вчені записки НТУ імені В.І. Вернадського. Серія :Технічні науки*. Том 32 (71) ч. 2 № 1. С. 107-112
URL: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/1_2021/part_2/20.pdf
- [3] Щедролоєв О. В. (2021). Шляхи вдосконалення енерговикористання суднових енергетичних установок дизельних суден. Матеріали 12-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» Херсон С. 113-114. URL: <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021.pdf>
- [4] Кочерев О. (2021). Шляхи та перспективи розвитку річкового судноплавства в Україні. *Юридичний та науковий електронний журнал*. № 10. С. 209-212. DOI <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2021-10/52>
- [5] Казмиренко Ю. О. (2003). *Спосіб реконструкції судна*. Патент України № 58071: Київ. Державне патентне видавництво України.
- [6] Патрушева Л. І. (2006). *Аналіз ландшафтного різноманіття Миколаївської області. Культура народів Причорномор'я*. № 82. С. 15-17. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/21025>
- [7] Щербіна І. О., Дмитрук Ю. Г. (2018). Оцінка наявних еколого-біотичних умов території агрогенно трансформованого степу Миколаївської області. *Scientific Journal «ScienceRise:Biological Science»*. № 1 (10) С. 14-19. DOI: <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2018.124603>.
- [8] *Поствоєнний розвиток природно-заповідного фонду Миколаївщини*: наукове видання (2023) / Скоробогатов М. В., Сплодитель А. О., Мойсієнко І. І. [та ін.] .Миколаїв-Київ-

Чернівці: Друк Арт, 224 с. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/11/pzf-mykola_2023_compressed.pdf

- [9] Лаврова І. О., Бухкало С. І., Вайкуйкін С. В. (2020). Аналіз можливостей використання фосфоліпідів для підвищення адгезійної здатності дорожніх бітумів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. № 5 (1359). С. 71-78. DOI: <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2020.05.11/>
- [10] Казимиренко Ю. О. (2002). *Спосіб секційного виготовлення корпусу судна*. Патент України № 52426А.: Київ. Державне патентне видавництво України. URL: <https://ukrpatent.org>
- [11] Казимиренко Ю. О., Савочкіна В. В. (2023). Проєктування ізоляційних конструкцій суден для транспортування вантажів зі спеціальними температурними умовами. *Shipbuilding and marine infrastructure*. № 1 (17). С. 48-59. DOI: [https://doi.org/10.15589/smi2022.1\(17\).06](https://doi.org/10.15589/smi2022.1(17).06)
- [12] Коробейнікова В. О., Соломонюк Н. С. (2018). Теплопровідність блоків плавучості підвищеної теплостійкості на базі піноскла. *Збірник наукових праць НУК*. № 3-4 С. 13-18. DOI: <https://doi.org/10.15589/jnn20180302>
- [13] Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С., Лямок А. О. (2022). Експериментальні дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів із мінеральної вати. *Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*. № 1. С. 43-48. – DOI: <https://doi.org/10.31649/2311121429-2022-1-43-48>
- [14] Belyanovskaya, E., Sukhyu, K., Serhiienko, Y., Sukhyu, M., Pustovoy, G., & Sukha, I. (2022). Ексергетичний аналіз адсорбційного теплоакумуючого модуля відкритого типу на основі композитного адсорбенту «силікагель – кристалогідрат». *Scientific Works*. 86 (1), 51 - 56. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v86i1.2403>
- [15] Kazymyrenko Yu., Solomoniuk N., Drozd O. (2023). Glass microspheres thermo-deformation sintering processes in the technologies of obtaining materials for underwater technical equipment. *POLISH MARITIME RESEARCH*. № 3 (119). Vol. 30; pp. 174-180. DOI: <https://doi.org/10.2478/pomr-2023-0050>.
- [16] Кунда Н. Т., Лобатенко В. О. (2023). Ліхтерні перевезення вантажівок як складова світової транспортної системи. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»*. № 26. С. 265-274 <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.14.04.2023.048>.
- [17] Ширін Л. Н., Денищенко О. В., Барташевський В. Є., Коровяка Є. А., Расцветаев В. О. (2019). *Транспортування нафти, нафтопродуктів і газу: навчальний посібник*. Дніпро: НТУ «ДП». 203 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/154565/CD1142.pdf>

Yuliia Kazymyrenko, Vira Savochkina

Design and technological possibilities of modernization of product carriers

Annotation. The design and technological possibilities of modernization of product carriers for the transportation of heated cargo are considered. The scientific and technical basis for arranging the cargo area of the vessel with modular heat-insulating structures, for the manufacture of which new composite materials are used, is proposed.

Keywords: design of heat-insulating structures, heating of goods, composite materials, reconstruction of the coastal zone.

ВПЛИВ ДЕКАБЕРНІЗАЦІЇ НА ПРОЕКТУВАННЯ СУДЕН

Соценко Владислав Валерійович, старший викладач
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, Миколаїв
sotsenkovladyslav@gmail.com

Анотація: Проведено аналіз впливу зовнішніх чинників на темпи розвитку напрямку декабернізації в судновій галузі. Визначено основні зміни в підхід розвитку проектування суден.

Проаналізовано основні вимоги міжнародних товариств до суден з огляду світового напрямку «Zero Emission».

Ключові слова: Декабернізація, Zero Emission

Вступ. Судноплавний сектор перебуває в центрі дебатів про сталий розвиток. Як і інші сектори економіки, судноплавство генерує викиди парникових газів (ПГ) і має зменшити свій вуглецевий слід. Міжнародні морські перевезення, на які припадає понад 80 відсотків світової торгівлі товарами за обсягом, є причиною майже 3 відсотків усіх глобальних викидів парникових газів.

Хоча на морські перевезення припадає відносно невелика частка викидів парникових газів на одиницю транспортної роботи, без подальших дій викиди в цьому секторі продовжуватимуть зростати. Для того, щоб судноплавство досягло успіху в декарбонізації та допомогло запобігти небезпечним рівням глобального потепління, сектор повинен якнайшвидше досягти консенсусу щодо нормативно-правової бази та майбутніх заходів зі зменшення викидів парникових газів. Міжнародне судноплавство регулюється правилами і нормами, узгодженими в Міжнародній морській організації (ІМО), і в даний час в ІМО ведеться робота над розробкою глобальних правил декарбонізації судноплавства, які застосовуються до комерційного судноплавства. У той же час регіональні правила впливають на глобальний процес, як показано на прикладі правил, прийнятих на рівні Європейського Союзу, які застосовуються до всіх суден, що заходять в європейські порти.

Постановка задачі. Декарбонізація судноплавства вимагатиме змін у технологіях та операціях, а також використання альтернативних видів палива з низьким або нульовим рівнем викидів парникових газів. Такий перехід тягне за собою потенційне збільшення витрат на морську логістику, тарифів на перевезення і тривалості рейсів. Інвестиції, необхідні для коригування дизайну суден, двигунів, експлуатації, масштабного виробництва альтернативних видів палива з низьким і нульовим рівнем викидів вуглецю та впровадження "зелених" бортових технологій, - все це має свою ціну. Це призведе до зростання витрат судновласників, промисловості і, зрештою, торгівлі та кінцевого споживача.

Збільшення інвестицій у нові судна (дизайн, двигуни, бортові технології, навички екіпажу), інфраструктуру енергопостачання та бункерування (тобто наявність і постачання альтернативних видів палива через спеціальне та адекватне виробництво, бункерування та

зберігання) має вирішальне значення. Мінімізація невизначеності щодо майбутніх правил і зменшення неясності щодо цін на викиди вуглецю та паливо необхідні для стимулювання дій та інвестицій судновласників та інших зацікавлених сторін по всьому ланцюжку створення вартості морського транспорту та виробництва енергії.

Світовий судноплавний сектор має великий потенціал для синхронізації технологічних і енергетичних змін, керуючись справедливими і рівноправними цілями переходу. Якщо міжнародне співтовариство зможе створити передбачувану нормативно-правову базу і домовитися про чіткі, економічно ефективні технічні та економічні заходи, сектор мінімізує невизначеність і знизить витрати на перехідний період.

Імпульс до декарбонізації зростає в міру посилення регуляторного та комерційного тиску

Судноплавство знаходиться в авангарді дебатів щодо сталого розвитку та зміни клімату і повинно якнайшвидше зменшити свій вуглецевий слід. Тенденції показують, що сектор продовжує намагатися досягти цілей щодо викидів парникових газів (ПГ), визначених у Початковій стратегії зі скорочення викидів парникових газів з суден, прийнятій Міжнародною морською організацією (ІМО) у 2018 році (ІМО, 2018), а також у

останній переглянутій стратегії (ІМО, 2023а, Додаток 15). На міжнародні морські перевезення припадає 2,8 відсотка всіх глобальних викидів парникових газів. За прогнозами, без подальших дій викиди двоокису вуглецю (CO₂) в цьому секторі зростуть з приблизно 90% від викидів 2008 року у 2018 році до 90-130% від викидів 2008 року до 2050 року (ІМО, 2020).

Щоб краще відповідати цілям зі скорочення викидів парникових газів, судноплавна галузь потребує портфеля заходів. Відповідні заходи впливатимуть на операції (наприклад, оптимізацію маршрутів, швидкість суден і технічне обслуговування), конструкцію підніжок, рушійну силу, двигуни і паливо, а також інфраструктуру для бункерування альтернативних видів палива.

Викиди парникових газів залежать від рівня судноплавства, торговельних потоків, типу, розміру, віку та експлуатаційних практик суден. Як показано на рис. 1, загальні викиди CO₂ змінювалися протягом останніх десяти років і продовжували зростати, хоча викиди на тонну-мілью зменшилися. Інтенсивність викидів вуглецю залежить від типу судна, причому викиди від контейнерних перевезень є вищими на тонну-мілью, ніж від перевезень сухих і наливних вантажів. Однак загальні викиди від морських перевезень на одиницю транспортної роботи покращилися за останнє десятиліття.

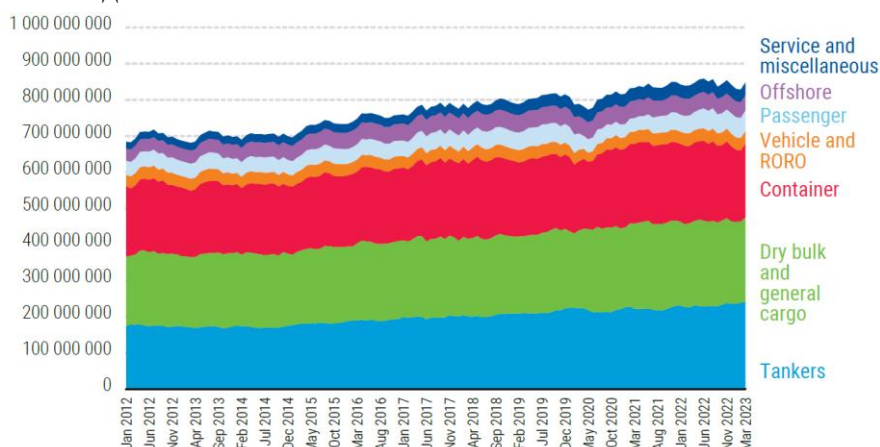


Рисунок 1 – Загальні викиди двоокису вуглецю за типами суден, тонни, січень 2012 - березень 2023. За даними ІМО

Перехід на альтернативне паливо в судноплавстві

Хоча логістика, діджиталізація, гідродинаміка, обладнання та заходи "після обробки / уловлювання та зберігання вуглецю" можуть скоротити викиди парникових газів від судноплавства в середньому на 30%, найбільший потенціал для глибшого скорочення викидів парникових газів полягає в переході на паливо з низьким або нульовим вмістом вуглецю (DNV, 2022a). Судноплавство повинно замінити викопні види палива на альтернативні, які не викидають ПГ протягом усього свого життєвого циклу (від свердловини до утилізації). Наразі не існує легкодоступного, універсального рішення. Шлях до декарбонізації показує, що до 2030 року паливо з нульовим рівнем викидів повинно скласти 5 відсотків від загального обсягу палива для міжнародного судноплавства (Osterkamp, Smith, Søgaaard, 2021). Стратегія ІМО щодо викидів парникових газів до 2023 року також включає зобов'язання забезпечити використання альтернативних видів палива з нульовим та близьким до нульового рівнем викидів парникових газів до 2030 року. Стратегія передбачає, що використання технологій, палива та/або джерел енергії з нульовим або близьким до нуля рівнем викидів ПГ має становити щонайменше 5%, а до 2030 року - 10% енергії, що використовується в міжнародному морському судноплавстві.

Перехід на альтернативні види палива все ще перебуває на початковій стадії. Загалом 98,8% світового флоту за кількістю суден використовують традиційні види палива. Лише 1,2% використовують альтернативні види палива, переважно зріджений природний газ (ЗПГ), і меншою мірою - акумуляторні/гібридні батареї, зріджений нафтовий газ (ЗНГ) і метанол.

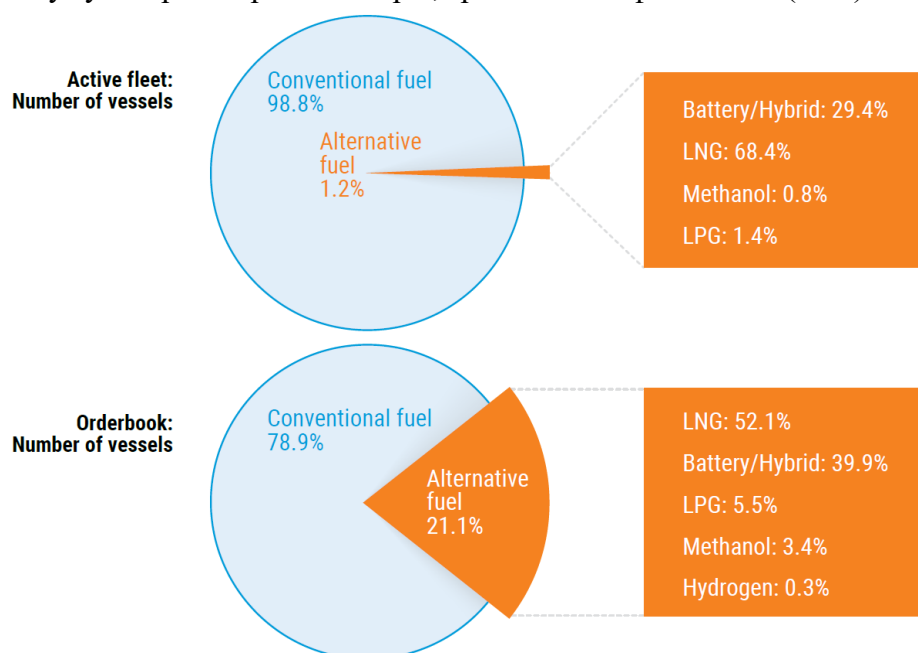


Рисунок 2 – Використання альтернативних видів палива. За даними DNV 2022 року

Технологічна готовність, масштабованість і регуляторна визначеність необхідні для збільшення попиту на альтернативні види палива і судна. Випробування і демонстрація, які дозволяють підтвердити концепцію, є важливими з огляду на середній вік існуючих суден і тривалий термін служби суден (25-30 років). У цьому контексті проектування нових суден і двигунів має відбуватися вже зараз, щоб уможливити розгортання суден з нульовим рівнем викидів вуглекислого газу, що працюють на альтернативних видах палива. Ці судна все ще будуть експлуатуватися у 2050 році.

Судновласникам потрібно вирішити, чи замовляти додаткові потужності та оновлювати судна зараз, поки немає ясності щодо найкращих альтернативних видів палива та технологій, чи почекати, поки шлях розвитку альтернативних видів палива та регулювання стануть більш зрозумілими. Потреба в оновленні флоту, занепокоєння щодо потужностей суднобудівних верфей і зростання цін на будівництво створюють виклики для судновласників і ускладнюють прийняття ними інвестиційних рішень. Середньостроковий захід набуде чинності не раніше 2027 року. Починаючи з цього року, частина суден зможе використовувати ці види палива та зелені технології.

Огляд складається з систематичного огляду літератури та узагальнення інформації, групування досліджень, які мають найбільш перспективні та багатообіцяючі рішення, і оцінки точності та актуальності теми.

Основними установками для використання цих видів палива в морському секторі є однопаливні двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), двопаливні ДВЗ і паливні елементи. В останнє десятиліття, завдяки розвитку акумуляторних технологій, все більше уваги приділяється системам, що живляться виключно від акумуляторів. Більшість альтернативних видів палива, розглянутих у дослідженні, мають потенціал для споживання різними представленими технологіями. Менше уваги було приділено технологіям та альтернативним видам палива, які є зрілими і вже використовуються на комерційній основі, в той час як більше уваги приділено технологіям, що розвиваються.

Паливні елементи - це електрохімічний пристрій, який перетворює хімічну енергію газоподібного палива в електричну енергію; вони успішно застосовуються в аерокосмічній техніці, автомобільному секторі та на електростанціях [91]. Одноступеневий характер процесу перетворення енергії надав цій технології деякі унікальні переваги порівняно з технологіями спалювання, такі як висока ефективність перетворення енергії та низький рівень викидів [92]. Хоча застосування паливних елементів на комерційних судах все ще обмежене, технічна можливість використання паливних елементів для суднових рушійних і допоміжних силових установок була продемонстрована численними дослідженнями (наприклад, [93-97]). Паливні елементи класифікуються залежно від вибору електроліту та палива. В даний час існує шість основних типів паливних елементів, включаючи: (1) паливні елементи з протоннообмінною мембраною (PEMFC); (2) лужні паливні елементи (AFC); (3) паливні елементи з фосфорною кислотою (PAFC); (4) паливні елементи з розплавленим карбонатом (MCFC); (5) паливні елементи з твердим оксидом (SOFC); і (6) паливні елементи з прямим метанолом (DMFC). В принципі, PEMFC і MCFC вважаються найбільш перспективними типами паливних елементів для виробництва електроенергії на борту суден з точки зору доступності, ефективності та технологічної зрілості. Крім того, SOFC є потенційним варіантом для морського використання на судах середньої та великої дальності.

Електрифікація суден - не нова концепція в морській індустрії. Перший "золотий вік" електричних суден припав на період з кінця 19-го до початку 20-го століття, і протягом десятиліть електрифікація була визнана потенційним рішенням для скорочення викидів від судноплавства. В останні роки, з поліпшенням характеристик акумуляторів і успішним впровадженням акумуляторів в автомобільну промисловість, спостерігається прискорення розвитку суден, що працюють на акумуляторах. Перший великогабаритний пором Norled's Амреге, що живиться від чистого акумулятора, був введений в експлуатацію в 2015 році. Пором оснащений акумуляторною системою ємністю 1 МВт-год і здатний перевозити 120

автомобілів і 350 пасажирів. З 2015 року на воду були спущені інші судна на чисто акумуляторних батареях зі зростаючим тоннажем і ємністю батарей, наприклад, Ellen (4,3 МВт-год), Project e5 (4 МВт-год), Guangzhou (2,4 МВт-год), AIDAperla (10 МВт-год) і Stena Jutlandica (50 МВт-год). Акумуляторні силові установки є більш енергоефективними, ніж ДВЗ та ГТД.

Вплив використання альтернативного палива на проектування суден

Використання альтернативного палива впливає не тільки на навколишнє середовище, а також на підхід проектування як окремої частини судна – машинного відділення, так й судна в цілому.

Будь-яке альтернативне паливо, має свої недоліки та переваги. Використовуючи метанол, як основний тип палива, виникає проблема з його агресивною реакцією з металом, легкозаймистості. Із-за чого класифікаційні товариства впроваджують декілька суттєвих вимог, такі як:

- Повітряна трубка бака повинна бути віддалена від верхньої точки над баком, будь-то надбудова, палуба на діаметр кола 9 м.
- Якщо рівень бака вище ніж ватерлінія, то повинні бути створенні коффердами для уникнення розповсюдження палива у випадку пробірки баку. Але якщо бак знаходиться нижче рівня ватерлінії, коффердами не потрібні, так як метанол розчиняється у воді.
- Паливна система повинна бути добре захищена, труби подачі палива повинні мати конструкцію «труба в трубі».
- Метанолу потрібна додаткова система збагачення та перетворення у паливо прийнятної для метанольного двигуна.

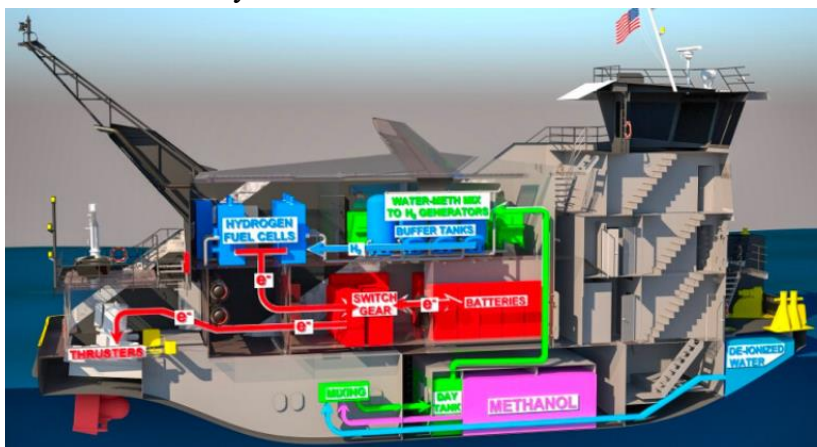


Рисунок 3 – Приклад використання метанолу на судні

Якщо поглянути в бік використання акумуляторних батарей з позиції альтернативного виду палива. Виникають питання, які потрібно вирішувати на стадії початкового проектування.

Використання такого типу енергетичної установки, включають в себе великий об'єм приміщень для розміщення акумуляторів, для їх обслуговування та передачі енергії на потреби судна, такі як рушії, освітлення і т.д.

Основний недоліком вважається великий об'єм і вага акумуляторних установок, для потрібної потужності та запасу ходу, порівнянно з дизельним двигуном.

Також задачею для вирішення є швидкість зарядки акумуляторних батарей, яка вразі нижча за поповнення паливних запасів. Одним із рішень, є використання змінних палубних

або підпалубних акумуляторів. Які змінюються під час розвантаження або завантаження судна. Такий метод покращає спроможність конкурувати такому альтернативному виду палива, але вносить свої корективи в проектування.



Рисунок 4 – Змінна акумуляторна батарея

Висновки. За отриманими даними, можна зробити висновок, що світ рухається до декарбонізації, що підштовхує суднову галузь шукати нові рішення з використання альтернативних видів палива.

REFERENCES

- [1] Review of maritime transport. United Nations
- [2] Yifan Wang and Laurence A.Wright. A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation
- [3] ICCT. Greenhouse Gas Emissions from Global Shipping(2013–2015. 2017).
- [4]. Psaraftis, H.N. Decarbonization of maritime transport: To be or not to be?
- [5]. Mallouppas, G.; Yfantis, E.A. (2021) Decarbonization in Shipping Industry: A Review of Research, Technology Development, and Innovation Proposals. J. Mar. Sci. Eng, 9, 415.
- [6]. Andujar, J.M.; Segura, F. Fuel cells: History and updating. A walk along two centuries

V.V. Sotsenko

Influence of decarbonization on ship design

Annotation: The influence of external factors on the pace of development of the decarbonization trend in the shipbuilding industry is analyzed. The main changes in the approach to the development of ship design are identified.

The main requirements of international societies for ships in terms of the global "Zero Emission" direction are analyzed.

Keywords: Decarbonization, Zero Emission

МОРЕХІДНІСТЬ PACSCAT. ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА МОРЕХІДНІСТЬ

Томашевська Т. В., аспірант, провідний інженер-конструктор ТОВ «ДПЦК»

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, м. Миколаїв

tatiana.tomashevskaia@nuos.edu.ua

***Анотація.** Представлено аналіз впливу основних елементів PACSCAT на морехідність. Наведені результати експериментів впливу геометричних параметрів на морехідність PACSCAT.*

***Ключові слова:** PACSCAT, морехідність; Maxsurf Motions; хитавиця.*

Вступна частина. В умовах руху на морському хвилюванні на інші фактори, що можуть виводити катер із стійкого стану, накладається ще й хитавиця, параметри якої безпосередньо впливають на комфорт екіпажу, на працездатність приладів та обладнання. Через високу швидкість, високу потужність енергетичної установки і високу частоту обертання різних обертових механізмів для PACSCAT необхідно контролювати амплітуди хитавиць та вертикальні прискорення.

Метою дослідження є знаходження закономірностей впливу геометричних співвідношень корпусу PACSCAT на елементи морехідності.

Основна частина. PACSCAT підтримуються повітряною подушкою, відповідно має ряд особливостей руху, характерних для суден на повітряній подушці, що рухаються на хвилях. Гіпотеза Фруда-Крилова, спільні коливання гнучких загорож/повітропроводу/нагнітача, нелінійні ефекти нагнітачів і гнучких загорож, ефект стиснення повітря у подушці, розподіл тиску повітря у подушці, визначення демпфування подушки і доданої маси - все це становить низку проблем при дослідженні руху PACSCAT на хвилях.

Судно на повітряній подушці можна розглядати як більш складну коливальну систему з декількома ступенями свободи, тобто нагнітач/повітропроводи/гнучкі загорожі/повітряна подушка/скеги, як додаткові параметрами руху.

При коливаннях PACSCAT враховується маса і моменти інерції маси всього катера, а приєднана маса та відповідні моменти інерції розраховуються тільки для зануреного об'єму скегів. Інерція маси повітря нехтується в силу малої щільності повітря у порівнянні з щільністю води.

Розглянемо вплив головних розмірів на морехідність.

1. Вплив L_c/B_c . Збільшення L_c/B_c покращує морехідність і зменшує втрату швидкості на хвилюванні. Зменшення поздовжньої хитавиці за рахунок збільшення довжини подушки є ще однією причиною зменшення втрати швидкості.

Аналітика досліджень схожих корпусів показує такі закономірності. Британські дослідження показали, що за умови постійного тиску у подушці, при збільшенні водотоннажності на 44%, за рахунок збільшення відношення L_c/B_c , швидкість на хвилях 0,8 –

1,0 м збільшується на 10-20%. Дослідження китайських суден також показує, що втрата швидкості суден з високим відношенням L_c/B_c є меншою, ніж у суден з низьким відношенням.

2. Вплив B_{sw}/B_c . Збільшення цього відношення поліпшує морехідні якості: зменшуються вертикальні прискорення і втрата швидкості на хвилюванні, тому що у випадку більш широких скегів зменшується коливання тиску подушки, а це, у свою чергу, зменшує прискорення хитавиці.

3. Вплив H_{sw} . Збільшення H_{sw} , а отже, збільшення глибини та об'єму подушки, зменшить ефект від хвильової накачки, чим зменшує вплив хвиль на рух корпусу і покращує морехідність.

Оскільки приєднані маси і коефіцієнти демпфування змінюються з часом, тому точне визначення цього коефіцієнту ускладнене і вимагає спрощень.

Через відсутність розрахункових методик визначення остійності PACSCAT на ходу у IMO High-Speed Craft Code є вимоги до її експериментальної перевірки.

У модулі Maxsurf Motions проведено серію розрахунків з дослідження впливу геометрії скегів на морехідність [1]. На рис. 1 зображено геометрію корпусу PACSCAT.

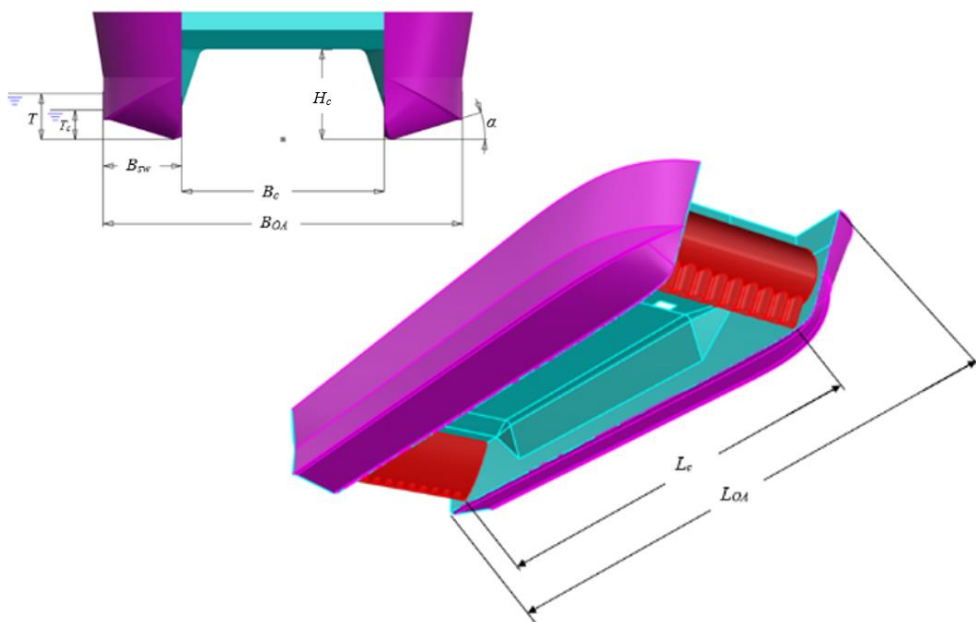


Рисунок 1 – Геометрія корпусу PACSCAT

Діапазон варіативних значень приймався з урахуванням аналізу геометрії суден-прототипів, утримання на фіксованому значенні осадки здійснюється шляхом збільшення/зменшення потоку повітря у повітряну подушку, отже до параметрів остійності та хитавиці додається ще й показник Q . Розрахунок виконано за формулами, наведеними у праці [2].

Розрахунок морехідності виконується для таких умов:

- 1) швидкість ходу 40 вузлів;
- 2) стан моря – 3 бали (висота хвиль - 1,25 м, період - 5,9 с);
- 3) заливаємість розраховується у крайній носовій точці верхньої палуби, слемінг – у районі носового перпендикуляру на підшві скегу, прискорення – у передбаченому місці розташування ходової рубки;
- 4) хвильовий спектр – JONSWAP;

– слемінг днища визначається як ймовірність перевищення значення осадки катера або відстані точки, що досліджується, від КВЛ z_{crit} у відповідності до вертикальних переміщень z або $z > z_{crit}$, а також перевищення граничної швидкості $z' > z'_{crit}$.

– Заливаємість палуби визначається як ймовірність перевищення значення надводного борту z_{crit} у відповідності до вертикальних переміщень z або $z > z_{crit}$.

– значення коефіцієнту демпфування прийнято відповідно до [3], [4].

У досліді 1 [1] в якості варіативної величини приймається три значення кута скосу скегу α : 10° , 17° , 30° . Графічне відображення результатів досліді 1 наведено на рисунку 2.

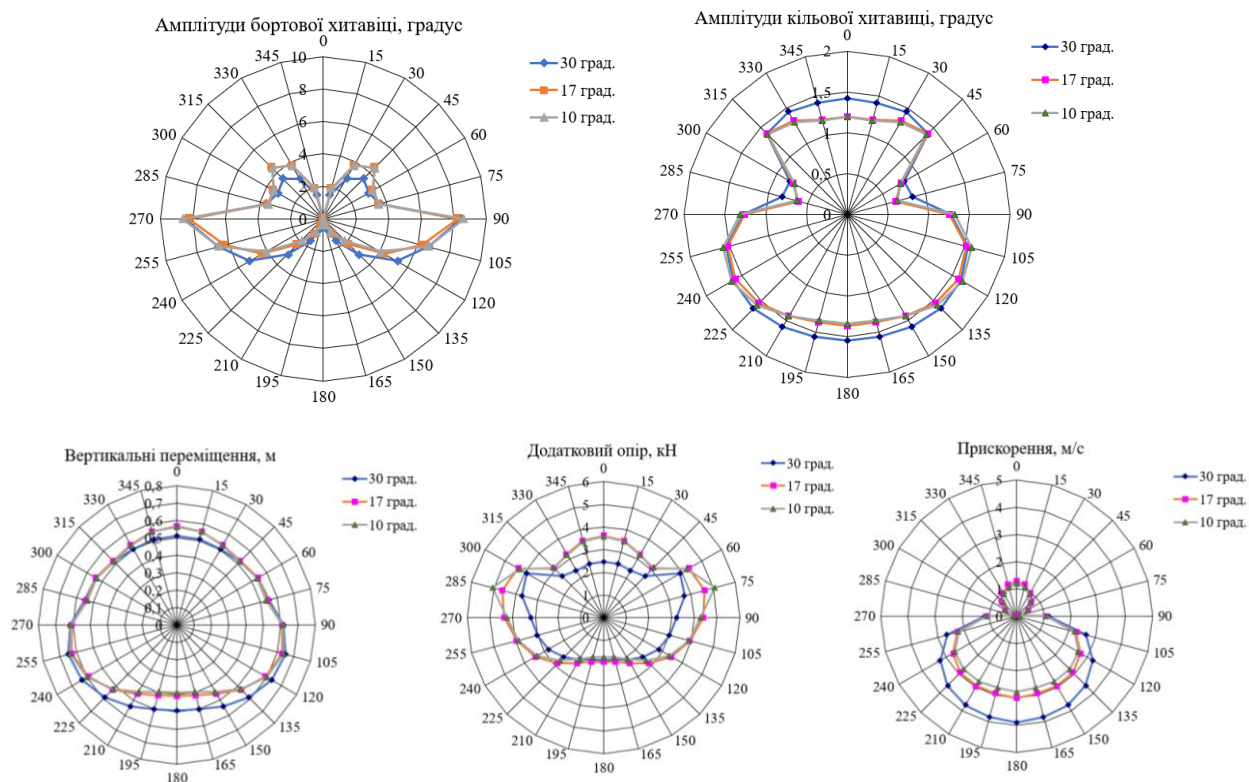


Рисунок 2 – Графічні результати досліді 1

У досліді 2 [1] досліджувався вплив ширин скегу та ПП на морехідність. Графічне відображення результатів досліді 2 наведено на рисунку 3.

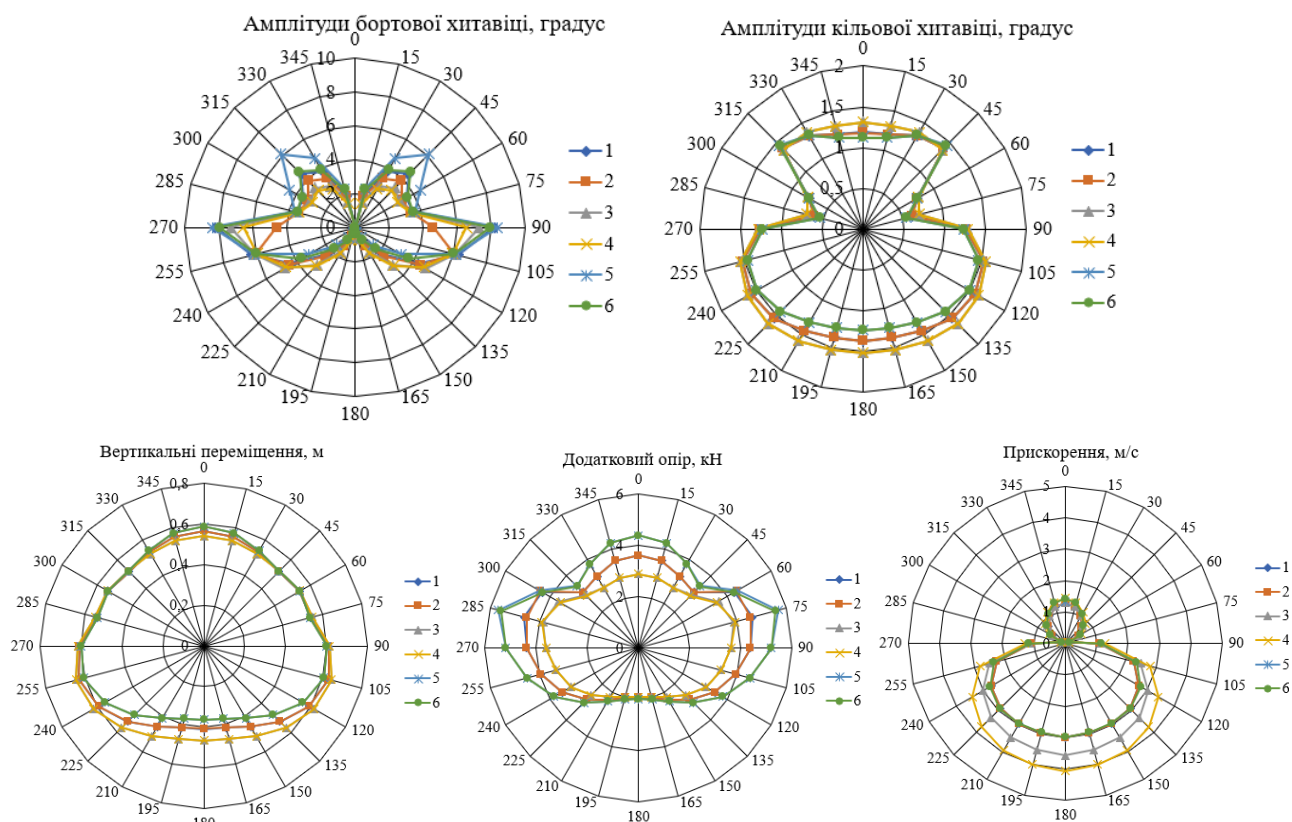


Рисунок 3 – Графічні результати дослідів 2

ВИСНОВКИ

1 Отримані результати дозволяють зробити певні висновки щодо впливу геометричних співвідношень корпусу PACSCAT на елементи морехідності.

2 Зменшення ширини скегу позитивно вплинуло на додатковий опір, але при цьому значно зросли прискорення. Крім того, зменшення водотоннажності необхідно компенсувати значно більшою продуктивністю нагнітачів.

3 Вплив геометрії на кильову хитацію та вертикальні переміщення незначний, але значення вертикальних переміщень такі, що значно впливають на вихід скегів з води, тобто і на остійність при русі.

4 Деяке зменшення амплітуди бортових коливань можна досягти за рахунок збільшення ширини ПП при збереженні ширини скегів, при цьому інші показники морехідності залишаються майже сталими.

5 Впливу на слемінг та заливаємість не спостерігається.

REFERENCES

- [1] Томашевська Т.В. (2024). Дослідження впливу геометричних параметрів на остійність та морехідність PACSCAT: Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова № 1, 2024
- [2] Amir H., Feng H., Khan J., Mehmood N. (2015). Partial Air Cushion Supported Catamaran concept design: 12th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology.
- [3] Yun L., Bliault A. (2005). Theory and Design of Air Cushion Craft: Arnold, London.

[4] Haukeland O. M., Hassani V., Auestad Ø. (2019). Surface Effect Ship with Four Air Cushions Part II: Roll and Pitch Damping: Department of Marine Technology, Norwegian Univ. of Science and Technology, Trondheim, Norway.

Tomashevska Tetiana. SRDSC

Seaworthiness of PACSCAT. Peculiarities of influence of main elements on seaworthiness

Annotation. *The analysis of the influence of the main elements of PACSCAT on seaworthiness is presented. The results of experiments on the influence of geometric parameters on the seaworthiness of PACSCAT are presented.*

Keywords: PACSCAT, seaworthiness; Maxsurf Motions; pitching.

УДК 629.5.012

ПРО РОЗРОБКУ ПРОЕКТУ ПРОГУЛЯНКОВОГО ГЛІСУЮЧОГО КАТЕРУ

Норов Д. В., магістр¹, Пащенко Ю. М., к.т.н., доцент²

Marine Design Engineering Mykolaiv¹, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова²

Україна, м. Миколаїв^{1,2}

ORCID: 0009-0006-8933-4235¹, ORCID: 0000-0002-8307-0316²

Анотація. *Створено проект прогулянкового катера, здатного вирішувати задачі відпочинку та надання йому помірної універсальності. Проведено аналіз результатів дослідження буксирувального опору різними методами - CFD, Savitsky, Blount and Fox, та Wtmap.*

Дослідження обмежуються опором голого корпусу та умовами спокійної води. CFD моделювання виконано за допомогою програмного забезпечення Solid Works Flow Simulation.

Ключові слова: *прогулянковий глісуючий катер; ходовість; CFD; аналітичне дослідження.*

Мета дослідження. Отримання розрахунків буксирувальної потужності для оптимального вибору двигунів та досяжної швидкості.

Основна частина.

За останній час виникла необхідність у створенні високошвидкісного прогулянкового катера корпус якого міг би використаний для потреб прикордонної служби, рибохорони, поліції, ДСНС, Державного агентства водних ресурсів, як службовий, роз'їзний та ін.

Вибір форми корпусу таких катерів являє собою дуже складну задачу, пов'язану з забезпеченням необхідної ходовості і мореплавності судна при високих швидкостях руху, а також безпеки мореплавання [1].

Аналіз статистичних даних по катерам останніх років будови дає уявлення про співвідношення між їх головними елементами [2]. Результати такого аналізу наведені нижче.

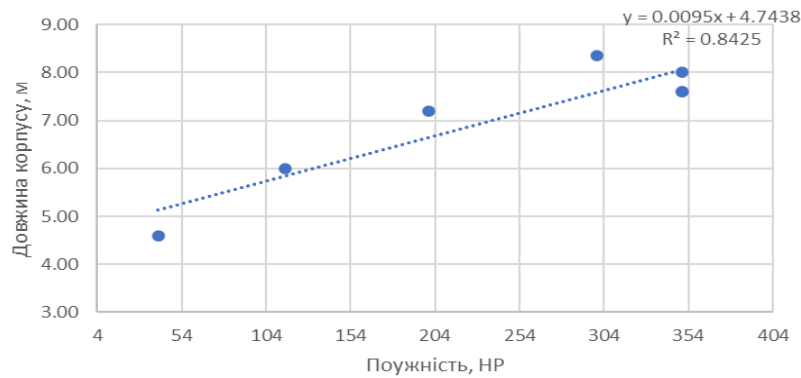


Рисунок 1 – Залежність довжини від потужності двигуна катеру

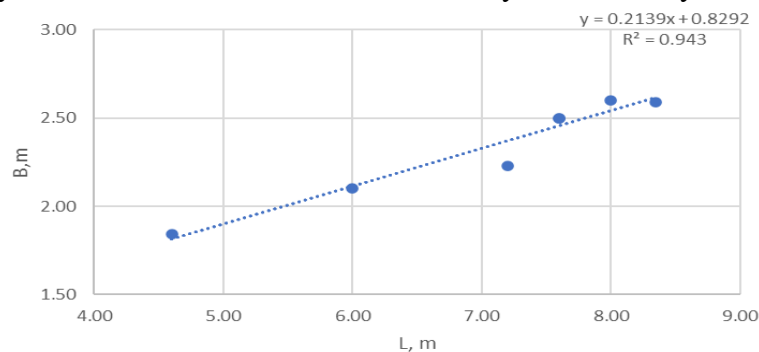


Рисунок 2 – Залежність ширини В від довжини L

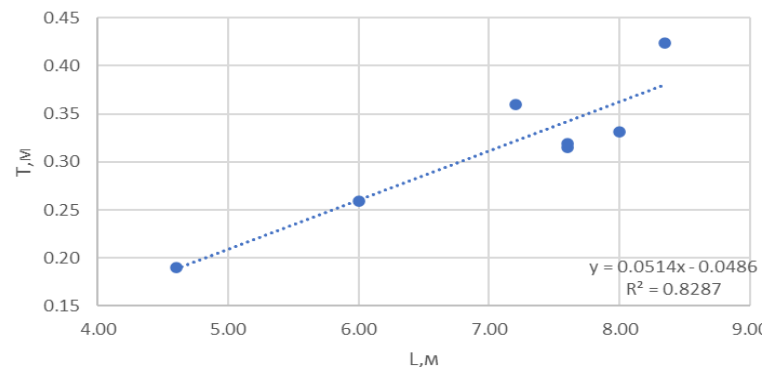


Рисунок 3 – Залежність осадки Т катеру від довжини L

Відомими методами прогнозування опору є обчислювальна гідродинаміка (CFD), модельні випробування, метод Савицького і метод Вімена. CFD застосовується в більшості дисциплін, пов'язаних з рідиною, в тому числі в суднобудуванні. Інструмент особливо корисний, коли йдеться про складну рідину. Оскільки витрачений час і вартість необхідні для CFD, є меншими, ніж для випробування моделі, використання цього інструменту в проектуванні суден зростає. Труднощі з CFD при проектуванні суден раніше полягали в точному моделюванні вільної поверхні. Однак моделі значно покращилися, і тепер інструмент може давати хороші результати.

Модельні випробування у буксирувальних басейнах дають більш точніші результати, ніж CFD, але набагато дорожчі. Метод Савицького та метод Вімена є напівемпіричними методами для глісуючих корпусів. Ці два методи легко реалізуються і вимагають менше часу та коштів порівняно з CFD та модельними випробуваннями.

В середовищі «MaxSurf» створено 3Д поверхню катера, проведені розрахунки гідростатики, буксирувальної потужності.

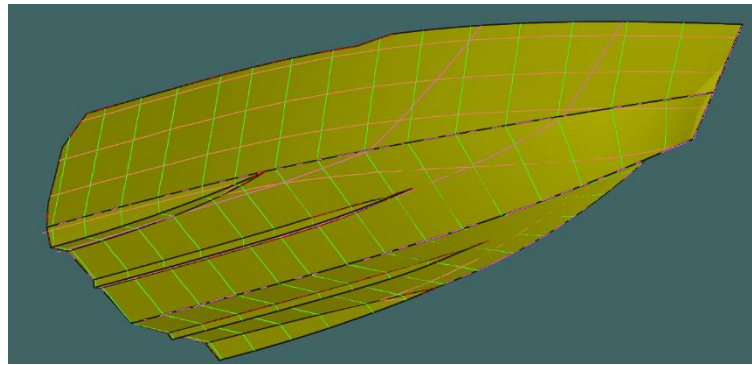


Рисунок 4 – 3D модель поверхні катера

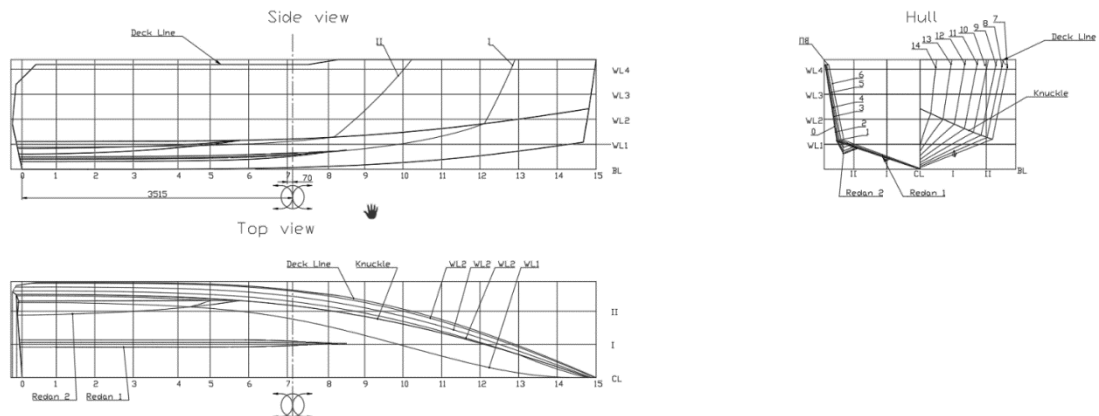


Рисунок 5 – Теоретичне креслення катера

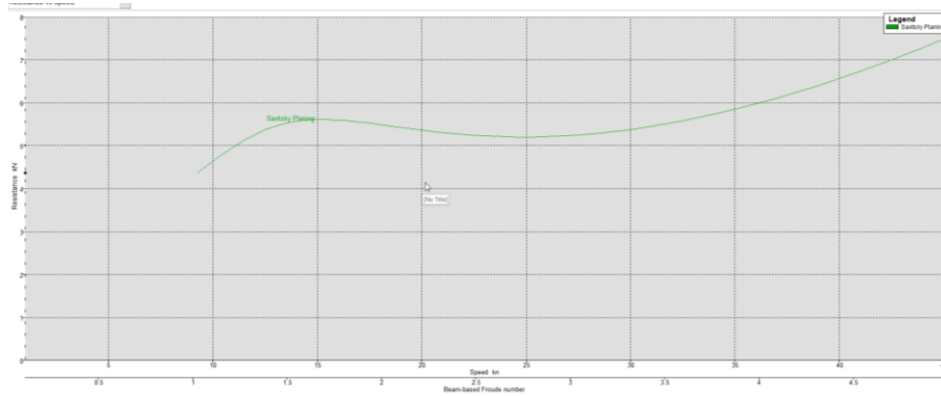


Рисунок 6 – Графік залежності буксирувального опору від швидкості за Savitsky

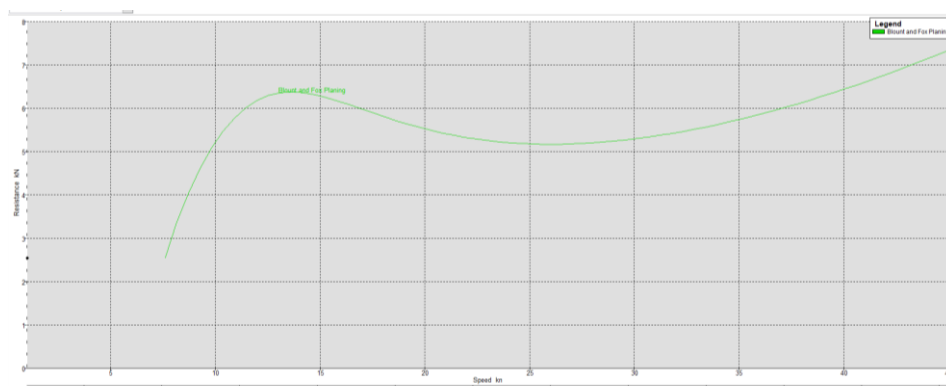


Рисунок 7 – Графік залежності буксирувального опору від швидкості за Blount and Fox.

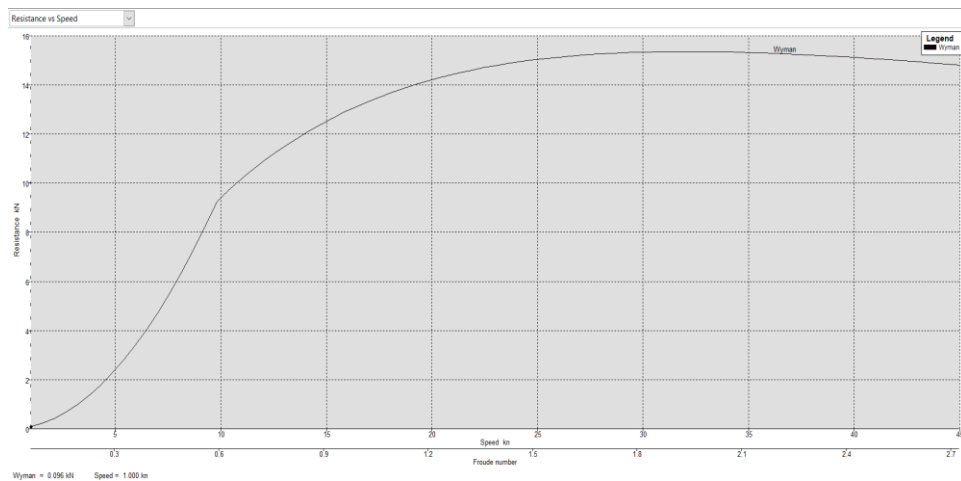


Рисунок 8 – Графік залежності буксирувального опору від швидкості за Wyman

Порівняльна таблиця опору.

Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Savilsky Planing Resist.(kN)	Blount & Fox Planing Resist.(kN)	Wyman Resist.(kN)
1.00	0.061	0.135	-	-	0.1
3. 20	0.194	0.431	-	-	1.0
5.40	0.327	0.727	-	-	2.8
7.60	0.460	1.023	-	2.6	5.6
9.80	0.594	1.319	4.6	5.1	9.2
12. 0	0.727	1.615	5.3	6.2	10.9
14. 2	0.860	1.911	5.6	6.4	12.1
16.4	0.993	2.208	5.6	6.1	13.1
18.6	1.127	2.504	5.5	5.7	13.8
20.8	1.260	2.800	5.3	5.4	14.4
23.0	1.393	3.096	5.2	5.3	14.8
25.2	1.526	3.392	5.2	5.2	15.1
27.4	1.660	3.688	5.2	5.2	15.2
29.6	1.793	3.984	5.4	5.3	15.3
31.8	1.926	4.280	5.5	5.4	15.4
34.0	2. 059	4.577	5.7	5.6	15.3
36.2	2.193	4 873	6.0	5.9	15.3
38.4	2.326	5.169	6.3	6.2	15.2
40.6	2.459	5.465	6.7	6.5	15.1
42.8	2.592	5.761	7.1	6.9	15.9
45.0	2.726	6.057	7.5	7.3	14.8

Дослідження CFD моделювання виконується на тестовому корпусі, див. рис. 9-10

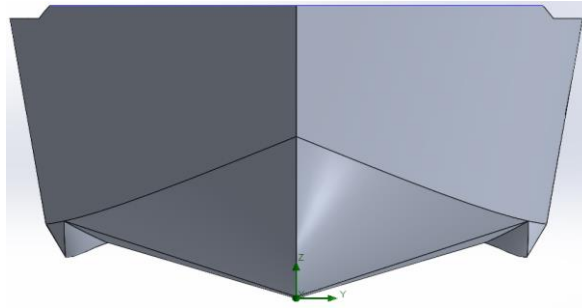


Рисунок 9 – Вид корпус

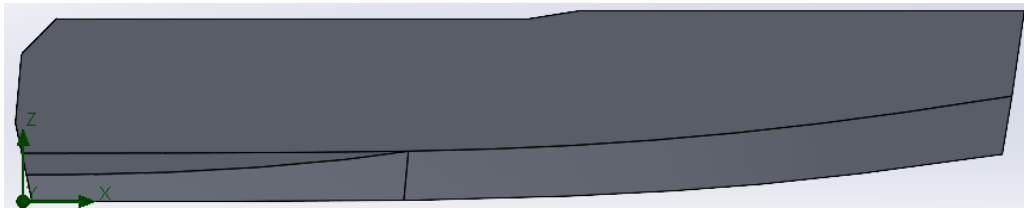


Рисунок 10 – Вид на борт

Для проведення розрахунку буксирувального опору в Flow Simulation, треба задати ряд критеріїв та обмежень: граничні умови обчислення, задання середовищ в яких буде виконуватись розрахунок та сам об'єкт розрахунку – корпус катера, задання параметрів осадки, та залежностей параметрів швидкості у часі.

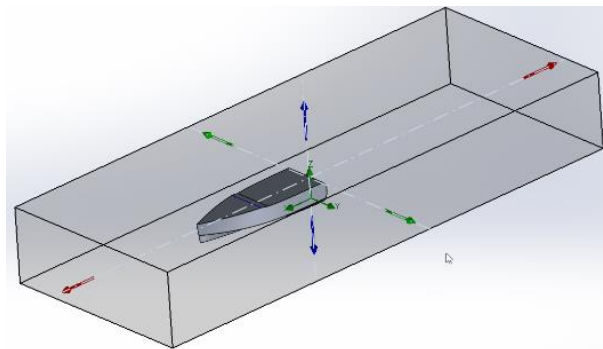


Рисунок 11 – Встановлення розмірів області обчислення

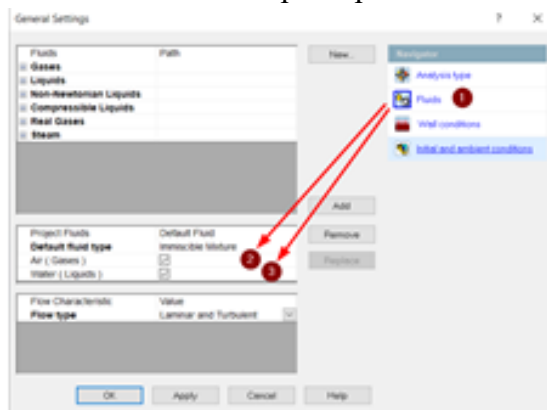


Рисунок 12 – Вибір середовищ випробувань

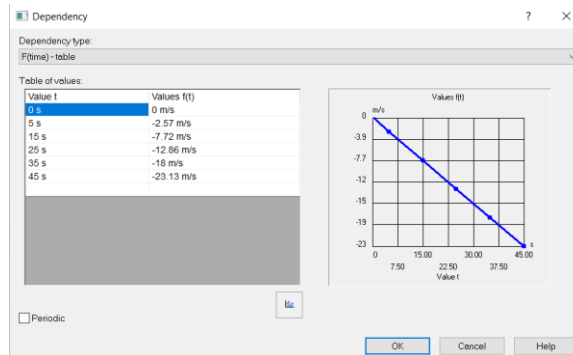


Рисунок 13 – Залежність швидкості у часі

Також до граничної умови симетрії на центральній площині судна, слід визначити граничні умови для входу та виходу. Границя входу часто накладається як поле швидкості і визначається як вхід швидкості, оскільки потік починається з цієї границі і підходить для нестисливих течій. Для границі виходу рекомендується вихід за тиском з умовою Неймана. На корпусі зазвичай застосовується гранична умова реальної стінки, це означає що корпус нерухомий відносно потоку, див. рис. 14.

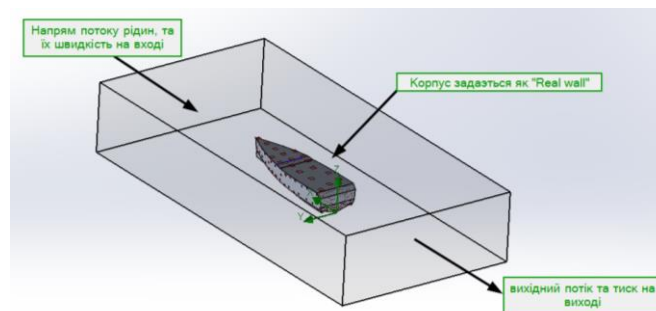


Рисунок 14 – Граничні умови для обчислювальної області

Обираємо задачі розрахунку, а також задаємо локальну та глобальну сітку. Для того, щоб використовувати числові рівняння, область розбивається на менші комірки, які називаються сіткою. Сітка будується зі структурованих або неструктурованих сіток. Структуровані сітки для тривимірних областей будуються з гексаедричних елементів, в той час як неструктуровані сітки можуть мати гексаедричні комірки, тетраедричні, поліедричні або деякі інші форми. Неструктуровані сітки, як правило, є повільніші і мають меншу точність, ніж еквівалентні структуровані сітки.

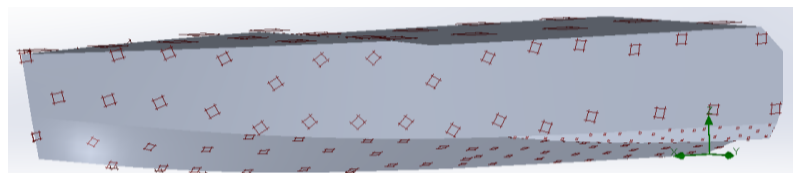


Рисунок 15 – Задання сітки і комірок

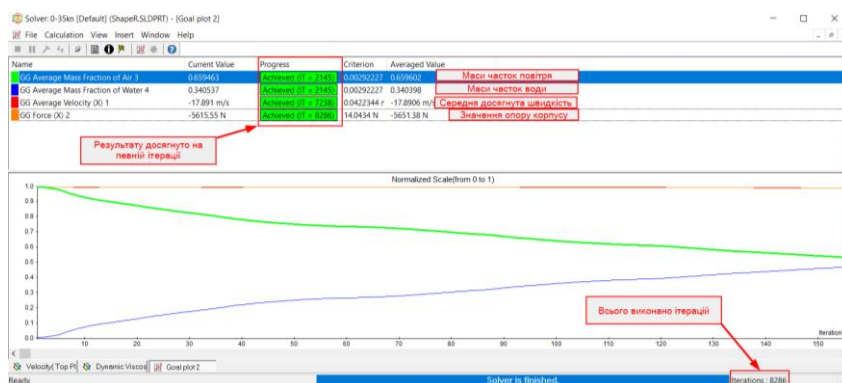


Рисунок 16 – Результати розрахунків у динамічних умовах

Таблиця розрахунку опору

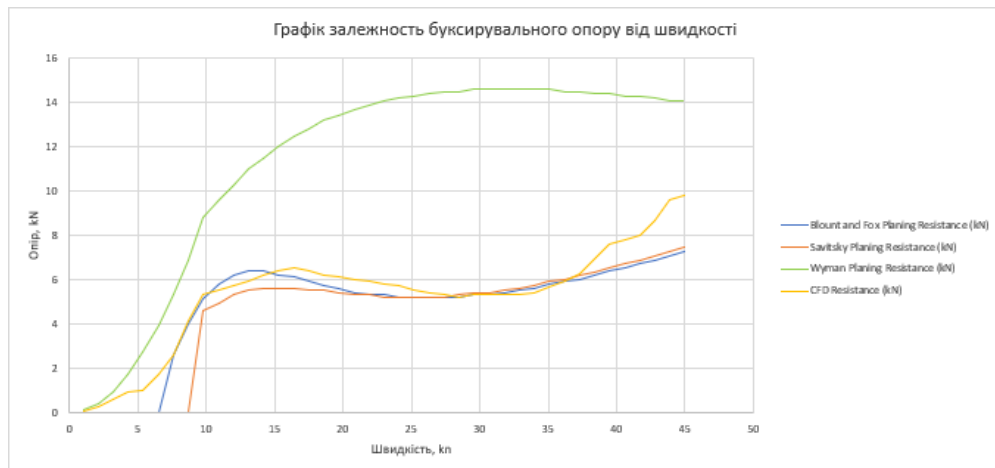
Speed (m/s)	Speed (kn)	Froude No LWL	Froude No Vol	CFD Resistan ce (kN)	CFD Power (kW)
0.514	1			0.0	0.015
1.079	2.1			0.3	0.277
1.645	3.2			0.6	1.000
2.210	4.3			0.9	2.098
2.776	5.4			1.0	2.684
3.341	6.5			1.7	5.680
3.906	7.6			2.6	10.157
4.472	8.7			4.1	18.335
5.037	9.8			5.3	26.698
5.603	10.9			5.5	30.815
6.168	12			5.7	35.158
6.733	13.1			5.9	39.728
7.299	14.2			6.2	45.253
7.864	15.3			6.4	50.332
8.430	16.4			6.5	54.793
8.995	17.5			6.4	57.569
9.561	18.6			6.2	59.275
10.126	19.7			6.1	61.768
10.691	20.8			6	64.148
11.257	21.9			5.9	66.415
11.822	23			5.8	68.568
12.388	24.1			5.7	70.609
12.953	25.2			5.5	71.241
13.518	26.3			5.4	72.999
14.084	27.4			5.3	74.644
14.649	28.5			5.2	76.176
15.215	29.6			5.3	80.637
15.780	30.7			5.3	83.634
16.345	31.8			5.3	86.631
16.911	32.9			5.3	90.219
17.476	34			5.4	94.861
18.042	35.1			5.7	101.953
18.607	36.2			6.0	110.879
19.172	37.3			6.3	120.173
19.738	38.4			6.9	136.902
20.303	39.5			7.6	154.386
20.869	40.6			7.8	163.256
21.434	41.7			8.0	171.837
21.999	42.8			8.7	190.362
22.565	43.9			9.6	216.149
23.130	45			9.8	226.677
					377.795

Рисунок 17 – Розраховані значення буксирувального опору за CFD

Відповідно до оптимальної швидкості 45 вузлів буксирувальна потужність катера:

- метод Blount and Fox - 170 кВт.
- метод Savitsky - 173 кВт.
- метод Wyman – 343кВт
- метод CFD – 227 кВт.

З урахуванням пропульсивного коефіцієнту приймаємо потужність двигуна - 283 kW.



Як бачимо з графіку розрахунки за методами Savitsky та Blount and Fox дали доволі ідентичні значення. Розрахунок за Wyman показує значно вищі значення за два попередні.

У випадку розрахунку CFD бачимо схожий із методом Savitsky пік опору

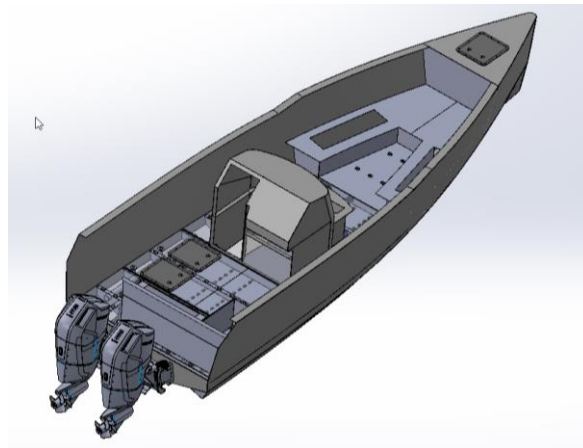


Рисунок 18 – Загальний вид.

Висновки:

З отриманих результатів можна зробити висновок, що рекомендованим для розрахунку в процесі проектування, для прогнозування опору є метод Савицького для всіх швидкостей, що задовольняє критерії застосовності методу. Якщо ж інтерес представляють прогнози для нижчих швидкостей, то рекомендованим методом є CFD.

Для розрахунку і вибору потужності підвісного двигуна слід зважати на результати методів Savitsky та Blount and Fox, проте верхньою межею потужності можуть послугувати результати отримані методом CFD розрахунку. Таким чином зробити вибір двигуна більш оптимальним і обоснованим. В подальшому, було б доцільним проаналізувати результати дослідження моделі в опитовому басейні щоб картина стала ясніше. і порівняти значення отримані на модельних випробуваннях та CFD.

REFERENCES

- [1] Пашченко, & Пікуш. (2023). Про розробку концептуального проекту універсальної глісуючої платформи. Сучасні Технології Проектування, Побудови, Експлуатації І Ремонту Суден, Морських Технічних Засобів І Інженерних Споруд. Всеукраїнська Науково-технічна Конференція з Міжнародною Учасстю., 59–64.
- [2] Formulaboats. (2023, February 24). The History of Recreational Boating | Formula Boats. Formula Boats. <https://www.formulaboats.com/blog/history-of-boating/>

Dmytro V. Norov, Yuriy M. Pashchenko

About the development of the project of a pleasure gliding boat.

Annotation. A project of a pleasure boat has been created, capable of solving the tasks of recreation and providing it with moderate versatility. An analysis of the results of the towing resistance research was carried out using different methods - CFD, Savitsky, Blount and Fox, and Wyman.

Research is limited to bare hull drag and calm water conditions. CFD simulation was performed using Solid Works Flow Simulation software.

Key words: pleasure planning boat; mobility; CFD; analytical study.

УДК 629.5.012

ПРО РОЗРОБКУ ПРОЕКТУ ЯХТИ КЛАСУ «МІНІ»

Пашченко Ю. М., к.т.н., доцент¹, Рябов Д. В., магістрант²

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова^{1,2}

Україна, м. Миколаїв^{1,2}

yurii.pashchenko@nuos.edu.ua¹, frankil12daniil@gmail.com²

Анотація. Створено універсальний проект яхти класу «Міні», здатний вирішувати задачі відпочинку та спортивних вітрильних перегонів. Проведено аналіз результатів розрахунку буксирувального опору.

Ключові слова: проект яхти класу «Міні»; ходовість; буксирувальний опір; аналітичне дослідження.

Мета дослідження. Отримання розрахунків буксирувального опору двох варіантів проекту для оптимального вибору форми корпусу.

Основна частина. Аматорським яхтінгом люди займаються, щоб відпочити, насолодитися красою навколишнього світу, відкрити для себе нові обрії. Однієї зі складових аматорського є крейсерський яхтінг. Він характерний тим, що власники яхт можуть самостійно вибирати маршрут подорожей, набирати команду, і не зобов'язані мати професійні навички керування яхтою, приймати участь у змаганнях та регатах.

Однак придбання власної яхти важко досягне для більшої частини бажаючих через порівняно високу вартість. Тому головна мета обумовлюється у створенні дешевої, якісної, морехідної, транспортабельної яхти.

Оскільки Україна дуже географічно різноманітна потрібна яхта, яка б відповідала вимогам як внутрішнього судноплавства так і експлуатації у морських зонах.

Зважаючи на всі ці обставини було прийнято рішення про розробку проекту класу "Міні", як найбільш підходящого під всі ці вимоги. Трансат (Mini transat), Трансат 6.50, Open 650 або клас Міні - невеликі яхти класу міні призначені для одиночних крейсерських перегонів. Основний регатою є гонка через Атлантичний океан, яка і дала назву класу (trans atlantic) в 1977 році. Клас є відкритим, тобто у змаганнях можуть брати участь яхти що відповідають основним параметрам класу (Рис. 1)



Рисунок 1 - Яхти класу «Міні»

Параметри класу:

- -довжина човна не більше 6.50 м
- -ширина не більше 3 м
- -осадка для прото - 2 м і для серійної яхти - 1.6 м
- -висота борту для прото – 0,75 м і для серійної яхти - 0.8 м
- -висота від кіля до топа 14 метрів для прото і 12 м для серійної яхти
- -середнє значення висоти надводного борту 0.75 м прото і 0.80 м для серії.
- Яхти діляться на два дивізіони - Прото і Серійний дивізіон.

Прото - це дивізіон в якому дозволені практично будь-які матеріали при виготовленні човна, що робить човни дорогими і доступними тільки для професійних гонщиків мають хороших спонсорів. Звичайно ж ці човни максимально швидкі: мають меншу вагу, більшу осадку, велику площу вітрил, менший надводний борт, щоглу з вуглеволокна - все це позначається в позитивну сторону для швидкості.

Серійний дивізіон - цьому дивізіоні все, в розумній мірі, спрямовано на здешевлення човни і підвищення її надійності. Заборонені дорогі матеріали: углеволокно, епоксидні смоли. Для підвищення зручності перебування на борту правилами встановлений більший розмір рубки. Заборонені цистерни і хитні кили. Осадка зменшена до 1.6 метра. Човни дивізіону звичайно трохи повільніше, але доступність за ціною і можливість поєднувати гонки з круїзними плаваннями привертає все більше і більше яхтсменів по всьому світу. (табл.1)



Рисунок 2 – Яхта класу «Міні»

Таблиця 1 - Характеристики прототипів.

MODEL	coco	Pogo 6.5	super calin	te' salt	pogo 2	nacira 650	ofcet 6.50	HYK 2016	HYK 2024
FIRST BUILD	1985	1994	1995	1996	2001	2007	2015	2016	2024
LOA, m	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
LWL, m	6,2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4
S.A., m ²	33.91	41.99	35.30	30.47	37.16	43.94	41.43	35	35
Beam, m	2,7	2,97	2,74	2,7	3	3	2,98	3	3
Displacement, kg	1150	890	900	1000	1000	998	1000	1000	1000
Ballast, kg	450	450	450	380	430	410	400	400	380
Max Draft, m	1.36	1.58	1.60	0.9-1.6	1.60	1.60	1.60	1,6	1.80
Construction	FG	FG Comp	Epoxy w/f core	FG Sandwich	FG Comp	Carbon/Comp	FG w/ foam core	FG Sand w core	FG Sand w core
Hull speed, kn	6,05	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,15	6,14
S.A./Displ.	31.49	46.25	38.60	31.05	37.87	44.85	42.22	36,1	35.67
Bal./Displ.	39.13	90.26	50.00	38.00	42.99	41.09	61.53	40,0	38.00
Disp:/Len:	134.5	136.92	91.27	101.44	101.44	101.21	101.44	101,0	106.31
Comfort ratio ≤20	10,39	6,85	7,71	8,74	7,60	7,58	7,67	7,58	7,68
Capsize Screening Formula	2,60	3,12	2,86	2,73	3,03	3,03	3,01	3,03	3,03
Admiral Coef	108,8	98,18	98,91	106,11	106,11	105,97	106,11	102,3	103,56

Capsize screening formula- Формула захисту від перекидання – метод визначення здатності човнів протистояти перекиданню. Для вітрильних човнів він визначається як: Ширина /, де водотоннажність вимірюється в фунтах, а ширина у футах. Човен краще підходить для океанських переходів (а не прибережних круїзів), якщо результат розрахунку 2,0 або менше.

$$CSF = \frac{Beam (ft)}{\sqrt[3]{\frac{Displacement (lbs)}{64 (\frac{lbs}{ft^3})}}}$$

Comfort ratio sailboat- коефіцієнт комфортності руху – це спроба оцінити загальний комфорт для пасажирів, припускаючи, що пасажир не відчуває дискомфорту під час руху човна вгору та вниз, коли воно стикається з хвилями. Коефіцієнт комфорту руху забезпечує розумне порівняння між яхтами подібного типу. Чим швидше рух, тим незручніше пасажирам. Число нижче 20 вказує на легкий гоночний човен, від 20 до 30 вказує на прибережний крейсер. Від 30 до 40 вказує на крейсерський човен середньої потужності. Від 40 до 50 означає важкий човен.

$$MCR = \frac{Displacement}{0.65 (0.7 LWL + 0.3 LOA) Beam^{1.333}}$$

Адміралтейський коефіцієнт - коефіцієнт, який використовується при попередній оцінці потужності, необхідної в новій конструкції для досягнення бажаної швидкості.

$$C_e = \frac{V^{2/3} \cdot g^3}{N_R}$$

де: D-водотоннажність у тонах, V-швидкість у вузлах, N_R –буксирувальна потужність в кВт. За даними прототипу знаходять значення C_e , та підставляючи його у формулу, знаходять очікувану швидкість яхти.

Для України оптимальний варіант – трейлерна яхта. Яку можна доставити автівкою до місця відпочинку чи змагань. При цьому потрібно забезпечити габаритну ширину 2,5 м та відповідна вага для візка.

Яхти “Міні-Трансат” доводиться транспортувати наступним чином рис.3:



Рисунок 3 – Транспортування яхти «Міні-Трансат»

Призначення яхти - маршрутні перегони вихідного дня у прибережній акваторії морів та внутрішніх водних шляхах, відпочинок на воді.

Для яхт проектів НУК 2016 та НУК 2024, розроблених у “СКБС ЯХТА”, було проведено розрахунки буксирувального опору за методикою Геррітсми [1], заснованої на систематичних випробуваннях моделей яхт у дослідному басейні Дельфтського університету (Рис. 4).

Формула для залишкового опору має вигляд полінома для дискретних значень числа Фруда з коефіцієнтами геометрії корпусу, представленими як змінні.

$$\frac{R_R}{\Delta_c} \times 10^3 = A_0 + A_1 C_p + A_2 C_p^2 + A_3 LCB + A_4 (LCB)^2 + \frac{A_5 B_{WL}}{T_c} + A_6 L_{WL} / \nabla_c^{1/3}$$

де Δ_c - водотоннажність яхти, LCB - горизонтальна відстань ЦВ від міделя в % від LWL, C_p - ф. Коефіцієнти $A_0 - A_6$ табульовані для чисел Фруда від 0,125 до 0,450.

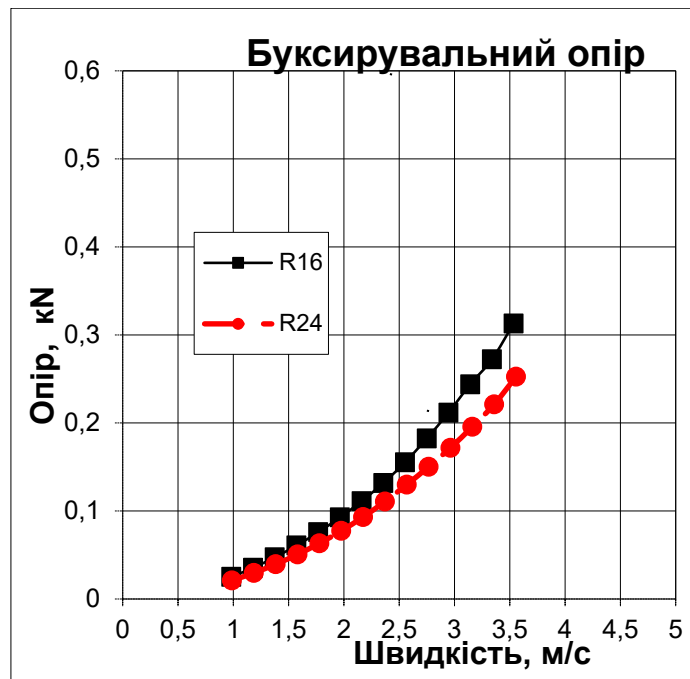


Рисунок 4 – Залежність буксирувального опіру від швидкості яхти

Бачимо, що повний опір яхти НУК 2024, менший за НУК 2016.



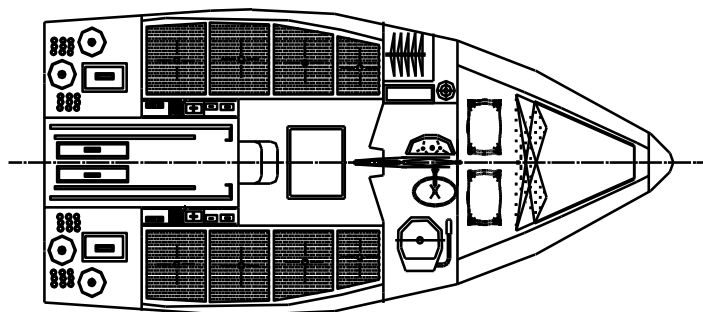


Рисунок 5 - Загальне розташування

REFERENCES

[1] Geritsma, J., Onnink, R., & Versluis, A. (1979). Geometry, Resistance and stability of the Delft Systematic Yacht Hull Series. International Shipbuilding Progress, 28(328).

Yuriy M. Pashchenko, Daniil V. Ryabov

About the development of the "mini" class yacht project.

Annotation: A universal project of the "Mini" class yacht has been created, capable of solving the tasks of recreation and sports sailing races. An analysis of the results of the towing resistance calculation was carried out.

Keywords: "Mini" class yacht project; gait; towing resistance; analytical research.

УДК 629.5.01

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПРОЕКТІВ ГЛІСУЮЧИХ МАЛИХ РЯТІВНИХ СУДЕН НА ПОЧАТКОВІЙ СТАДІЇ

¹Кротов О. І., к.т.н., доцент, ²Астахова А. О., асистент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

¹ krotoff2015@gmail.com, ² alina.astakhova@nuos.edu.ua

Анотація. Проведено аналіз особливостей використання малих глісуючих суден, а також стану і особливостей робіт з проектування малих суден на початковій стадії. На прикладі малого глісуючого рятувального катера для внутрішніх вод наведено послідовність розробки початкової стадії його проекту з використанням сучасних програмних комплексів.

Ключові слова: малі судна; глісуюче судно, початкова стадія розробки проекту, рятувний катер, головні розміри; навантаження мас, характеристики остійності, автоматизоване проектування суден, програмні комплекси.

Мета дослідження. Провести аналіз сучасного стану робіт в області проектування малих суден на початковій стадії і запропонувати підхід до розробки початкової стадії проекту (концептуального проекту) малого глісуючого рятувального катера з використанням сучасних програмних комплексів.

Основний текст. Разом з початком широкого розповсюдження у другій половині минулого століття суден на підводних крилах (СПК) і на повітряній подушці (СВП) глісуючі судна (ГС) були єдиним типом швидкохідних суден різних призначень. Ці судна будуються і в наш час, але їх недостатня морехідність на відкритих акваторіях, які підпадають дії хвилювання і вітру, суттєво обмежує їх розміри і область використання. Тому в умовах внутрішнього плавання, а також на мілководних річках ГС з гребним гвинтом, водометним рушієм по прохідності переважають СПК, а іноді можуть і конкурувати з СВП.

Традиційно процес проектування будь-якого судна повинен проходити при дотриманні основних вимог, які встановлюються в технічному завданні на проектування, яке обумовлює призначення і район плавання судна, умови плавання, швидкість або потужність, або тип двигуна, число екіпажу і пасажирів, маса вантажу, дальність плавання або запас пального, матеріал корпусу, серійність побудови, а також спеціальні вимоги.

Спосіб і послідовність визначення головних розмірів і характеристик проектного судна, тобто методика проектування, залежить від наявності офіційної інформації з особливостей розробки проекту даного типу судна, наявності прототипів, можливостей проектувальника в організації і проведенні експериментів.

Основою проектування ГС можуть бути також результати узагальнення світової практики побудови і експлуатації цих суден і результати теоретичних і експериментальних досліджень у вигляді окремих положень, аналітичних залежностей і графіків, які є основою сучасних практичних методів проектування. По суті ці методи можуть базуватися на традиційних послідовних наближеннях [1,2].

Найбільш важливим моментом проектування майбутнього ГС є попередня або початкова стадія розробки проекту, на якій вирішуються принципіальні питання вирішення основних елементів. Необхідно на даному етапі прийняти таку послідовність вибору головних параметрів, щоб при найменшому числі наближень можна було отримати найбільш вдале рішення, яке найкращим чином задовольняє вимоги замовника.

Як зазначає автор роботи [3], характерною рисою нашого часу є те, що загальної надійної методики проектування малих суден не існує, оскільки вона не здатна враховувати усі особливості флоту малих суден, які мають виключно велику різноманітність архітектурних і конструктивних типів, призначень, умов експлуатації, технології побудови, обмежень і вимог міжнародних і національних правил. Крім того, зазначається, що зараз здійснюється проектування одиничних або малосерійних суден в основному малими проектними групами, для більшості яких в недостатній мірі доступні використовувані у наш час системи автоматизованого проектування.

Нижче наводиться послідовність розробки початкової стадії проекту малого глісуючого рятувального катера з використанням програмних комплексів автоматизованого проектування.

Призначення катера: несення патрульно-рятувальної служби на внутрішніх водоймах, виконання операцій з рятування людей і надання їх першої медичної допомоги.

Основні вимоги, що повинні бути виконані при розробці концептуального проекту малого рятувального катера наступні:

- вимоги для суден внутрішнього плавання відповідно Правил Регістру України;
- район плавання – внутрішні водойми і їх прибережні води з віддаленням від берега до 2 км при висоті хвилі 1,2 м;
- максимальна швидкість при повній водотоннажності повинна бути не менше 25 вуз;

- дальність плавання повним ходом по запасам пального повинна складати 140 км;
- кількість членів екіпажу – 5 осіб;
- силовою установкою повинен бути дизельний двигун з гвинто-рульовою колонкою;
- остійність і морехідність катера повинні забезпечувати безпечне плавання при висоті хвилі 1,2 м;
- непотоплюваність катера повинна бути забезпечена при затопленні кокпіту і МВ;
- обводи корпусу повинні забезпечувати глісування катера (найбільшу можливу швидкість ходу), по можливості безударний рух на хвилюванні і не допускати заливаності катера з носа і корми;
- матеріал корпусу – алюмінієво-магнієвий сплав;
- у корпусі катера необхідно передбачити кокпіт, зручний для виконання рятувних робіт;
- катер повинен мати необхідне медичне і водолазне обладнання.

При виборі головних розмірів та коефіцієнтів повноти рятувального катера, які наводяться в табл.1, були використані залежності і рекомендації роботи [2].

Таблиця 1. Головні розміри, коефіцієнти повноти і водотоннажність катера

1	Довжина найбільша $L_{нб}$, м	5,9
2	Довжина по КВЛ $L_{квл}$, м	5,14
3	Ширина найбільша $B_{нб}$, м	2,1
4	Ширина по днищу B , м	1,9
5	Висота борту D , м	1,0
6	Осадка по КВЛ $d_{квл}$, м	0,30
7	Коефіцієнт загальної повноти C_b	0,72
8	Коефіцієнт повноти ватерлінії C_w	0,94
9	Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута C_m	0,815
10	Водотоннажність, D , т	2,25

Прийняті обводи корпусу катера типу трикільових («Сани Фокса», тунельно – лижний варіант днища корпусу), гостроскулі з нахиленим форштевнем, які забезпечують кращий рух на хвилі, а також належну експлуатаційну остійність. Зазначена форма корпусу, отримана з доступних літературних джерел, послужила основою для розробки поверхні корпусу катера, яка потім була приведена до отриманих в табл.1 коефіцієнтів повноти і головних розмірів (рис.1.) По поверхні корпусу отримано теоретичне креслення і розроблено креслення загального розташування.

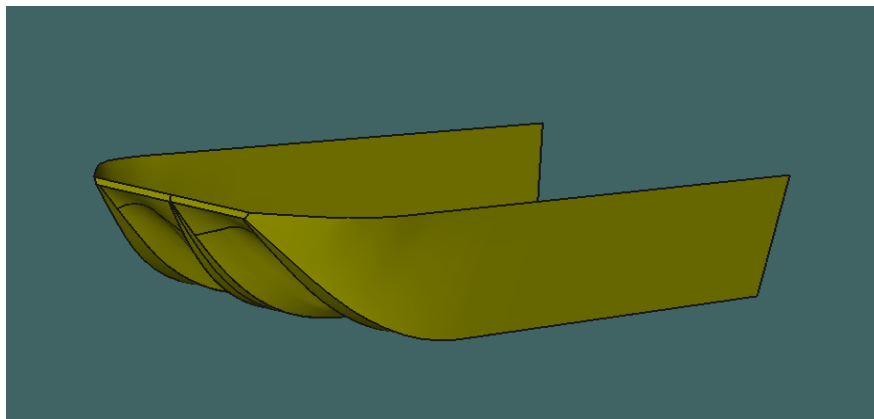


Рисунок 1 – 3D модель корпусу катера типу трикільових

Нижче наводяться основні результати, отримані при розробці всіх етапів проекту катера.

На рис.2 представлені отримані в середовищі Maxsurf Modeler Advanced характеристики початкової остійності для головних розмірів і водотоннажності в табл.1.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	2,236	t
2	Volume (displaced)	2,182	m^3
3	Draft Amidships	0,301	m
4	Immersed depth	0,300	m
5	WL Length	5,140	m
6	Beam max extents on WL	1,960	m
7	Wetted Area	13,309	m^2
8	Max sect. area	0,479	m^2
9	Waterpl. Area	9,447	m^2
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,886	
11	Block coeff. (Cb)	0,721	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,814	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,938	
14	LCB length	-0,283	from zero pt. (+ve fwd) m
15	LCF length	-0,154	from zero pt. (+ve fwd) m
16	LCB %	-5,503	from zero pt. (+ve fwd) % Lw
17	LCF %	-2,995	from zero pt. (+ve fwd) % Lw
18	KB	0,173	m
19	KG fluid	0,001	m
20	BMt	1,365	m
21	BML	8,509	m
22	GMt corrected	1,537	m
23	GML	8,681	m
24	KMt	1,538	m
25	KML	8,682	m
26	Immersion (TPC)	0,097	tonne/cm
27	MTc	0,038	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	0,060	tonne.m
29	Length:Beam ratio	2,622	

Рисунок 2 – Початкова остійність

В середовищі Maxsurf Resistance методами Savitsky і Blount and Fox проведені розрахунки повного опору води рухові катера в режимі глісування і необхідної потужності його головного двигуна для заданої швидкості, результати яких наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків за допомогою Maxsurf Resistance

Швидкість, вуз	Число FrL	Число Frv	Savitsky Planing		Blount and Fox Planing	
			Resist. (kN)	Power (kW)	Resist. (kN)	Power (kW)
25	1,811	3,606	3,7	78,51	3,6	77,66

Результати розрахунків обома методами показали практично однакові результати, що дозволило вибрати двигун потужністю 110 кВт (з 30% запасом).

На наступному етапі проводилися розрахунки складових навантаження мас як сума водотоннажності порожнем, отриманої з використанням статистичних залежностей по масі обладнаного корпусу з роботи [2], масі прийнятого двигуна і гвинто-рульової колонки, а також дедвейту, який визначається характеристиками технічного завдання.

Результати розрахунку координат центра тяжіння при повному навантаженні катера наведені в таблиці рис.3.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
1	Displacement	1	2,250	2,250			-0,500	0,000	0,700
2	Total Loadcase			2,250	0,000	0,000	-0,500	0,000	0,700

Рисунок 3 – Навантаження мас

На рис.4 наведена таблиця результатів удиферентування катера зі значеннями осадки носом і кормою, диференту та інших характеристик.

1	Draft Amidships m	0,297
2	Displacement t	2,250
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	0,223
5	Draft at AP m	0,371
6	Draft at LCF m	0,303
7	Trim (+ve by stern) m	0,147
8	WL Length m	5,009
9	Beam max extents on WL m	1,974
10	Wetted Area m ²	13,564
11	Waterpl. Area m ²	9,213
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,712
13	Block coeff. (Cb)	0,601
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,844
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,932
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,515
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-0,221
18	KB m	0,177
19	KG fluid m	0,700
20	BMt m	1,330
21	BML m	7,831
22	GMt corrected m	0,807
23	GML m	7,308
24	KMt m	1,506
25	KML m	8,005
26	Immersion (TPc) tonne/cm	0,094
27	MTc tonne.m	0,032
28	RM at 1deg = GMt Disp.sin(1) to	0,032
29	Max deck inclination deg	1,6431
30	Trim angle (+ve by stern) deg	1,6431

Рисунок 4 – Посадка катера

В результаті розрахунків остійності на великих кутах крену отримана діаграма статичної остійності, а також таблиця розрахованих критеріїв остійності (рис.5).

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	0,0550	m.rad	0,0987	Pass	+79,45
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	0,0900	m.rad	0,1481	Pass	+64,56
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	0,0300	m.rad	0,0494	Pass	+64,68
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,287	Pass	+43,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	27,3	Pass	+9,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,807	Pass	+438,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	3,4	Pass	+78,48
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80,00	%	10,43	Pass	+86,96
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	153,85	Pass	+53,85

Рисунок 5 – Перевірка остійності

Висновки. В доповіді розглянуто сучасний стан початкового проектування малих суден і наведено результати основних розрахунків, які були проведені на етапах розробки концептуального проекту малого рятувального глісуючого судна.

REFERENCES

- [1]. Кротов, О. І., Голіков, В. І., Єганов, О. Ю., & Бондаренко, О. В. (2003). *Проективання малотоннажних суден*: Навчальний посібник. УДМТУ.
- [2]. Бондаренко О. В., Кротов О. І., Кротов А. О. *Аналіз особливостей малих суден і розробка методу їх початкового проектування*. Збірник наукових праць НУК, № 1 (494) 2024, с. 4-12.
- [3]. Кузнецов А.И. (2021). *Особенности проектирования малых судов*. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», р.73–75.

O.I. Krotov, A.O. Astakhova

Features of project development of small planning rescue vessels in the initial stage

Annotation. An analysis of the features of the use of small floating vessels, as well as the state and features of works on the design of small vessels at the initial stage, was carried out. The sequence of development of the initial stage of its project using modern software complexes is given on the example of a small gliding rescue boat for inland waters.

Keywords: small vessels; floating vessel, initial stage of project development, rescue boat, main dimensions; mass loading, stability characteristics, automated ship design, software complexes.

УДК 629.5.01

КОНВЕРТАЦІЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА КАТЕРАХ

Литвинов В. В., магістр

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Україна, м.Миколаїв

lytvynov.viktor.v@gmail.com

Анотація. Піднято питання конвертації автомобільних двигунів з подальшою адаптацією їх та установленням на маломірні судна, тобто катери. Приведені приклади успішного використання подібних вже готових реалізованих проектів. Заклик вивчення і поглиблення цієї тематики, як необхідність в сучасних українських умовах, що склалися.

Ключові слова: автодвигуни; конвертація; катери.

Сучасний світ — це динамічний світ, який вимагає і стандартизації, і водночас ідентичності. Ідентичність і самобутність ми залишаємо за людьми, культурами, народами, а звідси за особистостями, як унікальність, а ось стандартизацію і як її похідну можливість конвертації з одного в інше для зручності - техніці.

Одним зі зручних іноді варіантів удосконалення, втілення тієї чи іншої ідеї - є конвертація, простіше кажучи, в нашому випадку це переробка, перетворення з потрібним результатом однієї готової технічної продукції в іншу.

Актуальність конвертації: доступність автомобільних двигунів; дешевша ціна автомобільних двигунів у порівнянні з водними; прагнення людини винаходити і конструювати.

Ціль роботи: проаналізувати сучасні двигуни та їх сучасно-технологічну можливість удосконалення з подальшою конвертацією та установленням на швидкісні катери, катери загального використання, як на внутрішніх водних артеріях, так і з характеристиками для експлуатації на морських акваторіях. Вивчення проблематики такого засобу переробки — це адаптація системи охолодження, управління, синхронізація вузлів.

Окремим рядком хотілося би зупинитися і підкреслити важливість цього дослідження в сучасних українських реаліях, умовах, що склалися. Зараз на багатьох напрямках роботи, як наших цивільних, так і військових, катери стають як засіб пересування, як помічники і часто як дуже потрібний, але можна сказати розхідний матеріал. Тому тезисно наведемо у дослідженні приклади використання саме подібних конвертацій по Світу і їх відносну простоту і дешевізу. Приклади почнемо від простого, те що можна зробити в гаражних

умовах і закінчено складним, те що робиться відомими компаніями на заводах по такому же принципу конвертації.

Розглянемо спочатку найпопулярніші найпростіші конвертації.

Зразок 1.

Звернувшись до всесвітньої мережі я натрапив на цікаве відео, де ми по кадрах бачимо, як з простого двигуна з автомобіля Daewoo, була зроблене переробка і відповідно механізми до конвертації заради повноцінної експлуатації катеру:



Рисунок 1 – Катер з двигуном від автомобіля на воді [1]



Рисунок 2 – Автомобільний двигун з автомобіля Dewoo Nexia 1,6 [2]

В даному випадку ми бачимо на катері двигун Dewoo Nexia об'ємом 1,6 л та заявленою потужністю 109 к.с.



Рисунок 3 – Гідравлічна система передачі управління [1]

В цьому випадку маневреність здійснюється за рахунок гідравлічного приводу з іншого, скоріш більш великого вантажного, або тракторного типу автомобіля.

Передача виконується таким чином: на маховик прикручене центробіжне щеплення і на гвинт прямий вал. Відповідно мотор стоїть трохи під кутом, ККД один з найбільших. Система охолодження замкнутого донного типу, тобто на дні піддон, який охолоджується завдяки тому, що дно човна має більш меншу температуру поверхні.

Показники швидкості: до 60 км/год відносно ґрунту, причому це об'єм 1,6 літри і двигун не турбуваний, а без навантаження на швидкісному гвинті - 70 км/год з одним чоловіком. Приблизні розміри човна: 6 на 2 метри, висота борту 1,5 м, плоскодонна.

Зразок 2.

Перенесемось на вулиці Банг-Коку, точніше на його канали і навколишні річки, де на окраїнах влаштовують перегони на човнах з двигунами від автомобілів. Класи човнів на цих перегонах діляться на бензинові і дизельні, відповідно по об'ємах.



Рисунок 4 – Гоночний човен з двигуном від автомобіля [3]

Матеріал човна — деревина, приблизні довжина та ширина: 10 на 1,5 метри. Щеплення відсутнє, привід за рахунок нахилу (підняття-опускання) на шарнірах двигуна та валу з

гвинтом. Також цікавим є виготовлення спеціальних гвинтів швидкохідних човнів - вони мають дуже гострі краї для розрізання води.



Рисунок 5 – Двигун від пікапа Isuzu з прямим приводом [3]

Бензиновий двигун дешевше, його простіше обслуговувати. Дизелі, як правило, більш потужні за рахунок об'єму, бо знімаються з пікапів. З відео ми можемо зрозуміти, що найбільш ходові двигуни там, це двигуни з пікапів Isuzu з робочим об'ємом від 2,5 літри до 5,2. Приблизна ціна подібних переробок десь в районі 10 тис у.о. (доларів США), що включає в себе встановлення додаткових турбин, переробку системи охолодження, встановлення і підключення двигуна на катер. На 3,0 літровому двигуні з турбонаддувом на таких двигунах була отримана максимальна швидкість в 150 км/г. Розгін до 100км/г за 10 і менше секунд.

Зразок 3

В цьому розділі ми бачимо двигуни відомих автомобільних марок, які так чи інакше можна назвати вже подвійного використання, бо вже не в гаражних, а в заводських умовах двигуни були адаптовані для подальшого використання на воді, в основному на швидкісних катерах для перегонів та суперяхтах.



Рисунок 6 – 13,1-метровий моторний катер Lancia di Lancia [4]



Рисунок 7 – Двигун FPT серії 67 [5]

"13,1-метровий моторний катер Lancia di Lancia — результат співпраці між чотирма італійськими компаніями: конструктором РІБ класу люкс Sacs, підрозділом автоконцерну Fiat Powertrain Technologies, виробником вермутів Martini і автомобільною компанією Lancia. Він поєднує комфорт і стиль спортивного купе з місткістю невеликого круїзера і може перевозити до 11 пасажирів. На місцевій палубі є кондиціонована каюта для двох.

Склопластиковий корпус катеру відливається за допомогою прес-форми, потім збирається вручну. Кожен екземпляр моделі персоналізовано відповідно до вимог замовника. Складаний дах із електричним приводом захищає пасажирів від негоди. Два двигуни Fiat FPT N67-560 забезпечують максимальну швидкість човна 55 вузлів." [4]

Зразок 3,1



Рисунок 8 – Lexus Sport Yacht [4]

“Дітище Lexus - 12,7-метрова Lexus Sport Yacht - на всі сто виправдовує очікування шанувальників преміальної марки автомобілів. Цей заряджений спідбот може похвалитися бездоганним стилем та розкішшю.

Пара двигунів Lexus V8 по 440 «конячок» кожен розганяє човен до 43 вузлів. На катері достатньо місць для восьми пасажирів. Досвідчений прототип Lexus Sport Yacht був збудований у Віконсіні силами Marquis-Carver Yacht Group. На жаль, Lexus не збирається запускати цю модель у серійне виробництво.» [4]

Висновок: тема переобладнання двигунів не нова, але в нашому випадку дуже актуальна. З цього матеріалу ми бачимо, що встановлювати двигуни з автомобілів з їх адаптацією під різні потреби на катери можна як з доробкою самого двигуна (наприклад устанавлюючи турбонаддув), або без особливих доробок. Потребує окремої уваги система охолодження, управління-керування (як керуемого катеру, так і дистанційного управління), удосконалення. Причому при бажанні від самого двигуна можна за потреби використовувати кондиціювання, підігрів. Спектр двигунів і об'ємів різний: бензинові та дизельні різних модифікацій від 50 см³ до 8 л³ та більше. Нас в першу чергу зараз приваблює ця тема своєю доступністю та відносною економією.

REFERENCES

- [1] Журалайф. (2022, March 24). [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xJsamoin9UM>
- [2] Daewoo Nexia N150 1.6 MT DOHC (ND 19) - , , . (n.d.). InfoCar.ua. https://daewoo-nexia.infocar.ua/mod_1.6-mt-dohc-nd-19_nexia-n150_id593.html
- [3] KREOSAN. (2022, October 29). [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=WKGKSPc50-w>
- [4] <https://itboat.com/ru/articles/1041-vosem-samyh-krutyyh-lodok-sproektirovannyh-avtoproizvoditelyami>
- [5] ТОВ “Техноактив Інвест” м. Хмельницький. (n.d.). Двигуни FPT ?? Технічні характеристики ?? Техноактив Інвест. ТОВ “Техноактив Інвест” М. Хмельницький. <https://technoaktyv.com.ua/ua/cp67232-dvigateli-fpt-fiat-powertrain-technologies.html>

Lytvynov V.

Conversion of car motors for use on boats.

Annotation. The issue of converting automobile engines with their subsequent adaptation and installation on small vessels, i.e. boats, was raised. Examples of successful use of such ready-made projects are given. A call for study and deepening of this topic, as a necessity in the modern Ukrainian conditions that have developed. **Keywords:** car motors, conversion, boats.

УДК 629

МОРСЬКІ ГАЗОТУРБІННІ ДВИГУНИ

Якимчук Сергій Анатолійович
Україна, Київ
inrevido@gmail.com

Анотація. Газотурбінні двигуни (ГТД) пропонують широкий діапазон потужності в порівняно невеликих розмірах і використовуються в різноманітних галузях, включаючи морський привід. У цій статті розглядаються переваги ГТД та систем ГТД у морській промисловості. Вона висвітлює економічні, пов'язані з продуктивністю та екологічні

переваги використання ГТД на судах, надаючи коротку інформацію про комбінації з дизельними і паровими двигунами.

Ключові слова: *Морські газотурбінні двигуни, продуктивність газотурбінних двигунів, економічні переваги.*

Вступ. ГТД пропонують широкий спектр потужності у порівняно невеликих розмірах і використовуються у різноманітних цілях виробництва енергії, починаючи від виробництва комунальної енергії до транспортування або військових транспортних засобів, таких як літаки, високошвидкісні реактивні літаки, вертольоти, кораблі, танки, локомотиви, а навіть в турбонаддувах автомобілів та мотоциклів. Важливою характеристикою ГТД, яка робить їх більш екологічно чистими, ніж їх конкуренти – дизельні двигуни, і однією з причин, що пояснюють краще співвідношення потужності/ваги, є те, що згорання в ГТД є неперервним із середніми температурами та тисками нижчими, ніж пікові рівні у дизельних двигунах, які сприяють викидам NOx і, отже, вимагають міцнішої конструкції. Більше того, ГТД можуть працювати на широкому спектрі палива, включаючи природний газ, який забезпечує чисте згорання. Причиною цього є те, що двигуни з неперервним потоком розвивають стійку аеродинаміку та кінетику полум'я, що зменшує обмеження, що накладаються на властивості палива для згорання, такі як обмеження за числом RON (октановим числом) або індексом цетану. Крім того, фундаментальною характеристикою неперервного згорання в ГТД є те, що час перебування при високих температурах полум'я (основна причина утворення NOx) може бути контрольований.

Мета роботи: Розгляд переваг ГТД та систем ГТД у морській промисловості. Робота висвітлює економічні, продуктивні та екологічні переваги використання ГТД на судах і надає коротку інформацію про комбінації з дизельними та паровими двигунами.

Постановка задачі: Аналіз різних конфігурацій газотурбінних систем у судновому приводі, визначення впливу використання ГТД на екологічний стан морського середовища та розгляд можливих шляхів покращення продуктивності цих систем.

Розв'язання задачі: Розглядаючи переваги ГТД у морській промисловості, можна зазначити, що їхня висока ефективність та екологічна чистота роблять їх привабливими для використання у судновому приводі. Застосування ГТД у складі суднових систем дозволяє зменшити споживання палива, знизити викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище та покращити загальну продуктивність суден.

Аналіз різних конфігурацій газотурбінних систем у судновому приводі показує, що комбіновані системи, такі як CODAG та CODOG, забезпечують оптимальний баланс між ефективністю та економічністю в залежності від потреб конкретного судна.

Окрім використання ГТД виключно як приводного агрегату, вони застосовуються в поєднанні з іншими приводними агрегатами. У таких системах можна використовувати переваги різних типів двигунів. Забезпечується оперативна гнучкість. Нижче наведено короткий опис таких систем:

CODAG означає комбінований цикл дизельного та ГТД. Дизельний двигун використовується при низьких потужностях, а ГТД працює, коли потрібна велика потужність (рис. 1). У комбінованих системах дизельного або газового турбінного приводу (CODOG) кожна гвинтівка має один дизельний та один ГТД для високих швидкостей. ГТД або дизельний двигун можуть працювати окремо через просту зубчасту передачу. Це потребує більшої ГТД

для задоволення тієї ж пікової потужності, і, як правило, використовується на військових суднах, які потребують значно вищих швидкостей, ніж їх крейсерські швидкості. Коли потрібна максимальна потужність, ГТД працює разом із паровим двигуном (рис. 2).

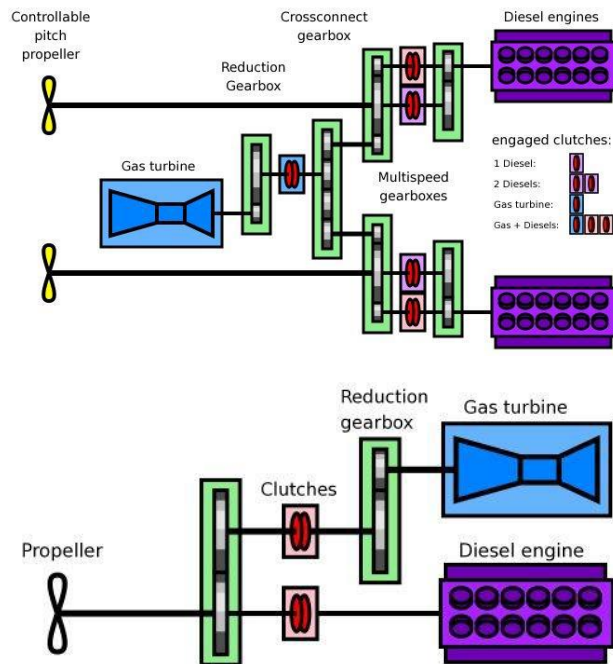


Рисунок 1 – CODAG (вище) та CODOG (нижче).

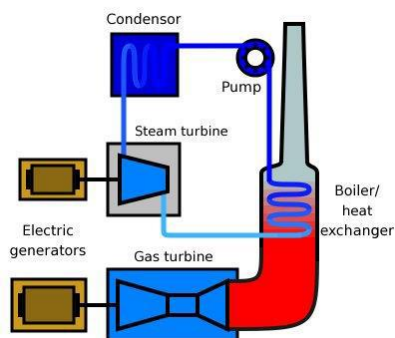


Рисунок 2 – Типовий COGES розміщення.

COGES означає комбінований цикл газових електричних та парових турбін. У цій системі двигуни приводять генераторні установки. Ці системи використовують рекупераційні котли для виробництва перегрітої пари з відходів відпрацьованих газів газової турбіни. Тепло для судна, як правило, подається з парової турбіни в таких укладаннях. Додаткове паливо для парової турбіни не потрібне, тому є приріст ефективності на рівні 15-18 відсотків порівняно з простою газотурбінною системою приводу.

Висновки. Використання ГТД у морському приводі суден має великий потенціал для покращення економічних, продуктивних та екологічних показників. ГТД пропонують ефективні та чисті технології для суднового приводу, що дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище та покращити економічні показники експлуатації суден.

Застосування комбінованих систем, таких як CODAG, CODOG та COGES, дозволяє забезпечити оптимальний баланс між ефективністю та економічністю в залежності від потреб конкретного судна. Використання різних типів двигунів в поєднанні з ГТД забезпечує оперативну гнучкість та ефективне управління енергоспоживанням.

Загальною тенденцією є зростання зацікавленості у використанні ГТД у морській промисловості, що обумовлено їхньою високою продуктивністю, екологічною безпекою та потенціалом для покращення ефективності суднових систем. Очікується, що з розвитком технологій та змінами в законодавстві, використання ГТД в морській промисловості продовжить зростати, сприяючи покращенню стану навколишнього середовища та забезпеченню сталого розвитку морського транспорту.

REFERENCES

- [1] Сміт, Дж. Д., та Джонсон, Р. Т. (2018). Газові турбіни для морського приводу: останні досягнення та майбутні тенденції. *Naval Engineers Journal*, 130(1), 79-88.
- [2] Лі, Х., та Ченг, Дж. (2020). Порівняльне дослідження продуктивності морської газової турбіни та дизельного двигуна на основі моделювання систем приводу. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(9), 668.
- [3] Кім, Д. Х., та Чонг, Дж. Х. (2019). Дослідження покращення ефективності суднової енергетичної системи з комбінованим приводом. *Energies*, 12(15), 2883.
- [4] Чжан, Ї., Лі, Ї., та Хуанг, Дж. (2021). Дослідження оптимізації схеми розташування газової турбіни у судновій системі приводу. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), 488.
- [5] Сон, Д. Х., Кім, Т. Х., та Лі, Х. С. (2018). Дослідження характеристик ефективності та викидів подвійних паливних двигунів для морських застосувань. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 10(2), 225-233.
- [6] Ву, С., Лі, С., та Донг, Ф. (2019). Порівняльне дослідження енергоефективності суднових систем приводу на основі газової турбіни та дизельного двигуна. *Marine Technology and SNAME News*, 56(6), 100-106.
- [7] Андерсон, Дж. Д. (2016). *Основи аеродинаміки* (6-е видання). McGraw-Hill Education.
- [8] Меттінглі, Дж. Д., та фон Огайн, Г. (2017). *Елементи приводу: газові турбіни та ракети* (2-ге видання). American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [9] Уайт, Ф. М. (2016). *Гідродинаміка* (8-е видання). McGraw-Hill Education.
- [10] Хейвуд, Дж. Б. (2018). *Основи внутрішнього згоряння* (2-ге видання). McGraw-Hill Education.

Yakymchuk Serhii

Sea gas turbine engines

Annotation. Gas turbine engines offer a wide range of power in relatively compact sizes and are used for various energy production purposes, ranging from municipal power generation to transportation or military vehicles such as airplanes, high-speed jets, helicopters, ships, tanks, locomotives, and even in automotive and motorcycle turbocharging. An important characteristic of gas turbine engines, making them more environmentally friendly than their diesel engine counterparts, and one of the reasons explaining their better power-to-weight ratio, is that combustion in gas turbine engines is continuous with average temperatures and pressures lower than peak levels in diesel engines, which contribute to NOx emissions and thus require sturdier construction. Furthermore, gas turbine engines can operate on a wide range of fuels, including natural gas, which ensures clean combustion. This is because continuous flow engines develop stable aerodynamics and flame kinetics, reducing constraints imposed on fuel combustion properties, such as limitations on the Research Octane Number (RON) or Cetane Index. Additionally, a fundamental characteristic of continuous

combustion in gas turbine engines is that the residence time at high flame temperatures (the primary cause of NO_x formation) can be controlled.

Keywords: sea gas turbine engines, gas turbine engine performance, economic advantage.

УДК 629.5.01

ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК НАДВОДНОГО ДРОНУ

Геляра В. В., аспірант

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

student2abcd@gmail.com

Анотація. У сучасному світі надводні дрони відіграють ключову роль у вирішенні різноманітних завдань, від моніторингу морського середовища до підтримки військових операцій. В цьому звіті ми розглянемо основні характеристики надводних дронів, що на сьогоднішній день відомі та використовуються у різних сферах діяльності.

Ключові слова: надводний дрон; характеристики; особливості

ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ

Розмір і дизайн

- Водні дрони можуть бути різних розмірів, від компактних моделей до великих апаратів.
- Конструкції, як правило, легкі та стійкі до морських умов завдяки міцному корпусу та захисним елементам.

Системи живлення:

- Більшість водних дронів живляться від акумулятора, але деякі моделі можуть бути оснащені сонячними панелями для зарядки.
- Ефективна система живлення дозволяє дрону працювати тривалий час без необхідності підзарядки.

Навігаційні функції:

- Водні дрони зазвичай оснащені навігаційними системами, такими як GPS для точного позиціонування.
- Деякі моделі оснащені автопілотом для автоматичного пілотування.

Датчики:

- Багато водних дронів оснащені різними датчиками, такими як камера, сонар і гідрофон.
- Ці датчики дозволяють дронам виконувати різні завдання, такі як морське спостереження, картографування морського дна і виявлення підводних об'єктів.

Контроль і зв'язок:

- Більшістю надводних дронів можна керувати дистанційно за допомогою радіоуправління або мобільних додатків.
- Деякі моделі можуть працювати автономно і передавати дані в режимі реального часу через супутниковий зв'язок.[1]

ЗАСТОСУВАННЯ НАДВОДНИХ ДРОНІВ

Дослідження. Моніторинг морського середовища: підводні дрони можна використовувати для збору даних про температуру води, рівень забруднення, розподіл морських мешканців тощо.

Вивчення морських явищ: вони можуть допомогти у дослідженні природних явищ, таких як хвилі, течії та погодні умови.

Комерційне застосування. Морські геологічні дослідження: підводні дрони можуть допомогти в розвідці мінеральних ресурсів і нафтових родовищ.

Рибальство та аквакультура: можуть використовуватися для моніторингу стану рибних запасів і розведення риби.

Військове застосування. Патрулювання і спостереження: можуть використовуватися у військових операціях для виявлення і відстеження підозрілих суден і об'єктів.

Пошук і порятунок: можуть використовуватися для пошуку і надання допомоги потерпілим у разі аварії або катастрофи на морі.

Порівняльний аналіз використання водних дронів у різних секторах показує, що їхні можливості є широкими і різноманітними. Вони часто використовуються для розвідки і спостереження у військових цілях, досліджень і спостереження в наукових і комерційних цілях. Важливо також враховувати потенційні етичні і правові аспекти застосування цих технологій у різних галузях.[2]

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ НА МОРСЬКУ ІНДУСТРІЮ

Переваги використання надводних дронів полягають у наступному. Підвищення ефективності: підводні дрони можуть виконувати широкий спектр завдань, таких як моніторинг морського середовища, пошуково-рятувальні роботи і картографування морського дна, підвищуючи ефективність і точність виконання різних завдань в морській індустрії.

Менший ризик для людей: Використання підводних дронів може зменшити ризик для людей, особливо у військових, навігаційних і дослідницьких місіях, де можуть існувати небезпечні умови.

Зниження витрат: Використання автономних підводних дронів може знизити операційні витрати порівняно з традиційними методами, оскільки вони не потребують людських ресурсів або складного обладнання.

Однак впровадження підводних дронів також створює виклики для морської індустрії

Технічні та програмні проблеми: Розробка і обслуговування підводних дронів вимагає високого рівня технічних знань і великих витрат, особливо в галузі автономного програмного забезпечення.

Питання безпеки та конфіденційності: Використання надводних дронів може викликати питання конфіденційності та безпеки даних, особливо коли вони використовуються у військових і розвідувальних цілях.

Регуляторні обмеження: Надводні дрони підлягають регулюванню з боку міжнародних і національних органів влади, що може призвести до обмежень на їх використання. Враховуючи як переваги, так і виклики, пов'язані з використанням надводних дронів, ця технологія може бути більш ефективно інтегрована в сучасний морський сектор.[3]

ВИСНОВОК

Надводні дрони стали важливою частиною сучасних технологій у морському середовищі. Їх різноманітність і можливості роблять їх незамінними в різних галузях, від

наукових досліджень до безпеки та оборони. Розвиток цих технологій надає нові можливості для вирішення складних завдань на морі та забезпечує безпеку та стабільність у морському середовищі.

REFERENCES

- [1] Fossen, T. I. (2016). Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. John Wiley & Sons.
- [2] Healey, A. J., Allen, R., & LaPointe, B. (Eds.). (2017). Autonomous Surface Vehicles: Technology and Applications. CRC Press.
- [3] Maas, L. R. (2018). Autonomous Underwater Vehicles: Technology and Applications. Woodhead Publishing.

Heliara V.

Overview of unmanned surface vessel characteristics

Annotation: In today's world, USV play a key role in solving a variety of tasks, from monitoring the marine environment to supporting military operations. In this report, we will consider the main characteristics of USV that are currently known and used in various fields of activity.

Keywords: unmanned surface vessel; characteristics; features

УДК 629.5.01

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВОЕННОГО ЧАСУ НА ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ УКРАЇНСЬКОЇ ПШЕНИЦІ

Максименко Є. А., магістрант

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

lmaksymenko09@gmail.com

Анотація: Розглянуто оптимізаційну задачу стохастичного концептуального проектування балкера для транспортування зерна з України на ринки Франції, яка вирішує проблему вибору його головних розмірів за допомогою використання методів теорії ймовірності. Оптимізацію виконано по критерію максимуму прибутку при різних фрахтових ставках, що обумовлені транспортуванням зерна у різний час – мирний та воєнний. Проведено дослідження впливу цього фактору на значення головних елементів балкера та показники ефективності та надійності його експлуатації.

Ключові слова: балкер, зерно, оптимізаційна задача, ефективність перевезень, максимум прибутку, оптимальні головні елементи

Вступ. З давніх часів економіка України базується на експорті зерна, серед якого домінує (до 40%). Однак лише в епоху незалежності України обсяги експорту українського зерна досягли світового рівня. Серед експортерів пшениці середнього класу Україна є лідером. Вона має власний постійний ринок збуту в Європі.

Пшениця транспортується з портів України на ці ринки за допомогою великотоннажних суховантажників. Ставки фрахту на перевезення пшениці такими балкерами зазвичай повідомляє українська інформаційна служба "АПК-Інформ". Наприклад, за даними цього сервісу [1], у 2021 році у мірний час ставки фрахту на морські перевезення пшениці партіями по 10 тис. тонн з порту Південний в напрямку Франції (відстань між портом Південний, Україна, і портом Марсель, Франція становить близько 1750 морських миль) становили \$35-36 за тонну.

У воєнний час 2023 року ставки фрахту зросли до \$55-56 за тонну [2].

Мета роботи. У зв'язку з цим, метою даної дослідницької роботи є визначення основних елементів і характеристик балкеру вантажопідйомністю 11000 тон, який може транспортувати українську пшеницю на ці ринки з найбільшою ефективністю.

Основна частина. В якості критерію ефективності (при заданих фрахтових ставках) прийнято максимальний прибуток за період експлуатації балкера

Проведено порівняння рівнів ефективності балкеру у різний час його використання.

В якості моделі експлуатації балкеру була обрана модель послідовних рейсів [3]. З порту України цей балкер перевозить пшеницю, а у зворотному напрямку - товари ринків за однаковими фрахтовими ставками.

Визначення ефективності балкеру проводилося з використанням комплексу програм оптимізації основних елементів балкера, розробленого на кафедрі теорії та проектування суден Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова [3].

Основним показником використання балкеру за призначенням є прибуток P_l , який для l -го рейсу визначається за відомою формулою

$$P_l = I_l - E_l, \quad (1)$$

де I_l - отриманий дохід, E_l - витрати.

Величини P_l , I_l , E_l , є випадковими [4]. Випадковість цих величин визначається коливаннями фрахтових ставок, цін на паливо, впливом випадкових вітро-хвильових дій на витрату палива, тривалістю рейсу тощо.

Цільовою функцією оптимізаційної задачі є наступний вираз для прибутку [3]:

$$OF = \sum_{l=1}^L (P_{ll} \bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B}; \quad (2)$$

де P_{ll} - ймовірність отримання доходу, $\bar{B}$ - середня вартість будівництва судна (проектування та побудови), $\bar{I}_l$ і $\bar{E}_l$ – середній рейсовий дохід та середні рейсові витрати.

Рішення оптимізаційної задачі з цільовою функцією (2) виконується за допомогою метода Пауелла [5]. В процесі пошуку оптимального проектного рішення судна показник OF максимізується, налаштовуючи проектне рішення на максимізацію прибутку. Результати розв'язку оптимізаційної задачі наведено у таблиці.

Таблиця 1 - Результати розв'язку оптимізаційної задачі:

Main dimensions	Балкер мирного часу	Балкер воєнного часу
Length, m	122.9	122.3
Breadth, m	22.5	22.5
Draught, m	6.6	6.5
Depth, m	10.1	10.0

Продовження табл.1

Block coefficient C_b	0.877	0.870
Middle section coefficient C_m	0.979	0.979
Waterline area coefficient C_w	0.843	0.840
Volume Displacement V , m^3	16057	15580
Propulsion complex		
Model of Main Engine	MAN	MAN
Power of Main Engine N_e , kW	4858	3991
Speed V_s , knots	12.4	12.0
Light displacement		
Mass of constructions, t	3463	3360
Mass of propulsion plant, t	525	509
Mass of electrical plant, t	64	62
Mass of control system, t	9.9	9.6
Mass of auxiliary system, t	232	225
Mass of equipment and furniture, t	216	209
Mass of ballast, t	0.00	0.00
Light displacement, t	4510	4376
Deadweight and Full Displacement		
Mass of crew and provisions, t	4.6	4.6
Mass of freshwater marine, t	115	115
Mass of ship fuel and oil, t	721	593
Mass of Load1, t	11000	11000
Mass of Load2, t	11000	11000
Deadweight, t	11841	11711
Displacement full, t	16350	16087
Stability parameters		
Vertical ship gravity centre, m	6.6	6.5
Vertical ship buoyancy centre, m	3.2	3.2
Transversal metacentric radius, m	4.9	5.0
Initial metacentric height, m	1.6	1.7
Maximum righting lever arm, m	1.8	1.9
Angle of maximum lever arm, deg.	46.5	46.5
Angle of vanishing stability, deg.	81.1	81.4
Criteria of stability	14.3	14.0
Period of free rolling, sec	15.8	15.3
Indexes of ship reliability		
Time of Circular Trip, hours	367	373
Average value of Load in Half Trip, t	11000	11000
Average Time of Half Trip, hours	184	187
Number of Circular Trip per year	23	23
Probability of Transport Operations Fulfilment	0.982	0.985
Indexes of ship efficiency		

Продовження табл.1

Fright rate of Load 1 in Half Trip 1, \$/t	35.5	55.5
Fright rate of Load 1 in Half Trip 2, \$/t	35.5	55.5
Daily cost of the ship, \$/day	2491	11224
Minimum needed Freight rate, \$/t	23.2	33.1
Reduced Costs, \$/t per year	23.5	33.6
Minimal Time-Charter, \$/day	18312	31133
Minimal Freighters daily expenses, \$/day	33334	46797
Income from Trip, mln.\$	0.781	1.221
Income per year, mln.\$	18.134	27.973
Expenses per operation year, mln.\$	12.206	17.447
Annual Profit (after taxes), mln. \$	4.226	7.644
Cost of Ship Design and Building, mln. \$	28.379	29.477

Висновки. Балкер, який транспортує пшеницю по лінії Україна - Франція у мирний час при фрахтовій ставці ~ 35-36 дол. за тону має середній прибуток за рейс OF1 ~ 781 тис. \$, у воєнний час при інших рівних умовах на побудову судна та фрахтовій ставці ~ 55-56 дол. за тону з урахуванням зростання інших цін на його обслуговування, середній рейсовий прибуток дорівнює OF2 = 1 221 тис. \$. Таким чином, зростання ризиків експлуатації судна у військовий час компенсується зростанням фрахтової ставці, яка забезпечує й зростання прибутку.

REFERENCES

- [1] Новости. (2023, May 17). Главная. Порты Украины. <https://ports.com.ua/%20news/%20frakhtovye%20stavki-na-perevozk-zerna-iz-portov-ukrainy-snzilis>.
- [2] Ставки фрахту на перевезення зерна коустерами з дунайських портів продовжують зростати – Atria Brokers -. (2023, July 13). <https://uga.ua/news/stavki-frahtu-na-perevezennya-zerna-koasterami-z-dunajskih-portiv-prodovzhuyut-zrostat-atria-brokers/>
- [3] Nekrasov, V. (2019). Conceptual Designing of Ships (Vol. 112). Kyiv-Kherson: Oldi-Plus.
- [4] Вентлець, Е. С. (1969). Теорія ймовірності (Vol. 576). Science.
- [5] Хіммельблау, Д. М. (1971). Прикладне нелінійне програмування (Vol. 498). McGraw-Hill.

Maksimenko Y.A.

Study of the influence of war time on the efficiency indicators of sea transportation of Ukrainian wheat

Annotation: The optimization problem of stochastic conceptual design of a bulk carrier for transporting grain from Ukraine to French markets is considered, which solves the problem of choosing its main dimensions using the methods of probability theory. The optimization was performed according to the criterion of maximum profit at different freight rates due to the transportation of grain at different times - measured and wartime. A study of the influence of this factor on the value of the main elements of the bulker and indicators of the efficiency and reliability of its operation was carried out.

Keywords: bulker, grain, optimization problem, transportation efficiency, maximum profit, optimal main elements

ВПЛИВ ВОЄННОГО ЧАСУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ БАЛКЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ПШЕНИЦІ З УКРАЇНИ НА РИНКИ ІТАЛІЇ

Кльосов К. О., магістрант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

klesov84@gmail.com

Анотація: У роботі розглядається проблема вибору головних елементів балкерів, які транспортують пшеницю з України на ринок Італії в мирний та у воєнний часи. Задачу вибору вирішено за допомогою розв'язання оптимізаційної задачі концептуального проектування судна по критерію максимуму прибутку. Проведено дослідження впливу фактору часу транспортування на характеристики ефективності балкера та його головні елементи.

Ключові слова: балкер, зерно, морські перевезення, оптимізаційна задача, прибуток, вибір головних елементів.

Вступ. Економіка України з давніх часів спиралася на експорт зерна, який становив до 40% від загального. Проте лише в добу незалежності України обсяги експорту українського зерна досягли світового рівня. Серед експортерів пшениці середнього класу Україна є лідером. Має власний постійний ринок збуту в Європі, Африці та Азії.

Транспортування пшениці з портів України на ці ринки здійснюється за допомогою великотоннажних балкерів відповідно до тарифів на перевезення пшениці, так звані фрахтових ставок.

Мета. У зв'язку з цим метою даної наукової роботи є визначення ефективності балкера вантажопідйомністю 8 500 тон при транспортуванні української пшениці на ринок Італії у мирний та воєнний час.

Основна частина дослідження. Визначення ефективності балкера проводилось за допомогою комплексу програм оптимізації основних елементів балкера, розробленого кафедрою теорії та проектування суден Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова [1].

В якості критерію ефективності (при різних фрахтових ставках $\sim 30\text{--}31$ \$/t у мирний час [2] та $\sim 53\text{--}54$ \$/t у воєнний час [3], рис. 1) прийнято максимальний прибуток від експлуатації балкера на лінії Україна -Італія.

В якості моделі експлуатації балкера обрано модель послідовних рейсів [1]. Судно перевозить насипні вантажі з України, порт Південний до порту Неаполь, Італія. З порту України балкер транспортує пшеницю, а у зворотному напрямку - ринкові товари за тими ж ставками фрахту. Відстань між вказаними портами не перевищує 1500 миль. Район експлуатації судна наведено на рис. 2.

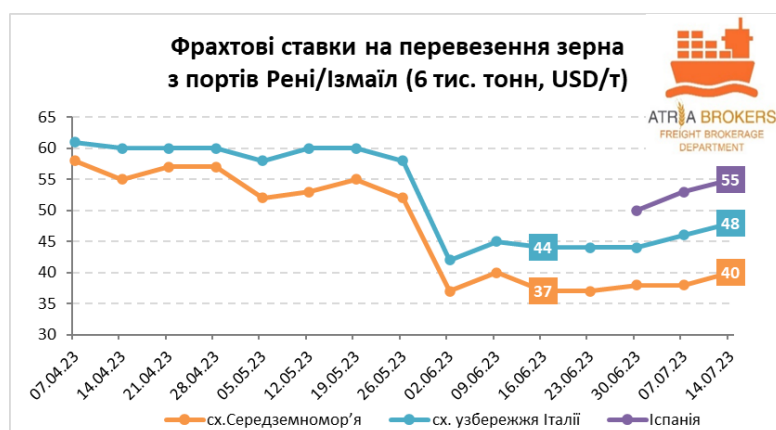


Рисунок 1 – Орієнтовний рівень фрахтових ставок на транспортування пшениці

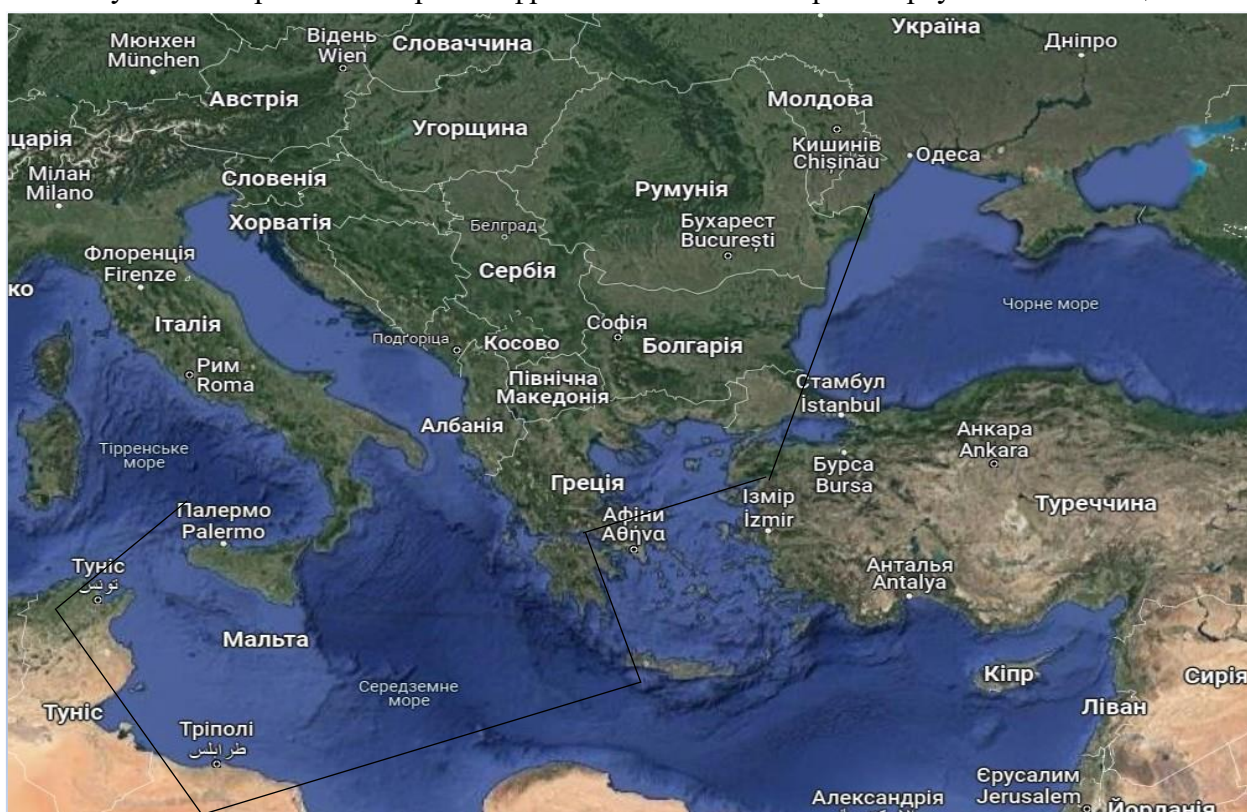


Рисунок 2 – Район експлуатації балкера.

Основним результатом використання судна за призначенням є прибуток P_l , який для 1-го рейсу туди й назад визначається за відомою формулою

$$P_l = I_l - E_l, \quad (1)$$

де I_l – отриманий дохід, E_l – витрати.

Тут P_l , I_l та E_l є випадковими величинами [4]. Випадковість цих значень визначається коливаннями фрахтових ставок, цінами на паливо, впливом випадкових вітрових хвиль на витрату палива, тривалістю рейсу туди й назад тощо.

Для загального випадку, тобто для терміну експлуатації судна, необхідно використовувати наступну формули прибутку [1]:

$$OF_1 = \sum_{l=1}^L (P_l \bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B}; \quad (2)$$

де P_{Π} – ймовірність отримання доходу; $\bar{I}_l$ та $\bar{E}_l$ – середній рейсовий дохід та витрати, $\bar{B}$ – середня вартість створення (проектування та будівництва) судна.

Результати розрахунку оптимізаційної задачі. Розв’язання оптимізаційних задач виконано за допомогою моделі корпусу судна, яка зображена на рис. 3. Результати розв’язання наведено у таблиці 1.



Рисунок 3 – Модель поверхні великотоннажного балкера типу XXI століття

Таблиця 1 – Результати задачі оптимізації головних розмірів та характеристик балкера для транспортування пшениці на лінії Україна – Італія

Main dimensions	Балкер мирного часу	Балкер воєнного часу
Length, m	118.7	122.7
Breadth, m	19.9	20.3
Draught, m	6.6	6.4
Depth, m	8.8	8.8
Block coefficient C_b	0.755	0.748
Middle section coefficient C_m	0.979	0.979
Waterline area coefficient C_w	0.791	0.788
Volume Displacement V , m^3	11810	11886
Propulsion complex		
Model of Main Engine	MAN	MAN
Power of Main Engine N_e , kW	2073	2182
Speed V_s , knots	11.7	11.9
Light displacement		
Mass of constructions, t	2616	2631
Mass of propulsion plant, t	323	324
Mass of electrical plant, t	40	40
Mass of control system, t	6.1	6.1
Mass of auxiliary system, t	143	143
Mass of equipment and furniture, t	234	235
Mass of ballast, t	0.00	0.00
Light displacement, t	3361	3979
Deadweight and Full Displacement		

Продовження табл.1

Mass of crew and provisions, t	2.2	2.2
Mass of freshwater marine, t	39	39
Mass of ship fuel and oil, t	185	194
Mass of Load1, t	8592	8597
Mass of Load2, t	8552	8548
Deadweight, t	8818	8833
Displacement full, t	12179	12212
Stability parameters		
Vertical ship gravity centre, m	5.8	5.8
Vertical ship buoyancy centre, m	3.4	3.3
Transversal metacentric radius, m	4.1	4.4
Initial metacentric height, m	1.7	1.9
Maximum righting lever arm, m	1.2	1.5
Angle of maximum lever arm, deg.	45	45
Angle of vanishing stability, deg.	78	78
Criteria of stability	11	11.2
Period of free rolling, sec	13.6	13.1
Indexes of ship reliability		
Time of Circular Trip, hours	291	289
Average value of Load in Half Trip, t	8570	8575
Average Time of Half Trip, hours	145	145
Number of Circular Trip per year	29	29
Probability of Transport Operations Fulfilment	0.980	0.982
Indexes of ship efficiency		
Fright rate of Load 1 in Half Trip 1, \$/t	30.0	52.5
Fright rate of Load 1 in Half Trip 2, \$/t	30.5	54.5
Daily cost of the ship, \$/day	1128	1125
Minimum needed Freight rate, \$/t	11.8	12.1
Reduced Costs, \$/t per year	12.0	12.2
Minimal Time-Charter, \$/day	10275	10367
Minimal Freight daily expenses, \$/day	16762	17199
Income from Trip, mln. \$	0.525	0.917
Income per year, mln.\$	15.352	27.017
Expenses per operation year, mln.\$	6.909	17.447
Annual Profit (after taxes), mln. \$	6.504	5.358
Cost of Ship Design and Building, mln. \$	18.554	18.584

Висновки. У даній роботі показано, що балкери, розраховані на отримання максимального прибутку у різні часи, мають однакові головні розміри, але чим вище фрахтова ставка тим вищий максимальний прибуток вони приносять за транспортування пшениці з України на ринок Італії.

REFERENCES

- [1] Nekrasov, V. (2019). Conceptual Designing of Ships (Vol. 112). Kyiv-Kherson: Oldi-Plus.
- [2] Новости. (2023b, May 17). Главная. Порты України. <https://ports.com.ua/%20news/%20frakhtovye%20stavki-na-perevozku-zerna-iz-portov-ukrainy-snizilis>.
- [3] Ставки фрахту на перевезення зерна коустерами з дунайських портів продовжують зростати – Atria Brokers -. (2023b, July 13). <https://uga.ua/news/stavki-frahtu-na-perevezennya-zerna-koasterami-z-dunajskih-portiv-prodovzhuyut-zrostati-atria-brokers/>
- [4] Вентлець, Е. С. (1969). Теорія ймовірності (Vol. 576). Science.
- [5] Хіммельблау, Д. М. (1971). Прикладне нелінійне програмування (Vol. 498). McGraw-Hill.

Klesov K.O.

Influence of war time on characteristics of the bulker design solution for transportation of wheat from Ukraine to Italian markets

Text of the annotation The paper examines the problem of choosing the main elements of bulk carriers that transport wheat from Ukraine to the Italian market in peacetime and wartime. The problem of choice was solved by solving the optimization problem of the conceptual design of the vessel according to the criterion of maximum profit. The study of the influence of the transportation time factor on the efficiency characteristics of the bulker and its main elements was carried out.

Key words: bulk carrier, grain, sea transportation, optimization problem, profit, selection of main elements.

Секція № 3. КОНСТРУЮВАННЯ, МІЦНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

SECTION № 3. CONSTUCTION, STRENGTH AND RELIABILITY OF SHIPS, MARINE FACILITIES AND ENGINEERING STRUCTURES

УДК 629.5.015.4

УРАХУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗСУВУ В БАЛКАХ СУДНОВИХ ПЕРЕКРИТТІВ В УМОВАХ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Коростильов Л. І. д.т.н.¹, проф, Дядюра Є. Ю. завідувач лабораторії²,
Клименков С. Ю., старший викладач³

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, м. Миколаїв

¹ leontyy.korostilyov@nuos.edu.ua , ² yevgen.diadiura@nuos.edu.ua,

³ sergij.klymenkov@nuos.edu.ua

Анотація. Виконано аналіз залежностей між відношеннями площі приєднаного пояску до площі стінки балок суднових конструкцій та еквівалентними напруженнями для морських суховантажних і суден внутрішнього плавання. Встановлена значна відмінність між характерними випадками співвідношень площі широких поясків до площі стінки балок корпусів суден морського і внутрішнього плавання.

Ключові слова: пружно-пластичне деформування; дотичні напруження; еквівалентні напруження; судна внутрішнього плавання.

Вступ. У морському суднобудуванні, як правило, вважають що основні конструкції працюють в пружній стадії при дії експлуатаційних навантажень. Граничне навантаження встановлюється для статично невизначуваних систем, що являють собою судові конструкції, за умови, що величина так званого граничного моменту забезпечує появу напружень, які дорівнюють границі плинності матеріалу. Вважають, що дотичні напруження можуть суттєво впливати на цей процес за умови, коли балки судових конструкцій виявляються відносно короткими. Для морських суден довжина таких балок, як правило, приймається менше п'яти висот стінок. В реальних корпусах, особливо для суден внутрішнього плавання, такі співвідношення можуть виявитись іншими, враховуючи, що балки судових перекриттів мають широкі приєднані пояски, які більше ніж п'ять разів перевищують площу стінок.

Вплив дотичних напружень на несучу здатність ізолювано працюючих балок була досліджена Броуде Б.М. ще на початку 50-х років минулого століття [1]. Однак для корпусів суден внутрішнього плавання відносні параметри конструкцій балок з приєднаними поясками можуть виходити за традиційні співвідношення для морських суден [2].

Метою цього дослідження є необхідність проаналізувати відповідні зміни співвідношень площі приєданого пояску до площі стінки суден внутрішнього плавання та залежності розподілу еквівалентних напружень за IV теорією міцності по висоті стінки для різних таких співвідношень між перерізуючою силою N і згинальним моментом M .

Основна частина. Розглянуто конструкцію днища баржі проекту NBL-90, що дозволяє установити відношення площі приєданого пояску до площі стінки повздовжніх балок, які суттєво відрізняються від аналогічних характеристик морських суден. Ширину приєданого пояску встановлено меншою з двох величин: $1/6$ довжини балки і відстані між балками того ж напрямку. Така ширина пояску F дорівнює 3000мм, а співвідношення площі пояску F до площі стінки дорівнює ω становить 8,4, що значно відрізняється для аналогічних співвідношень морських суховантажних суден.

Як показано в працях професора Козлякова В.В., із зростанням ширини приєданого пояску епюра еквівалентних напружень по висоті стінки h практично є рівномірною. Так, наприклад, для морських суден та максимального характерного співвідношення $F/\omega=6$ при Nh/M від 0,6 до 1 маємо рівномірний характер розподілу дотичних напружень по висоті стінки (рис. 1) та (рис. 2). Ординати вказані в долях $M/t_z h^2$ [2].

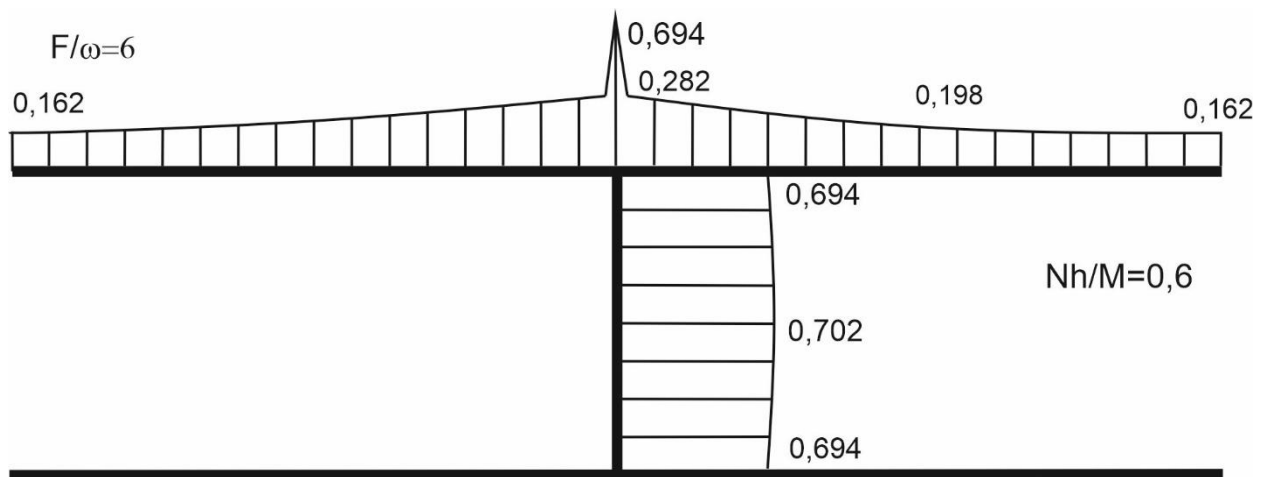


Рисунок 1 – Епюра еквівалентних напружень для випадку $Nh/M=0,6$

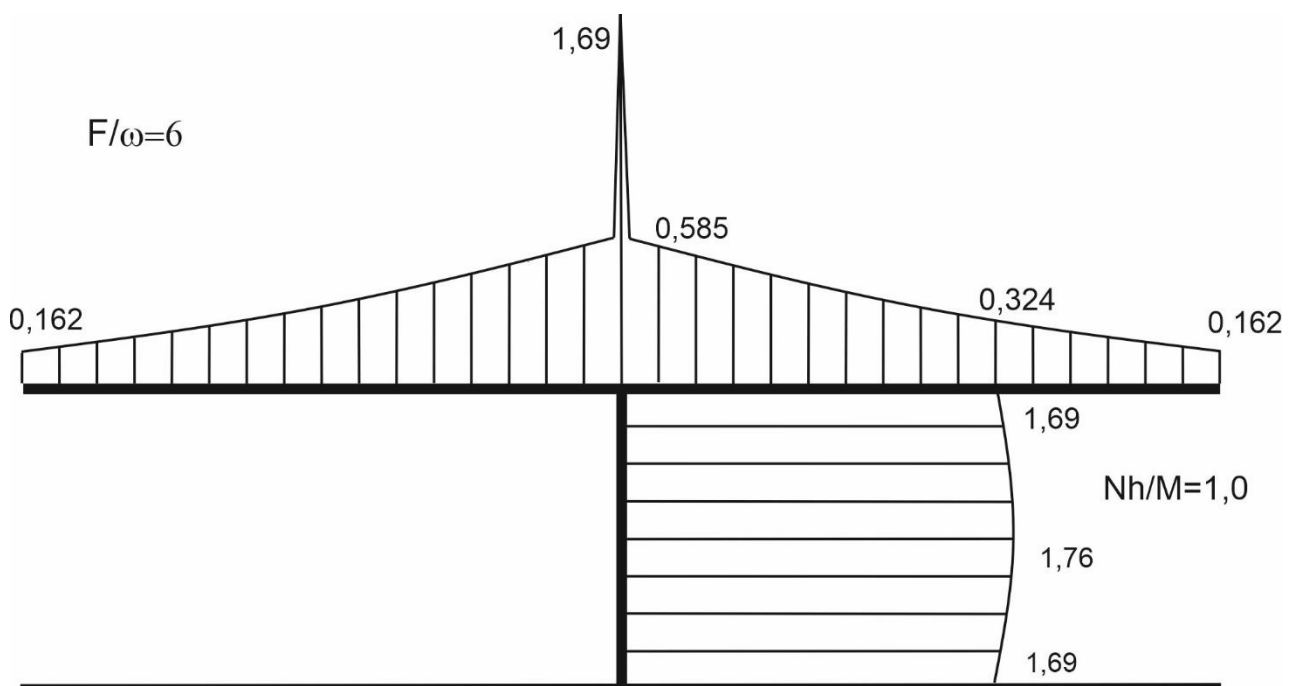


Рисунок 2 – Епюра еквівалентних напружень для випадку $Nh/M=1,0$

Дослідження розподілу дотичних напружень, які виникають при згині в перерізі стінок балок, характерних для суден внутрішнього плавання, також підкреслили рівномірний характер розподілу таких напружень в так званих широкополіх балках [3].

Слід зазначити, що згідно представлених епюр еквівалентних напружень (рис. 1, 2) найбільш напруженою точкою є місце з'єднання стінки з пояском.

Висновки. Виконаний аналіз зміни співвідношень площі приєднаного пояску до площі стінки для суден внутрішнього плавання в порівнянні з відношеннями, характерними для морських суховантажних суден, та відповідним розподілом еквівалентних напружень за IV теорією міцності. Встановлено, що максимальне відношення F/ω для морських суден суттєво менше отриманих показників для суден внутрішнього плавання, відповідно іншими будуть залежності між перерізуючою силою N і згинальним моментом M .

REFERENCES

- [1] Броуде, Б. М. (1953). Предельные состояния стальных балок (Vol. 216). Госиздательство по строительству и архитектуре.
- [2] Козляков, В. В. (1957). О расчете днищевых перекрытий в упруго – пластической стадии. Труды ЦНИИМФ, 9, 46–65.
- [3] Про нерівномірність розподілу дотичних напружень в стінках балок суднових конструкцій. (2021). In Л. І. Коростильов & Є. Ю. Дядюра (Eds.), Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв: НУК імені адмірала Макарова (Vols. 112–116).

Korostylyov L., Diadiura Ye., Klymenkov S.

Accounting for shear deformations in ship overlap beams under elastic-plastic deformation conditions

Annotation. An analysis of the dependences of the ratio of the area of the plate strake to the area of the web plate of the beams of ship structures and the equivalent stresses for marine cargo ships and inland navigation vessels was carried out. A significant difference has been established between typical cases of the ratio of the area wide plate strake to the area of the web plate of the beams of the hulls of marine and inland vessels.

Keywords: elastic-plastic deformation; shear stresses; equivalent stresses; inland navigation vessels.

УДК 628.5:539.37.276

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДЕТАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТРУКТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ НА ПЕРШУ ВЛАСНУ ГЛОБАЛЬНУ ЧАСТОТУ ПАЛУБНОЇ ПАНЕЛІ

¹Соломонюк Н. С., к.т.н, доцент, ²Білоус Р. Ю., аспірант

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

¹nataliya.solomoniuk@nuos.edu.ua, ²roman.bilous89@gmail.com

Анотація. На основі типової скінчено-елементної моделі палубної панелі обмеженої перебірками виконаний порівняльний динамічний аналіз типу моделювання неструктурних елементів, таких як підпалубні системи і палубне покриття підлоги. У першому випадку використовується стандартний інструмент рівномірного розподілення маси на одиницю площі. У другому випадку системи і покриття моделюються більш детально балочними та об'ємними елементами. За результатами аналізу порівнюється перша власна частота палубної панелі.

Ключові слова. Метод скінчених елементів, динамічний аналіз, власна частота.

Вступна частина. Здебільшого для розподілення неструктурної маси при динамічному аналізі суднових корпусних конструкцій використовують стандартний інструмент Non-structural mass (NSM) вшитий до програм зі скінчено-елементного аналізу або корекцію густини згідно з проектних значень. Насправді розподілення систем не є рівномірним, а їхня жорсткість і способи кріплення можуть впливати на значення власної частоти.

Мета роботи. Метою цього дослідження є порівняльний динамічний аналіз палубної панелі, в якій неструктурні елементи змодельовані спрощено і детально, максимально повторюючи реальну конструкцію на судні. Ця інформація є важливою, коли точне значення власної частоти палубної панелі необхідно порівняти з частотними діапазонами основних збудників вібрацій на борту судна. Також спосіб моделювання може мати вплив на рівні вібрацій, які необхідно порівняти з допустимими значеннями.

Основна частина. Методом скінчених елементів змодельована палубна модель з наступними характеристиками (див. Рис.1):

- Лінійні розміри – 7,2*7,2 м (шпація 600 мм, рамна шпація 2400 мм);
- Балки основного набору – стінка 550*8 мм, фланець 200*12 мм;
- Балки вторинного набору – штабобульб 160*8.
- Розмір скінчених елементів – 50 мм.
- По периметру панель закріплена з обмеженням тільки поступальних ступенів свободи.

В моделі застосований ряд спрощень таких як:

- Відсутність отворів у стінках рамних балок для проходження труб, вентиляційних каналів, кабельних трас;
- Уніфіковане кріплення для цих систем у вигляді L-профілю 40*40*5;
- Відсутність клейових шарів і декоративних покриттів для підлоги;
- Відсутність корисного навантаження на палубу (наприклад, меблі, обладнання, тощо)

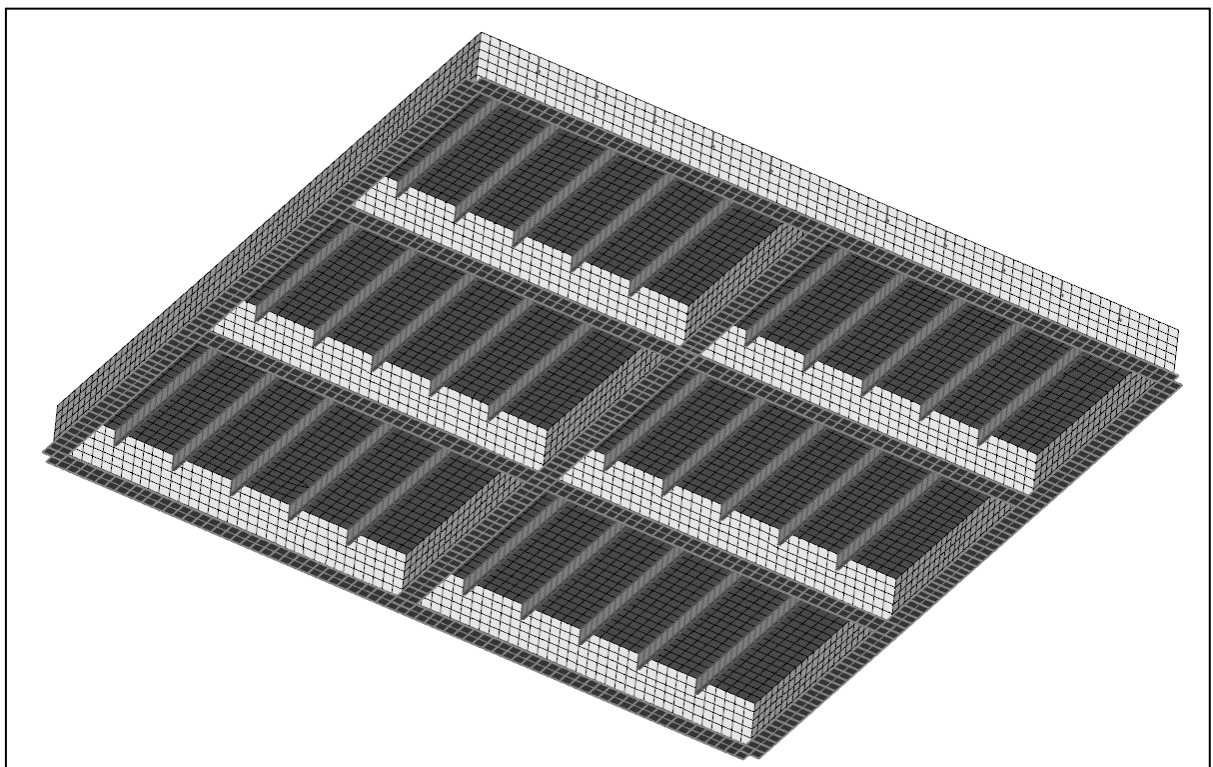


Рисунок 1 – Скінчено-елементна модель типової палубної пластини між перебірками

Детально балочними елементами змодельовані наступні системи (див. Рис.2):

- Пожежної безпеки;

- Вентиляції
- Холодної / гарячої води;
- Опалення;
- Каналізації;
- Кабельні траси.

Підлога на палубі складається з наступних шарів (див. Рис.3), [1]:

- Цементний компаунд Weber Marine A-60 – 15 мм;
- Мінеральний утеплювач – 50 мм;
- Армована сталева сітка $\varnothing$ 5 мм з кліткою 150 * 150 мм;
- Цементний компаунд Weber Marine A-60 – 35 мм.

Усереднена поверхнева щільність підпалубних систем складає 23,5 кг/м², підлоги – 76,5 кг/м², загальна – 100 кг/м², що узгоджується зі значеннями наведеними в [2].

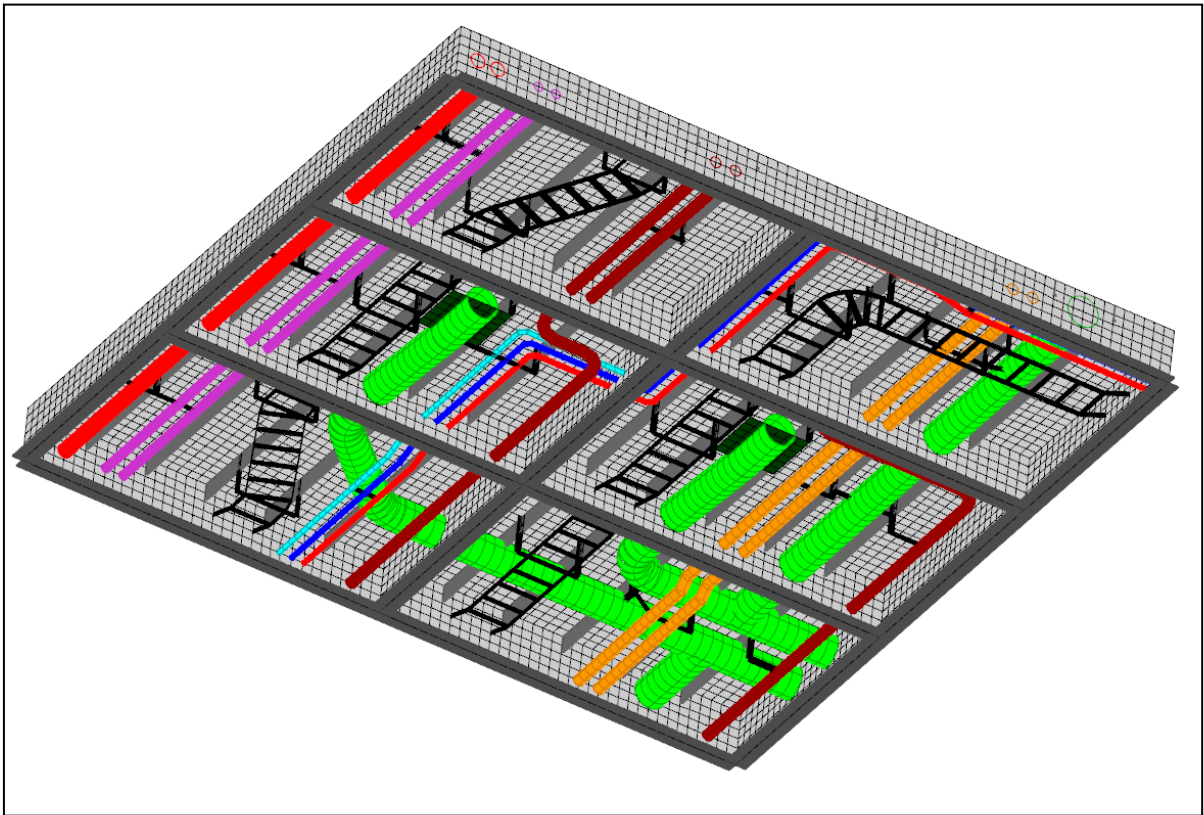


Рисунок 2 – Підпалубний вид на детально змодельовані системи

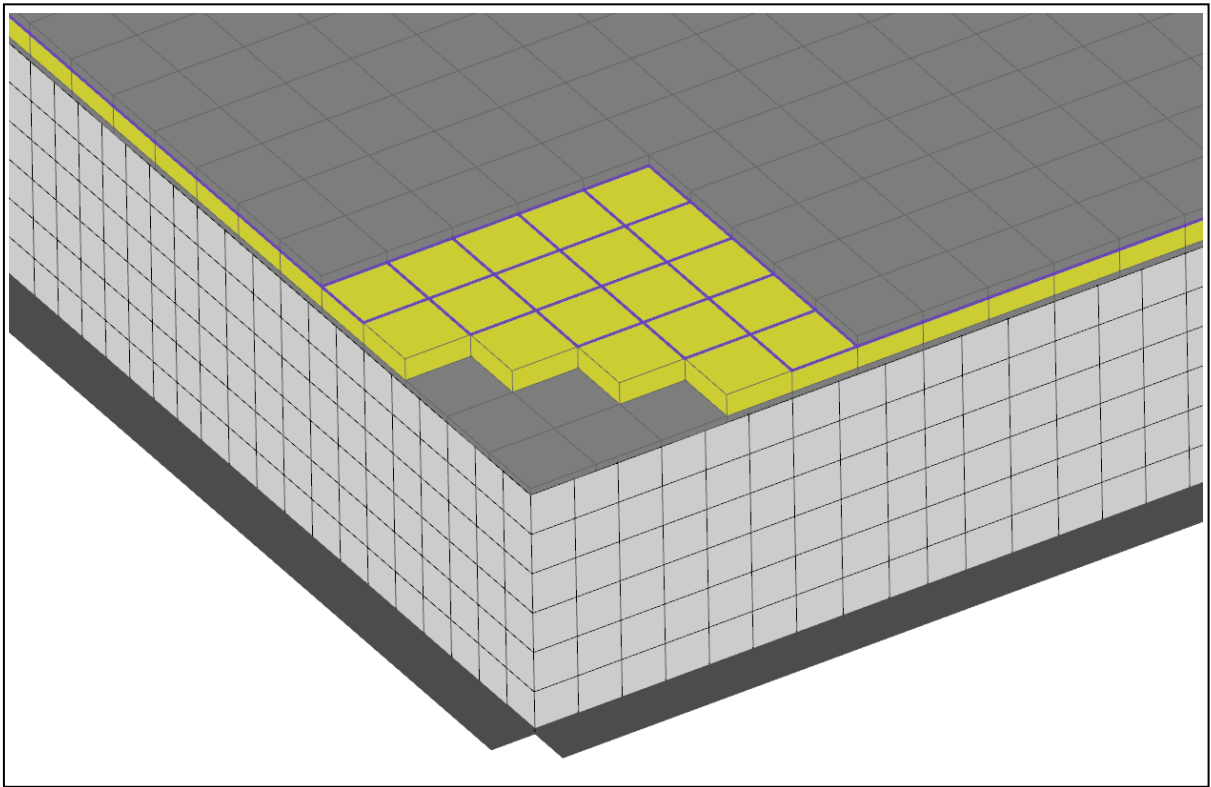


Рисунок 3 – Вид на багатoshарову підлогу змодельовану об'ємними елементами
Аналіз власних частот складається з чотирьох розрахунків:

1. Тільки стальна конструкція палуби;
2. Конструкція палуби з системами (+23,5 кг/м²);
3. Конструкція палуби з підлогою (+76,5 кг/м²);
4. Повна модель (+100 кг/м²).

На рис.4 синім кольором показана крива застосування до палубної панелі інструменту NSM з кроком 10 кг/м², пунктирними лініями позначений 20-ти відсотковий запас, який використовується для запобігання перехресненню з основними збудниками вібрацій на борту судна [3].

Згідно з загальновідомої формули частоти коливання системи з однією ступенню свободи частота прямо пропорційна жорсткості і обернено пропорційна масі. Тому на Рис. 4 можна побачити незначне відхилення власної частоти детальних моделей від спрощеного накладання маси.

Значення власних частот для детальних моделей 2-4 показані на Рис.4 помаранчевими точками.

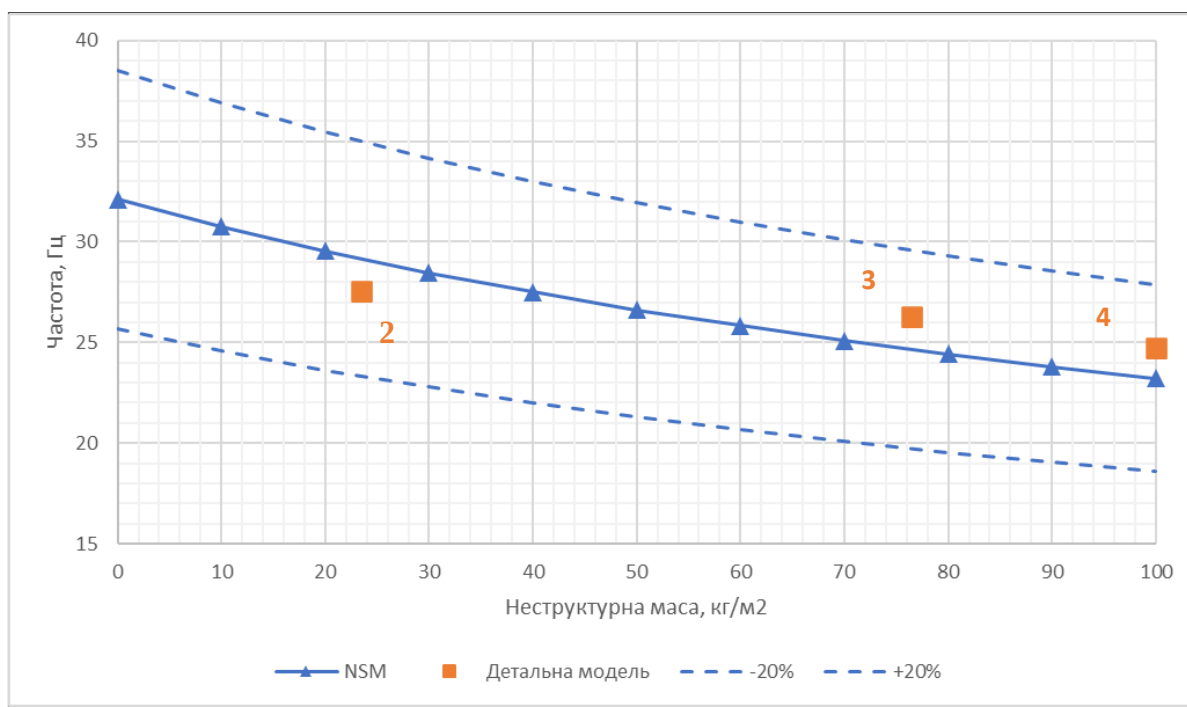


Рисунок 4 – Перша власна частота палуби в залежності від деталізації моделювання неструктурних мас

Висновки

- Відхилення значень власної частоти палуби з детально змодельованими системами і покриттям підлоги є незначними і складають для цього конкретного прикладу приблизно 6,5%. Ця похибка залишається в діапазоні $\pm 20\%$, тому застосування інструменту рівномірного розподілу неструктурних мас можливе у застосуванні в інженерних розрахунках.
- Дану скінчено-елементну модель необхідно дослідити додатково на предмет гасіння вібрацій за рахунок внутрішнього тертя. Таким чином можна буде оцінити вплив на значення амплітуд віброшвидкостей різних покриттів у випадку, коли конструкційні модифікації неможливі по ряду причин.

REFERENCES

- [1] Weber Marine and Offshore Brochure 20231003_DIGITAL VERSION. (n.d.). Retrieved May 10, 2024, from https://www.weber-marine.com/files/marine/2023-10/Weber%20Marine%20and%20Offshore%20Brochure%2020231003_DIGITAL%20VERSION.pdf
- [2] Guidance Notes General Overview of Ship Structural Vibration Problems. (2015). Lloyd's Register.
- [3] Asmussen, I., Menzel, W., & Mumm, H. (2001). Ship vibration. Hamburg, Germanischer Lloyd.

Solomoniuk N. S., Bilous R. U.

Evaluation of the influence of non-structural components detailed modeling on a first natural frequency of a deck panel.

Annotation. Based on a typical finite-element model of a deck panel limited by bulkheads, a comparative dynamic analysis was performed to investigate influence of the modelling type of non-structural components,

such as underdeck systems and deck floor covering,. In the first case, a standard tool for uniform mass distribution per unit area is used. In the second case, systems and floor covering are modeled in more detailed way with beam and volume finite elements. Based on the results of the analysis, the first natural frequency of the deck panel is compared.

Keywords. Finite element method, dynamic analysis, natural frequency.

УДК 629.5 : 539.4

ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В КОНЦЕНТРАТОРІ НАПРУЖЕНЬ БАЛКИ-СТІНКИ ЗІ ЗЛАМОМ КРОМОК

Соков Валерій, старший викладач кафедри будівельної механіки та конструкції
корпуса корабля

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

valera.sokov@gmail.com

Анотація. Представлено дослідження напружено-деформованого стану (НДС) в небезпечній точці концентратора напружень балки-стінки зі зломом кромки з метою виявлення особливостей НДС, для того щоб мати можливість застосувати відповідне сімейство формул деформаційних критеріїв втомної міцності і довговічності. НДС концентратора досліджується у пружній та пружно-пластичній стадіях деформування.

Ключові слова: втомна міцність, пружно-пластичні деформації, головні напруження і деформації.

Вступ. У складі конструкцій корпусу судна є балки-стінки зі зломом кромки без вільного фланця, який може кріпитися до верхньої ламаної кромки (рис. 1).

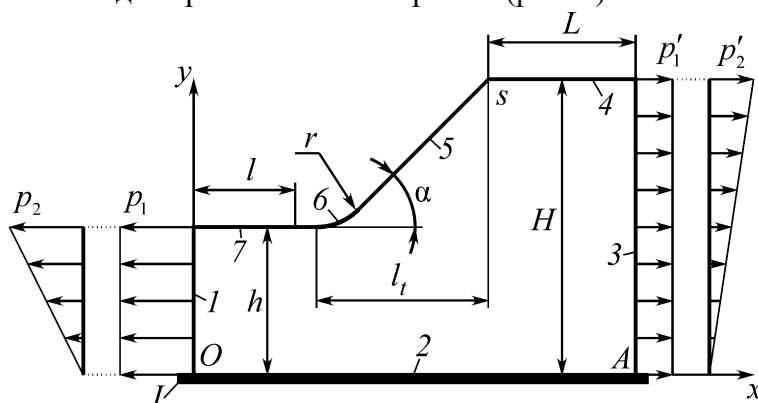


Рисунок 1 – Загальний вигляд досліджуваної балки-стінки зі зломом кромки

Такі балки зазнають впливу осьових p_1 та згинальних p_2 навантажень. Осьові навантаження p_1 викликані загальним згином корпусу судна, а згинальні навантаження p_2 викликані місцевим згином перекриття, до складу якого входить досліджувана балка-стінка. В публікації [1] представлено методики оптимального проектування досліджуваної балки-

стілки в умовах її пружного статичного та пружно-пластичного циклічного деформування. Розроблені проєктувальні критерії при циклічному навантаженні були отримані на основі загальновідомих універсальних деформаційних критеріїв типу Коффіна-Менсона. Проте деформаційні критерії прогнозування втомної довговічності розробляються переважно для двох видів деформування: для розтягу-стиску (для лінійного або переважно осьового НДС) і для зсуву [2]. Таке розділення критеріїв дає змогу більш точно спрогнозувати втомну довговічність в залежності від виду деформування. Проєктувальні методики в [1] дозволяють незалежно застосовувати будь-які деформаційні критерії втомної довговічності, а не лише критерії типу Коффіна-Менсона. Це дає змогу застосувати для оцінки втомної довговічності більш точні деформаційні критерії у майбутньому. З метою більш точної оцінки втомної міцності та прогнозування втомної довговічності постає необхідність уточнення типу та характеру НДС в небезпечній точці концентратора напружень балки-стілки при пружному та пружно-пластичному деформуванні. Це у подальшому дасть змогу застосувати відповідне сімейство деформаційних критеріїв: для лінійного НДС або для зсуву.

Метою дослідження є виявлення типу НДС в концентраторі напружень балки-стілки зі зломом кромки, для того щоб мати можливість застосувати відповідне сімейство залежностей деформаційних критеріїв втомної міцності і довговічності: для лінійного НДС або для зсуву.

Основна частина. Проаналізуємо тензор напружень T_σ і тензор деформацій T_ε на прикладі балки-стілки з параметрами $H/h=1,6$; $\alpha = 45^\circ$; $r/h = 0,1$; $p/\sigma_s = 0,713879$ для виявлення типу НДС в найбільш небезпечній точці концентратора. Тензори визначимо в точках B і C циклічних діаграм деформування на рис. 2, 3 із [3].

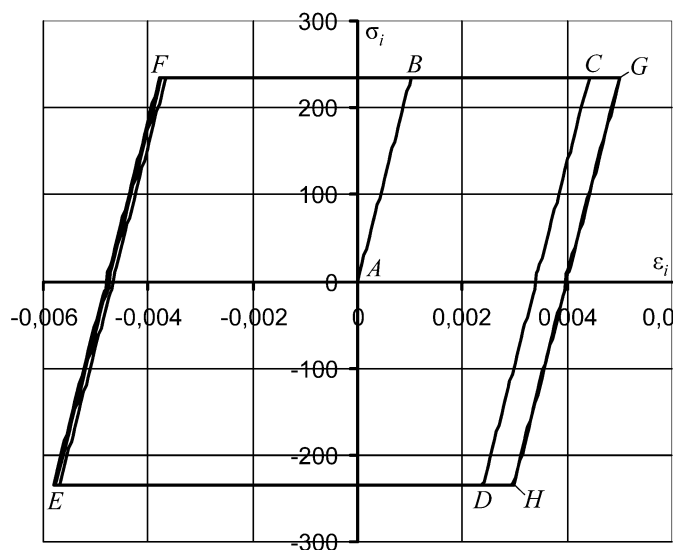


Рисунок 2

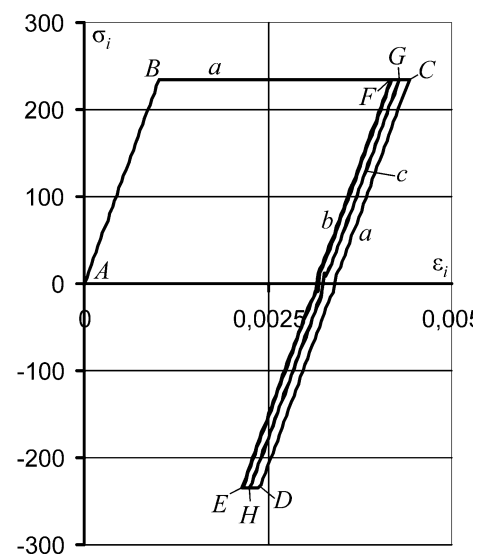


Рисунок 3

Точка B відповідає початку пружно-пластичного деформування, коли має місце ще пружний НДС і відсутні накопичені пластичні деформації. Точка C відповідає кінцю шляху пружно-пластичного деформування від 0 до p . Таким чином тензори T_σ і T_ε в точці B є пружними тензорами, а в точці C – пружно-пластичними.

Пружні тензори $T_\varepsilon^e, T_\sigma^e$ в точці B циклічної діаграми мають вигляд

$$T_{\varepsilon}^e = \begin{bmatrix} 9,75 \cdot 10^{-4} & \frac{1,04 \cdot 10^{-3}}{2} & \frac{1,20 \cdot 10^{-5}}{2} \\ * & -1,58 \cdot 10^{-4} & \frac{5,76 \cdot 10^{-6}}{2} \\ * & * & -3,27 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}, \quad T_{\sigma}^e = \begin{bmatrix} 206,6 & 80,1 & 0,92 \\ * & 32,2 & 0,44 \\ * & * & 6,3 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Пружно-пластичні тензори $T_{\varepsilon}^{ep}, T_{\sigma}^{ep}$ в точці C циклічної діаграми мають вигляд

$$T_{\varepsilon}^{ep} = \begin{bmatrix} 3,75 \cdot 10^{-3} & \frac{4,54 \cdot 10^{-3}}{2} & \frac{9,31 \cdot 10^{-5}}{2} \\ * & -1,16 \cdot 10^{-3} & \frac{-1,45 \cdot 10^{-5}}{2} \\ * & * & -1,95 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}, \quad T_{\sigma}^{ep} = \begin{bmatrix} 235,9 & 78,7 & -0,60 \\ * & 65,9 & -1,04 \\ * & * & 28,7 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

У формулах (1), (2) напруження представлені в МПа.

Головні напруження $\sigma_{1,2,3}$ та головні деформації $\varepsilon_{1,2,3}$, обчислені за пружними тензорами (1), становлять

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= 237,8 \text{ МПа}; \quad \sigma_2 = 6,3 \text{ МПа}; \quad \sigma_3 = 1,0 \text{ МПа}; \\ \varepsilon_1 &= 1,18 \cdot 10^{-3}; \quad \varepsilon_2 = -3,27 \cdot 10^{-4}; \quad \varepsilon_3 = -3,61 \cdot 10^{-4}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Головні напруження $\sigma_{1,2,3}$ та головні деформації $\varepsilon_{1,2,3}$ обчислені за пружно-пластичними тензорами (2), з врахуванням накопичених пластичних деформацій, становлять

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= 266,8 \text{ МПа}; \quad \sigma_2 = 35,1 \text{ МПа}; \quad \sigma_3 = 28,6 \text{ МПа}; \\ \varepsilon_1 &= 4,64 \cdot 10^{-3}; \quad \varepsilon_2 = -1,95 \cdot 10^{-3}; \quad \varepsilon_3 = -2,05 \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Як можна побачити з (3), (4) одне з головних напружень σ_1 для пружного тензору в десятки разів більше за інші два головні напруження $\sigma_{2,3}$, а для пружно-пластичного тензору майже на порядок більше за $\sigma_{2,3}$. Аналіз головних лінійних деформацій $\varepsilon_{1,2,3}$ з цих же рівнянь (3), (4) свідчить про поступове видовження елементарного об'єму вздовж головної осі 1. Головна вісь 1 становить доволі малий кут з поздовжньою віссю x балки-стілки. Це дає підставу зробити висновок про переважно лінійний напружений стан елементарного об'єму в околі найбільш напруженої точки концентратора.

Зі зменшенням кута нахилу α лінійний НДС в небезпечній точці концентратора напружень стає ще більш вираженим. Характер НДС для балок-стінок з кутами $\alpha=75^\circ$ подібний у співвідношеннях компонентів тензорів до НДС (1), (2).

Висновки. Було з'ясовано, що елементарний об'єм небезпечної точки концентратора напружень балки-стілки перебуває в основному в лінійному напруженому стані (тобто у стані розтягу-стиску). Це вказує на необхідність застосування деформаційних критеріїв втомної міцності для лінійного напруженого стану при розрахунку втомної міцності та довговічності вказаного концентратора.

REFERENCES

[1]. Sokov, V., Korostylov, L., Shchedrolosiev, O., Sharun, H., Klymenkov, S. (2023). Devising procedures for design and verification calculations of the beam-wall with edge breaks under static

and cyclic loads. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. №5 (7 (125)). PP. 23–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289986>

[2]. Трошенко В. Т. (2006) Рассеянное усталостное повреждение металлов и сплавов. Сообщение 3. Деформационные и энергетические критерии. Проблемы прочности. № 1. С. 5–31.

[3]. Sokov V.M. (2022). Cyclic elastic-plastic deformation in the stress raiser of the beam-web with bend of edges. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції (Миколаїв, 27–28 жовтня 2022 р.). Миколаїв : НУК. С. 75 – 77.

Sokov Valerii. M.

Particulars of the strain-stress state in the stress concentrator of the beam-wall with broken edges

Annotation. There is presented the investigation of the strain-stress state (SSS) in the dangerous point of the stress concentrator of the beam-wall with broken edges with aim to determine the particulars of the SSS to have the possibility to apply the appropriate family of formulae of strain fatigue criteria and durability. The SSS is explored in elastic and elastic-plastic stages of deformation of the concentrator.

Keywords: fatigue, elastic-plastic strains, principle stresses and strains.

УДК 629.5.012

РОЗРАХУНОК КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДВОХ ТІЛ

¹Шарун Г. В., старший викладач, ²Давидова П. С., магістрант,

³Лук'янцева М. В., магістрант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

¹grygorii.sharun@nuos.edu.ua, ²polina.davudova03@gmail.com,

³mahakomaha2016@gmail.com

Анотація. Виконані розрахунки контактної взаємодії двох дисків методом скінченних елементів. Розраховані переміщення та напруження в районі контакту двох тіл. Виконано порівняння результатів з теоретичним рішенням. Результати розрахунків в подальшому будуть використані для аналізу контактної взаємодії системи вал-підшипник судна.

Ключові слова: контакт; метод скінченних елементів; напружено-деформований стан; напруження.

Вступна частина. Контактна взаємодія двох тіл аналізується в розрахунках міцності пружних, пружно-пластичних та пластичних тіл. Нами виконані розрахунки взаємодії двох дисків в пружній області контакту. Проаналізовано величини переміщень та напружень в контактній області та виконано порівняння результатів з теоретичним рішенням.

Мета роботи. Розробити процедуру виконання розрахунків системи вал-підшипник судна.

Основна частина. Розв'язання контактних задач за допомогою програми методу скінченних елементів (МСЕ) [1] виконується наступним чином;

1. Створюється скінченно-елементна модель;
2. Встановлюються контактні пари;
3. Задаються цільові та контактні поверхні;
4. Визначаються характеристики матеріалу контактних тіл;
5. Задаються зовнішні навантаження та граничні умови;
6. Виконується рішення задачі;
7. Аналіз результатів розрахунку.

Контактні пари, які використовуються в розрахунках, є наступними [2]:

- вузол-вузол;
- вузол-поверхня;
- поверхня-поверхня.

Контактні пари можуть бути плоскими (2D) або об'ємними (3D). Контактні тіла можуть бути деформованими (flexible) або жорсткими (rigid). В контактній задачі “поверхня-поверхня” одна з поверхонь береться цільовою (TARGET), а інша контактною (CONTACT).

Як приклад була розрахована контактна взаємодія двох дисків (рис. 1). В якості цільової поверхні (TARGET) був вибраний нижній диск, а як контактна поверхня (CONTACT) – верхній. Матеріал верхнього диска – сталь, нижнього – AlMg сплав.

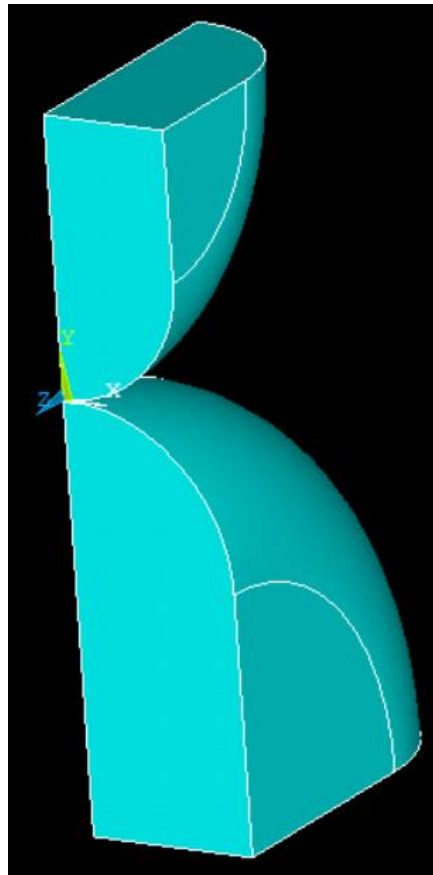


Рисунок 1 – Схема взаємодії четвертин двох дисків

На рис. 2 показана сітка об'ємних скінченних елементів (SOLID).

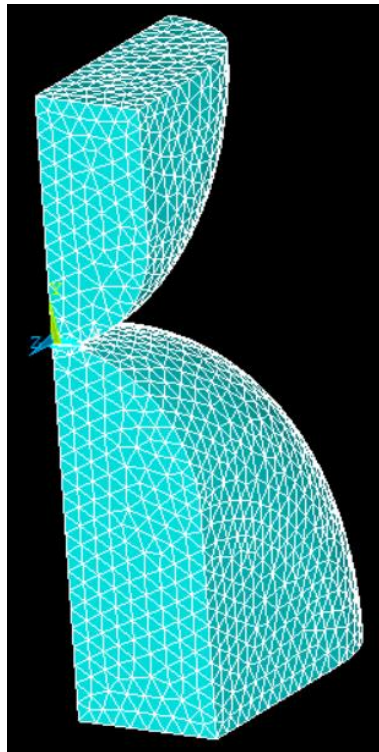


Рисунок 2 – Сітка об'ємних скінченних елементів

Результати розрахунків наведені на рис. 3, 4 і 5.

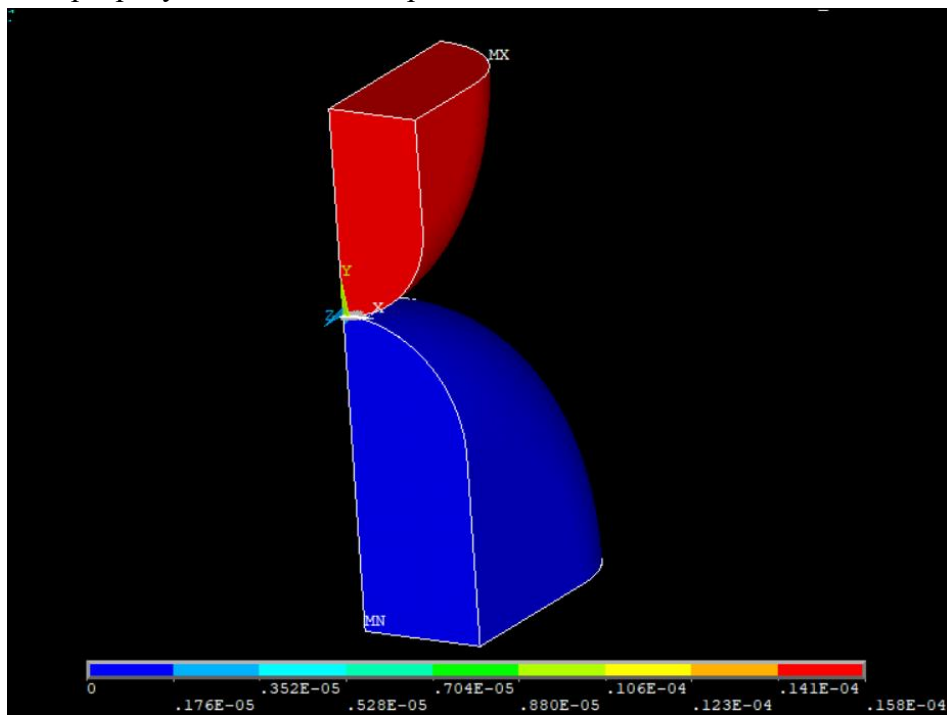


Рисунок 3 – Деформації двох дисків

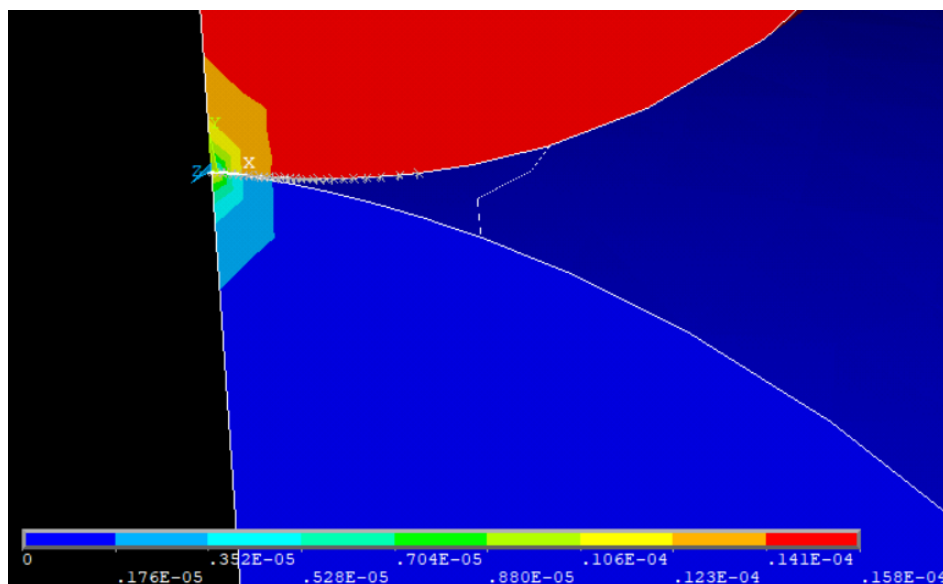


Рисунок 4 – Деформації дисків в районі контакту

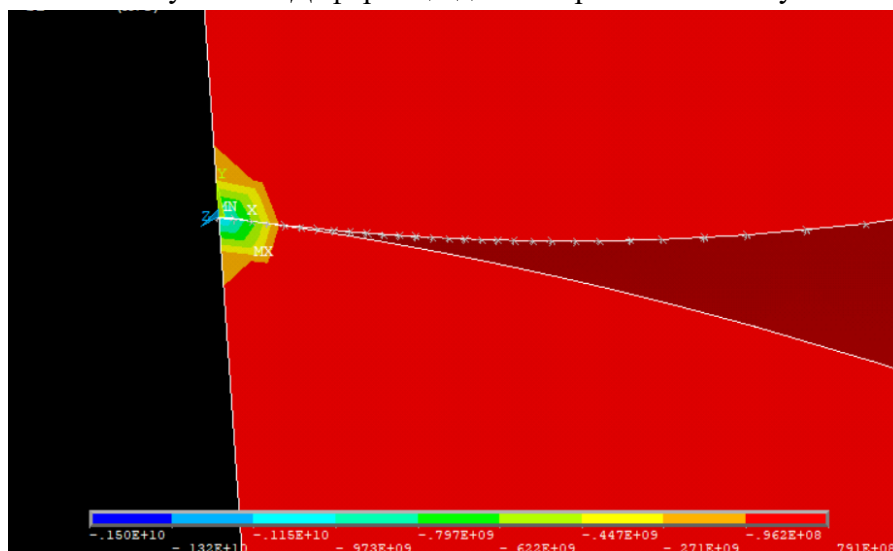


Рисунок 5 – Сумарні напруження в районі контакту

Порівняння результатів розрахунків з теоретичним рішенням показало збіг з точністю до одного відсотка.

Висновки. Представлено розрахунок контактної взаємодії двох дисків. Розроблена процедура виконання розрахунків контактних задач методом скінченних елементів. В подальшому дана процедура буде використана для аналізу взаємодії системи вал-підшипник судна [3].

REFERENCES

- [1] Basic Analysis Procedures Guide: Release 2022 (2022)..
- [2] Moaveni, S. (1999). Finite element analysis: Theory and Application with Ansys.
- [3] Murawski, L. (2003). Static and dynamic analyses of marine propulsion systems.

Sharun Hryhorii, Davydova Polina, Lukyantseva Maryana
Calculation of the contact interaction of two bodies

Annotation. Calculations of the contact interaction of two disks using the finite element method are performed. Displacements and stresses in the contact area of two bodies are calculated. The results are compared with the theoretical solution. The calculation results will be used in the future to analyze the contact interaction of the ship's shaft-bearing system.

Keywords: contact; finite element method; stress-strain state; stresses.

УДК 629.5.023

ШЛЯХИ НОРМУВАННЯ ПІДКРІПЛЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРОПУЛЬСИВНИХ УСТАНОВОК ВОДОМЕТНОГО ТИПУ ДЛЯ МАЛИХ СУДЕН З ПЕВЩ

¹Кузнєцов А.І.к.т.н., доцент, ²Лисицький І.В., аспірант
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, Миколаїв

¹anatoly1954.kuznetsov@gmail.com, ²igor.lisitsky@gmail.com

Анотація. Запропоновано напрями подальших досліджень щодо проєктування корпусних конструкцій із поліетилену високої щільності для малих суден. Проведено моделювання здатності конструкції транця малого судна з HDPE витримувати упор при прийнятних параметрах конструкцій з додатковими підкріпленнями.

Ключові слова: малі судна, корпусні конструкції, пропульсивні комплекси, вимоги до проєктування, поліетилен високої щільності, стандарти ISO.

Вступ. Останнім часом динамічно розвивається флот малих суден із конструкціями з поліетилену високої щільності (HDPE). У той же час виникає чимало питань при проєктуванні їх конструкцій, особливо, конструктивного забезпечення деяких типів пропульсивних комплексів щодо їх суміщення з такими корпусними конструкціями.

Складність пов'язана з наявністю особливостей конструктивного матеріалу, що розглядається. Докладно особливості матеріалу наведено у роботі [1]. Головними особливостями, що впливають на архітектуру та необхідні розміри конструкцій з HDPE є його відносно мала жорсткість. Приклади застосування наведеного матеріалу для малих суден різного призначення наведено у роботах [2], [3].

Більшість малого флоту з такими конструкціями представлена швидкісними суднами з підвісними двигунами. Установка таких двигунів на транцях не викликає проблем.

Встановлення водометних рушіїв на таких суднах є проблемною, практично неможливо забезпечити адекватну міцність конструкцій транця за реальних технологічних обмежень за параметрами корпусних конструкцій. У роботі [4] показано, що фактичні деформації конструкцій у цьому разі будуть занадто великі. Це вимагає наявності підкріплювальних конструкцій з міцнішого матеріалу для сприйняття упору рушіїв без появи критичних деформацій конструкцій транця.

Мета роботи полягає у спробі створення конструктивного рішення з фермовим підкріпленням конструкції транця з легкого сплаву (АМг) та методу інженерного розрахунку його параметрів у разі застосування водометних рушіїв.

Основна частина. Конструювання корпусів малих суден із HDPE потребує окремого розгляду. Якщо для традиційно застосовуваних матеріалів є певні вимоги до конструктивного забезпечення у вигляді типових вузлів з конкретними необхідними параметрами, то конструктивне забезпечення елементів корпусних конструкцій з HDPE на даний момент відсутнє. Певною мірою можлива адаптація до застосування конструктивів з інших матеріалів, що підтверджується поточною практикою проєктування. Окремим питанням застосування пропульсивних комплексів є встановлення водометних рушіїв. Навантаження, що діють, від упору водомета прикладаються до конструкцій транця і днища і передаються через опорні кромки рушія. Загалом можна прийняти рівномірний розподіл по кромках контакту рушія з корпусними конструкціями.

При цьому навантаження від упору передається на конструкції за допомогою транцевої та днищової плит рушія. Дія навантаження спрямована в поздовжньому напрямку і може мати знакозмінний характер (передній та задній хід).

Найбільші навантаження на конструкції корпусу виникають при русі з максимальною швидкістю переднім ходом (при реверсі ПУ навантаження змінює знак і зазвичай за абсолютною величиною менше, ніж під час руху вперед повним ходом).

Для конструкцій швидкісного водометного судна при застосуванні у якості матеріалу корпусних конструкцій HDPE, неможливо забезпечити міцність конструкцій транця при прийнятних параметрах обшивки транцю та його набору. Це призводить до необхідності створення конструкцій, що підкріплюють, з більш міцного матеріалу. Завдання цих конструкцій полягає у сприйнятті більшої частини навантаження від упору та перерозподіл її на основні корпусні конструкції.

Якщо розглянути найбільш загальну схему встановлення водометних рушіїв на швидкісне судно (два водомети на судні з достатньою кілюватістю по транцю), то загальна концепція необхідних підкріплень може виглядати наступним чином (див. рис.1).

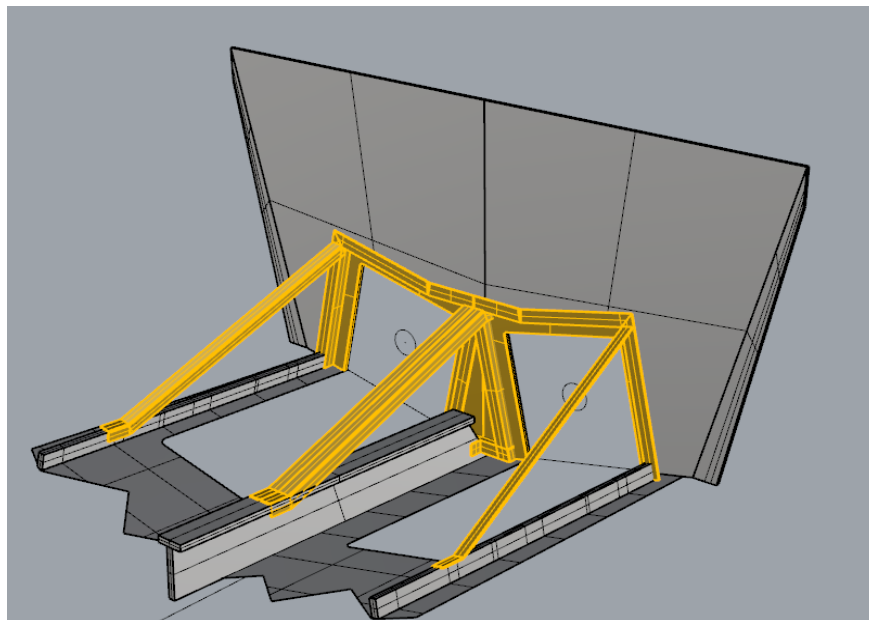
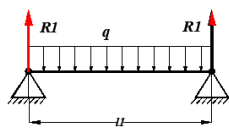
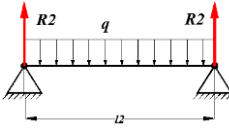
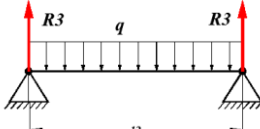
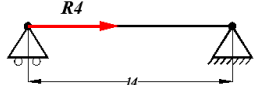
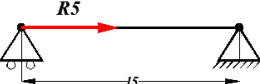


Рисунок 1 – Загальна концепція підкріплень

При цьому частина навантаження від упору сприйматиметься днищовим перекриттям, що має досить велику несучу здатність у площині перекриття. Підкріплююча конструкція

Таблиця 1

З'язок	Схема розрахунку	Навантаження
1		$R_1 = ql_1/2$ $M_1 = ql_1^2/8$
2		$R_2 = ql_2/2$ $M_2 = ql_2^2/8$
3		$R_3 = ql_3/2$ $M_3 = ql_3^2/8$
4		$R_4 = (R_2 + R_1)/\cos\alpha_4$ $P_{kp4} = p^2 EI_4 / l_4^2$
5		$R_5 = 2(R_2 + R_3)/\cos\alpha_5$ $P_{kp5} = p^2 EI_5 / l_5^2$

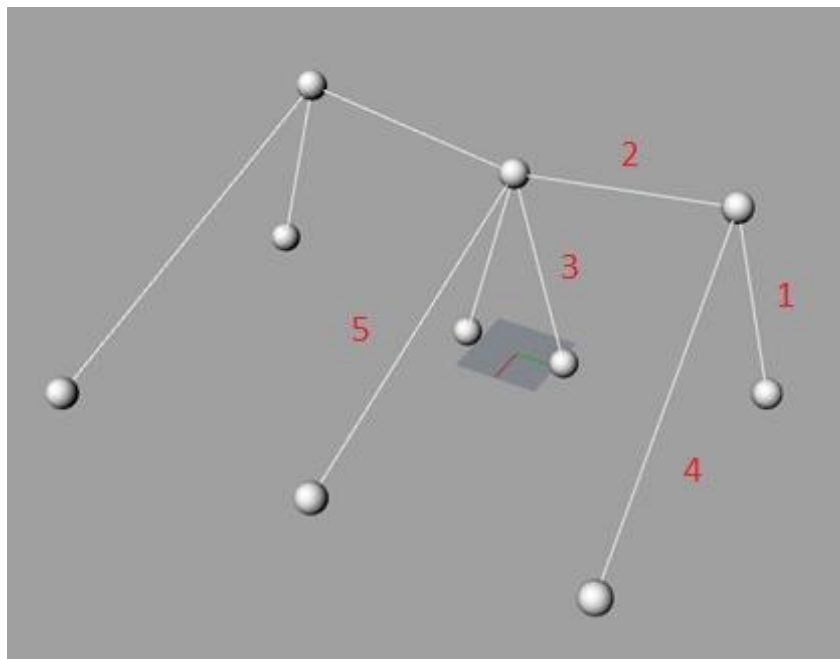


Рисунок 3 – Опорна схема ферми

У табл. 2 представлені вихідні дані для спрощеного розрахунку

Таблиця 2

Параметр	Позначення	Величина
Упор рушя, кН	P	$P := 4\zeta$
Проліт балки №1, м	l_1	$l_1 := 0.9$

Продовження табл.2

Проліт балки №2, м	l_2	$l_2 := 0.9^{\circ}$
Проліт балки №3, м	l_3	$l_3 := 0.9^{\circ}$
Проліт балки №4, м		$l_4 := 1.7^{\circ}$
Проліт балки №5, м		$l_5 := 1.7^{\circ}$
Розподілене навантаження, кН/м	q	$q := \frac{P}{(l_1 + l_2 + l_3)}$ $q = 14.184$
Підвищення точки кріплення розпірки (5) над нижньою опорою балки (3), м	H_k	$H_k := 0.3^{\circ}$
Підвищення точки кріплення розпірки (4) над нижньою опорою балки (1), м	H_c	$H_c := 0.1^{\circ}$
Відстань нижньої опори балки №3 від ДП, м	b	$b := 0.2^{\circ}$
Кут між балкою №3 та ДП, рад	a	$a := \arcsin\left(\frac{b}{l_3}\right)$ $a = 0.261$
Кут нахилу розкосу при ВК до ВП, рад	α_5	$\alpha_5 := \arcsin\left(\frac{l_3 \cdot \cos(a) - H_k}{l_5}\right)$ $\alpha_5 = 0.344$
Кут нахилу розкосу при стрінгери до ВП, рад	α_4	$\alpha_4 := \arcsin\left(\frac{l_1 - H_c}{l_4}\right)$ $\alpha_4 = 0.312$
Момент опору балки №1, см ³		$I_1 := 41^{\circ}$ $W_1 := 6^{\circ}$
Момент опору балки №2, см ³		$I_1 := 41^{\circ}$ $W_1 := 6^{\circ}$
Момент опору балки №3, см ³		$I_1 := 41^{\circ}$ $W_1 := 6^{\circ}$
Момент інерції розкосу №4, см ⁴		$I_4 := 73.^{\circ}$
Момент інерції розкосу №5, см ⁴		$I_5 := 147.^{\circ}$
Площа поперечного перерізу розкосу №4, см ²	F_4	$F_4 := 12.^{\circ}$
Площа поперечного перерізу розкосу №5, см ²	F_5	$F_5 := 24.^{\circ}$
Модуль пружності матеріалу, мПа	E	$E := 0.71 \cdot 10^5$

Максимальні навантаження у зв'язках, що згинаються і критичні навантаження у зв'язках, що стискаються наведено у табл.3.

Таблиця 3

Елемент конструкції	Результат розрахунку
Балка транцю №1	$M_1 := q \cdot \frac{l_1^2}{8}$ $M_1 = 0.691$ $\sigma_1 := \frac{M_1 \cdot 10^3}{W_1}$ $\sigma_1 = 10.634 \text{ МПа}$
Балка транцю №2	$M_2 := q \cdot \frac{l_2^2}{8}$ $M_2 = 1.415$ $\sigma_2 := \frac{M_2 \cdot 10^3}{W_1}$ $\sigma_2 = 21.762 \text{ МПа}$
Балка транцю №3	$M_3 := q \cdot \frac{l_3^2}{8}$ $M_3 = 1.255$ $\sigma_3 := \frac{M_1 \cdot 10^3}{W_1}$ $\sigma_3 = 10.634 \text{ МПа}$
Розпорка №4	$R_4 := (R_2 + R_1) \cdot \cos(\alpha_4)$ $R_4 = 8.883 \text{ kN}$ $P_{kr4} := 3.14^2 \cdot E \cdot \frac{I_4 \cdot 10^{-5}}{l_4^2}$ $P_{kr4} = 467.262$
Розпорка №5	$R_5 := 2 \cdot (R_2 + R_3) \cdot \cos(\alpha_5)$ $R_5 = 20.082 \text{ kN}$ $P_{kr5} := 3.14^2 \cdot E \cdot \frac{I_5 \cdot 10^{-5}}{l_5^2}$ $P_{kr5} = 960.038 \text{ kN}$

Моделювання навантаження запропонованої конструкції за методом скінчених елементів відбувалось у середовищі Solid Works. На Рис 4-7 наведено схему навантаження корпусної конструкції, сітку скінчених елементів, напруження та переміщення, що виникатимуть у результаті навантаження.

Имя модели: Лада ОЗ
Название исследования: Статический 1(По умолчанию)
Тип опор: Статический (в деформации) Деформация
Шкала деформации: 116,398

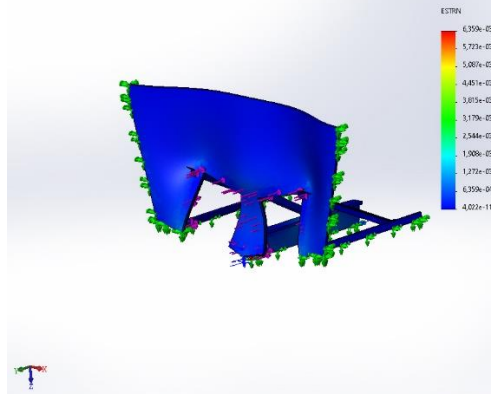
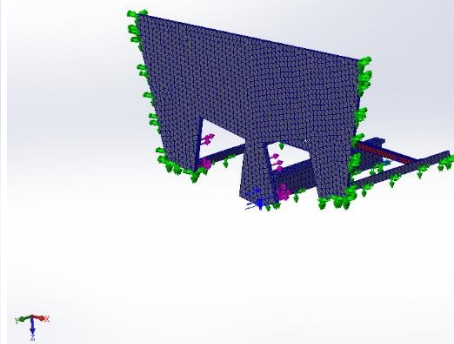


Рисунок 4

Имя модели: Лада ОЗ
Название исследования: Статический 1(По умолчанию)
Тип опор: Сетка Качество



Рисунунок 5

Имя модели: Лада СК
Название исследования: Статический 1(По умолчанию)
Тип опор: Статический (в деформации) Напряжение
Шкала деформации: 116,398

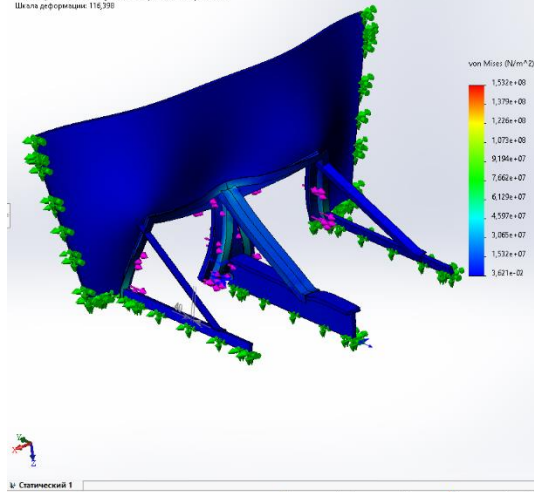


Рисунок 6

Имя модели: Лада СК
Название исследования: Статический 1(По умолчанию)
Тип опор: Статический (в деформации) Перемещение
Шкала деформации: 116,398

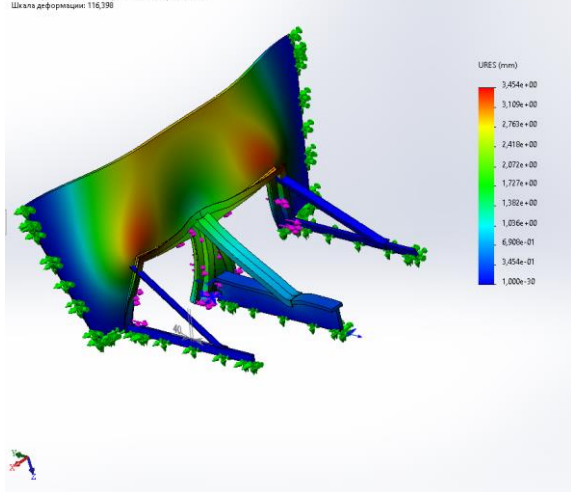


Рисунок 7

Найбільші напруження, що виникають в елементах ферми, що підкріплює, в порівнянні з результатами моделювання МСЕ показані у табл. 4.

Таблиця 4

Зв'язок	Напруження за спрощеною схемою, мПа	Напруження за моделлю, мПа	Різиція %
Балка №1	22.1	35.0	-37
Балка №3	22.1	39.2	-44

Висновки. Застосування спрощеної моделі розрахунку (за балочною схемою) показує, що загальний характер напруження в основній і спрощеній моделі, в основному (за максимальними напруженнями у перерізах балок ферми, що проєктуються), досить близький. При цьому результати спрощеного розрахунку показують напруження нижче напружень у моделі (близько третини). Параметри розпірок (балка №4 та балка №5) можуть визначатися за

формулою Ейлера. Досить велика розбіжність результатів повного і спрощеного моделювання може бути викликана відсутністю включення сприйняття перекриттям днища частини навантаження від упору рушіїв.

Надалі необхідно продовжити дослідження з метою врахування цього фактора та відповідного перерозподілу навантаження від упору рушіїв.

У цілому, спроба створення спрощеної схеми розрахунку, придатної з метою нормування розмірів проєктованих зв'язків підкріплень, видається досить перспективною за умови призначення коректних коефіцієнтів запасу міцності проєктованих зв'язків. Необхідні подальші дослідження та формалізація алгоритму спрощеного розрахунку.

REFERENCES

- [1]. Грабенко, А. А., & Кузнецов, А. І. (2020). Особливості застосування поліетилену низького тиску в якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден. Збірник Наукових Праць НУК, 2, 3–7.
- [2] Siswandi, B., & Aryawan, W. D. (2016). High Density Polyethylene (HDPE) Vessel of Pompong as a Fishing Vessel for Bengkalis Fisherman. The 2 Nd International Seminar on Science and Technology. <https://www.neliti.com/publications/173518/high-density-polyethylene-hdpe-vessel-of-pompong-as-a-fishing-vessel-for-bengkal>
- [3] Ridwan, M., Sulaiman, S., Sugeng, S., Sarwoko, S., & Nies, H. (2022). Mechanical Properties of Small Boat Construction from HDPE Blue Drum Scrap. TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 16(3), 573–578. <https://doi.org/10.12716/1001.16.03.20>
- [4]. Lysytskyi, I. V., & Kuznetsov, A. I. (2023). Ways of Standardizing HDPE hull structures Parameters for small vessels. Збірник Наукових Праць Національного Університету Кораблебудування Імені Адмірала Макарова, 2(491), 44–54.

Anatoliy Kuznetsov, Igor Lysytskyi

The ways of supporting structures normalization of water-jet propulsion for HDPE small vessels

Annotation. Directions for further research on the design of hull structures made of high-density polyethylene for small vessels are proposed. Modeling of the ability of the structure of the transom of a small vessel made of HDPE to withstand a thrust with the adopted design parameters with additional reinforcements was carried out.

Keywords: small vessels, hull structures, propulsive complexes, design requirements, high-density polyethylene, ISO standards.

**Секція № 4. ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ, РЕНОВАЦІЇ І РЕМОНТУ
СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД**

**SECTION № 4. TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION, RENOVATION AND
REPAIR OF SHIPS, MARINE FACILITIES AND ENGINEERING
STRUCTURES**

УДК 629.5.015.1

**АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСВІДУ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ
3D-ПРИНТЕРІВ У БУДІВНИЦТВО, РЕМОНТ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ
СУДЕН І МОРСЬКИХ ПЛАВУЧИХ СПОРУД**

Щедролюсєв О. В., д.т.н., професор¹, Соценко В. В., старший викладач²

Коновалова Г. В., к.т.н., доцент³

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування ім. адм. Макарова,
Україна, м. Миколаїв

¹ORCID: 0000-0001-7972-3882; ov_shchedrolosiev@gmail.com

²ORCID: 0000-0003-1215-849X; sotsenkovladyslav@gmail.com

³ORCID: 0000-0002-9165-8793; konovalovaiianna@gmail.com

Анотація. Здійснено аналітичний огляд зарубіжного досвіду впровадження адитивного виробництва – використання 3D-принтерів у суднобудуванні (кораблебудуванні), судноремонті та технічному обслуговуванні флоту. Проаналізовано основні переваги, проблеми впровадження й використання сучасної адитивної технології.

Ключові слова: адитивне виробництво, витратні матеріали, деталі, економічна ефективність, ремонт, собівартість, суднобудівні вироби, суднобудівні конструкції, технологія, 3D-принтер.

Вступ. 3D-друк, відомий у промисловості як адитивне виробництво (AM) за останні кілька років стрімко змінив традиційні підходи та рішення у виробничих процесах та й саму продукцію (виріб) в багатьох галузях промисловості. Наприклад, це пов'язано з конкретними додатковими перевагами, такими як зменшення ваги виробу, багатофункціональність, універсальність, виготовлення деталей будь-якої складності, локалізоване виробництво тощо, що стало можливим завдяки процесу AM. AM визначається як «процес з'єднання матеріалів для виготовлення деталей на основі даних 3D-моделі, зазвичай шар за шаром, на відміну від субтрактивного виробництва та методологій формоутворення», ISO/ASTM (2015). Прикладами таких методів є свердління, фрезерування з ЧПУ, згинання тощо, які є поширеними в суднобудівному (кораблебудівному) будівництві. Відмінності між AM і традиційно використовуваними субтрактивними технологіями виробництва схематично показані на рис. 1.

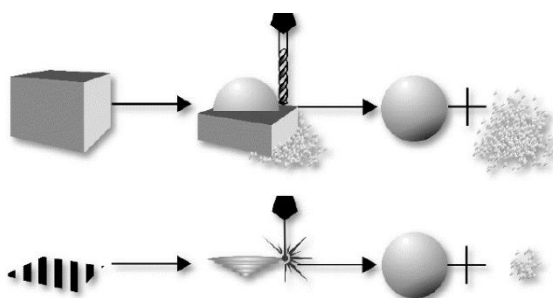


Рисунок 1 – Субтрактивне та адитивне виробництво

Постановка задачі. Безпосередньо підприємства суднобудівної галузі мають справу з відносно великими і грубими елементами-компонентами (блоки/секції) порівняно, наприклад, з авіаційною або автомобільною галузями. Суднобудівні корпусні конструкції повинні бути сумісними з сучасними технологіями, які впроваджуються та в той же час достатньо міцними, щоб витримати всі цикли морських навантажень при експлуатації.

DED (Direct Energy Deposition) використовує зовнішню сфокусовану теплову енергію, таку як лазерний або електронний промінь, для плавлення матеріалу, який наноситься одночасно. PBF (Powder Bed Fusion) також використовує зовнішнє джерело енергії, але перед додаванням енергії матеріал наноситься тонким шаром, який називається порошковим шаром, цей шар опускається, і новий шар додається кілька разів. Екструзія матеріалу використовує внутрішню енергію від нагрівального елемента для осадження розплавленого матеріалу з сопла.

У таблиці 1 наведено адаптований огляд принтер-машин, які доступні на промисловому ринку. До цієї таблиці включено лише найбільші машини для двох з описаних вище процесів. Для спрощення наведено три параметри: габарити машини (ДхВхГ), тип матеріалу й процес, щоб дати уявлення про сумісність з суднобудівною галуззю.

Таблиця 1 – Вартість машин

Компанія-виробник	Модель	Процес	L (мм)	В (мм)	Н (мм)	Вартість машини (тис.\$)
Sciaky	VX.4-300 x108x132	DED	6300	1372	1473	5000
CRAN-FIELD	WAAM	DED	5000	5000	5000	100
DMG Mori	Lasertec 65	DED	735	650	560	Невідома
Concept laser	X line 2000R	PBF	800	400	500	1575
EU-project	Borealis	Hybrid	4500	2500	1000	Невідома

Якщо зосередитися на основних вимогах, то між компонентами АМ та суднобудівною галуззю є багато спільного. За важливістю на перших місцях стоїть ефективність, швидкість виробництва, спрощена система логістики з постачання витратних матеріалів. Не на останньому місці стоїть питання собівартості готових корпусних конструкцій, деталей для виробництва, ремонту та обслуговування суден і морських плавучих споруд. Загальний консенсус щодо вартості суднобудівних металоконструкцій для спрощених суден внутрішнього плавання становить 2,5 [євро/кг]. PBF, один з найдорожчих процесів АМ,

оцінюється в кілька сотень євро за кг. Щоб подолати цю різницю, необхідне чітке економічне обґрунтування конкретної технології АМ. Однак, такі можливості як зменшення ваги деталей/конструкцій або виробництво безпосередньо на місці, потребують ретельного розгляду, тому це економічне обґрунтування не таке чітке, як в інших галузях.

Перший етап – Дослідні центри.

Через низьку технологічну готовність АМ, придатних для широкомасштабного впровадження й використання в світовому суднобудуванні, було створено кілька закордонних науково-дослідних інститутів або департаментів. В діяльності центрів беруть участь всі ключові учасники – зацікавлені сторони, включаючи відповідних партнерів (замовників-користувачів, регуляторні органи та постачальників технологій), в рамках консорціумів для прискорення процесів від розробки та безпосереднього впровадження.

Польова лабораторія порту Роттердам запроваджена як інноваційна програма для перевірки можливості друку суднобудівних конструкцій, виробів. Порт Роттердама отримав статус «Польової лабораторії». Наступні кроки – інвестиції у власний 3D-принтер WAAM для сприяння дослідженням у сфері 3D-друку в Нідерландах в рамках проєкту RAMLAB.

У липні 2015 року компанія Hyundai Heavy Industries co. Ltd. (HHI) оголосила, що вони підтримують ініціативу уряду Південної Кореї, який зосередився на АМ, відкривши «економічний інноваційний центр» в Ульсані. Центр ставить на меті заснувати й розвивати осередок з виробництва 165 ключових суднобудівних деталей що «за експертними оцінками дозволить корейським суднобудівникам заощаджувати в середньому близько 2 млрд доларів на рік».

Уряд Сінгапуру інвестує \$500 млн протягом п'яти років в АМ. Фінансування є частиною програми «Майбутнє виробництва». Технологічний університет Наньянг відкрив центр передового досвіду під назвою Сінгапурський центр 3D-друку. Одними з ключових учасників-замовників для цього центру є суднобудівна промисловість та офшорна галузь. Адже, саме на виробничих і експлуатаційних об'єктах суднобудування, судноремонту та офшорних суднах-забезпечення центральна увага приділена великим з'єднанням, великогабаритним конструкціям, виробам тощо.

Приклади впровадження та реалізація АМ в зарубіжному суднобудуванні, судноремонті, технічному обслуговуванні суден і морських плавучих споруд

Швидке виробництво досліджується і певною мірою використовується в різних сферах суднового будівництва.

У 2012 році 3D-принтер був встановлений на борту десантного корабля USS Essex. Наступним кроком стала передача для експлуатації ще двох принтерів на борт авіаносця USS Harry S. Truman. Принтери використовуються для друку «будь-чого – від пластикових шприців до кришок масляних баків». У 2014 році компанія Maersk встановила полімерний 3D-принтер на борту одного зі своїх танкерів в рамках експерименту, з метою зниження вартості й складності логістичних операцій з доставки запчастин для здійснення поточних ремонтів в потрібне місце і потрібний час.

Tru-marine – компанія, яка спеціалізується на ремонті судових турбокомпресорів. Лазерне наплавлення (різновид електроерозійної обробки) використовується для відновлення соплових кілець до стану нових. Це призводить до зменшення кількості відходів від виробництва, вартості суднобудівних виробів і часу доставки, а випробування використаного матеріалу показало гарну міцність на розрив і мікроструктуру.

Дослідження Lloyds Registers AM стосувалося вбудованих датчиків, які використовуються під час самого адитивного виробництва. Мета дослідження полягала в отриманні необхідних даних зі статичного об'єкта, наприклад, під час виробництва суднобудівного виробу, для подальшої сертифікації даного продукту або для моніторингу й встановлення терміну експлуатації заключного компонента.

Про впровадження використання 3D-принтерів у виробництво деталей для атомних підводних човнів Військово-морських сил США повідомив наприкінці жовтня 2023 року Defense One.

Для того, щоб встигнути за графіком виробництва, ремонту та обслуговування атомних підводних човнів у ВМС США більш ніж серйозно націлились на використання 3D-принтерів у виробництві деталей. Більше того, саме адитивні технології назвали єдиною умовою для того, щоб залишитись у графіках виробництва.

Виготовлені за цією технологією деталі вже почали встановлювати на підводні човни. Тобто рівень довіри до 3D-друку настільки значний, що його використовують не просто у військовій техніці, а у підводних човнах до яких закладені більш ніж значні вимоги щодо надійності.

Мова йшла не про маловажливі деталі, а критичні компоненти для підводних човнів класу Columbia, які мають прийти на заміну Ohio (це стратегічні субмарини з міжконтинентальними балістичними ракетами – основою ядерної безпеки США). Як повідомив контр-адмірал Джонатан Ракер, який у Пентагоні відповідає за закупівлю підводних човнів, саме таким шляхом, наприклад, виготовляються клапани. «Нам абсолютно необхідне адитивне виробництво. Якщо Ви подивіться на компоненти кораблів – поковки, виливки, фітинги, клапани, кріпильні деталі – ми не зможемо задовольнити попит для будівництва необхідних нам підводних човнів, а також на підтримку їх експлуатації, не переходячи на адитивне виробництво», – підкреслив Джонатан Ракер, якого цитує Defense One. В дану виробничу технологію у США почали вкрай активно вкладати державні кошти, наприклад, на 2024 рік з 2 млрд доларів бюджету запланованого на направлення в розвиток виробництва підводних човнів, одразу 15 % підуть на розвиток адитивних технологій. Тобто 300 млн доларів лише в одній сфері оборонно-промислового комплексу.

Висновки. Полімерне швидке прототипування та оснащення вже застосовуються у морській галузі, в зарубіжному суднобудуванні. Як і в інших високотехнічних галузях, впровадження виробів адитивного виробництва розпочиналося з використання їх у військовому секторі. Ініціаторами розвитку розглянутих новітніх технологій є державні структури й приватні компанії, це ж стосується і джерел фінансування. Однак, переважно важливі критичні компоненти швидкого виробництва для суднобудування, судноремонту, технічного обслуговування суден і морських плавучих споруд все ще перебувають на стадії дорозробки.

REFERENCES

- [1] Borealis. (2016). Enlightening Next Generation of Material, Project Brochure.
- [2] Douglas, T.S.; Gilbert, S.W. (2014), Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing - A Literature Review and Discussion, National Institute of Standards and Technology.
- [3] Mitchell, J. (2012), Global Industrial Automation.
- [4] Wohlers, T. (2014), Wohlers' report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry.

- [5] Mellor, S.; Hao, L.; Zhang, D. (2014), Additive Manufacturing: A Framework for Implementation, Int. J. Production Economics.
- [6] LR (2016), Guidance Notes for Additive Manufacturing of Metallic Parts, Lloyd's Register.
- [7] Пентагон почав друкувати деталі для атомних субмарин на 3D-принтері й вважає це єдиним шансом | Defense Express. (n.d.). https://defence-ua.com/news/pentagon_pochav_drukuvati_detali_dlja_atomnih_submarin_na_3d_printeri_j_vvazha_je_tse_jedinim_shansom-13307.html

Shchedrolosiev O., Sotsenko V., Konovalova H.

Relevance of the experience of implementation and use OF 3D-printers in The construction, repair and maintenance of ships and offshore floating structures

Annotation The article provides an analytical review of foreign experience in the implementation of additive manufacturing - the use of 3D printers in shipbuilding, ship repair and fleet maintenance. The main advantages, problems of implementation and use of modern additive technology are analysed.

Keywords: additive manufacturing, consumables, parts, economic efficiency, repair, cost, shipbuilding products, shipbuilding structures, technology, 3D printer.

УДК 629.514

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ПОВЕРХОНЬ БАЛАСТОВИХ ВІДСІКІВ ДОКІВ МЕТОДОМ «ФЛОТАЦІЇ»

Щедролосоєв О. В., д.т. н., професор¹, Коновалова Г. В., к.т.н., доцент²,

Сердюк В. А., магістрант³

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування ім. адм. Макарова

Україна, м. Миколаїв,

¹ORCID: 0000-0001-7972-3882; ²ORCID: 0000-0003-1215-849X;

³ORCID: 0009-0008-2238-4718

Анотація. Розроблена конструкція та технологія антикорозійного захисту баластних відсіків, з дотриманням вимог Регістру судноплавства України та МАРПОЛ 73/78, яка дозволяє забезпечити антикорозійний захист баластних відсіків доків без виведення їх з експлуатації, значно підвищують ресурс їх роботи та знижують матеріальні витрати на ремонт.

Ключові слова: конструкція, технологія, баластні відсіки, композитні доки, інгібітори, флотація, ремонт, ресурс.

Актуальність дослідження. Захист металевих корпусу суден і доків від корозії здійснюється шляхом очищення й фарбування зовнішньої обшивки корпусу і внутрішніх його приміщень, цементуванням танків, застосуванням протекторного захисту та іншими засобами.

На перераховані засоби захисту витрачається біля 47 % матеріальних витрат, причому основна частина цих витрат витрачається на очищення й фарбування металевих корпусу.

Особливо сильно піддаються корозії та руйнуванню металоконструкції баластних відсіків і цистерн водяного баласту, в яких вологість протягом усього періоду експлуатації плаваючих споруд знаходиться в межах близько 100 %.

Розробка сучасної конструкції та технології захисту цих систем значно підвищують ресурс їх експлуатації та зменшують матеріальні витрати на ремонт.

Мета роботи. Метою роботи є розробка конструкції та технології захисту поверхонь баластного відсіку плавучого дока, який дозволяє застосовувати плаваючі інгібітори корозії або змащення, які наносяться «флотаційним» способом.

Основний матеріал. На Херсонській суднобудівній верфі ТОВ «Паллада Шип'ярд» будуються композитні плавучі ремонтні доки, основною перевагою яких є відсутність необхідності докування протягом усього терміну служби – 40...50 років.

Основним недоліком цих доків є необхідність періодичного очищення й фарбування металевих поверхонь башт.

Якщо періодичне очищення й фарбування зовнішніх металевих поверхонь не викликає утруднень, то очищення й фарбування внутрішніх поверхонь металоконструкцій викликає певні складності, які полягають у наступному:

- а) очищення й фарбування металоконструкцій баластних відсіків виконуються в закритих приміщеннях;
- б) металоконструкції баластних відсіків мають більші площі;
- в) є необхідність у виконанні великого обсягу супровідних робіт, а саме:
 - виготовлення, установка й демонтаж майданчиків, установлюваних у баластних відсіках, необхідних для виконання відновлювальних фарбувальних робіт;
 - доступ у баластні відсіки можливий тільки через звичайні судові горловини, тому для заведення, монтажу майданчиків і потім їх видалення необхідно в бортах башт виконати вирізи площею $2,0 \times 3,0$ м з наступним їхнім закладенням. Але в цьому випадку док повинен бути виведений з експлуатації.

Трудомісткість, періодичність технічного обслуговування та ремонтів корпусів суден і доків визначається інтенсивністю корозійних процесів на поверхнях металоконструкцій, що стикаються з морською водою або атмосферою з великою вологістю до 97...99 %.

Зниження працездатності на технічне обслуговування й ремонт корпусу перебуває в прямій залежності від ефективності захисних покриттів або засобів, що сповільнюють швидкість корозії.

Періодичне багат шарове лакофарбове покриття на основі епоксидних смол для захисту металоконструкцій баластних відсіків суден і доків від корозії пов'язане з виконанням робіт у важкодоступному замкненому просторі (наприклад, очищення металевих поверхонь і нанесення нових покриттів), а також з необхідністю проведення супровідних робіт (наприклад, виготовлення майданчиків, їх монтаж, демонтаж і очищення відсіку).

Рішення проблеми захисту металоконструкцій баластних відсіків від корозії може бути досягнуте шляхом застосування плаваючих шарів водонерозчинних інгібіторів.

Ці поверхньоактивні речовини, що добре розчиняються в нафтопродуктах, мають високі водовідштовхувальні властивості й гарну адгезію до металу.

Інгібітор, осідаючи на стінках відсіків, проникає крізь продукти корозії до металу, витісняє воду з його поверхонь і утворює захисну водовідштовхувальну плівку. Практика показує, що такий спосіб захисту різко скорочує працездатність й надійно захищає металеві

поверхні від корозії. Інгібітори не висихають, не виділяють отрутих продуктів при проведенні зварювальних робіт, полегшують очищення внутрішніх поверхонь за рахунок розм'якшення наявних продуктів корозії.

Основною проблемою застосування плаваючих інгібіторів, а також мастик, які наносяться «флотаційним» способом, є неприпустимість потрапляння розчинів за борт. Особливо актуальною та характерною є ця проблема для плавучих доків. У процесі докових операцій потрапляння інгібірованих мастил спостерігається:

–при зануренні доку – через повітряні труби внаслідок гідравлічного удару в момент заповнення відсіку;

–при спливанні дока – через відливні патрубки баластної системи в момент досягнення масляним шаром певного рівня (1,0 м).

Для можливості застосування захисту від корозії металоконструкцій баластних відсіків композитних доків плаваючим шаром мастил необхідно передбачити комплекс конструктивних та технологічних спеціальних заходів.

Системи для застосування плавучих інгібіторів «флотаційним» методом суден показані на рис. 1. Розроблена конструкція містить переносну цистерну приготування і подання плаваючих інгібіторів мастила 1, яка за допомогою переносного шланга 2 під'єднується до трубопроводу 3. У кінці трубопроводу встановлений колектор 4 із патрубком 5, через який покриття поступає в цистерну чистого баласту наливного судна 12.

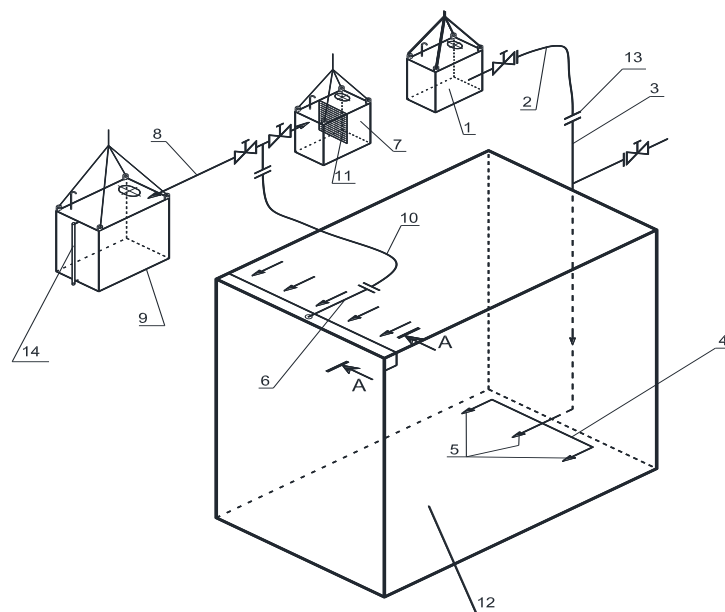


Рисунок 1 – Системи для застосування плавучих інгібіторів

«флотаційним» методом [12], де 1 – переносна цистерна приготування і подання плаваючих інгібіторів мастила, 2 – переносний шланг, 3 – трубопровід, 4 – колектор, 5 – патрубок, 6 – повітряна труба, 7 – цистерна збору залишків покриттів, 8 – трубопровід, 9 – відстійна цистерна, 10 – переносний шланг, 11 – захисний перфорований лист, 12 – цистерна чистого баласту наливного судна, 13 – заглушка; 14 – водовказівна колонка

Відведення залишків покриттів здійснюється по повітряній трубі 6 і переносному шлангу 10 у переносну цистерну збору залишків покриттів 7. Виведення забрудненої води з баластної цистерни наливного судна здійснюється у відстійну цистерну 9 через трубопровід 8. Конструкція для виведення залишків покриття показана на рис. 2.

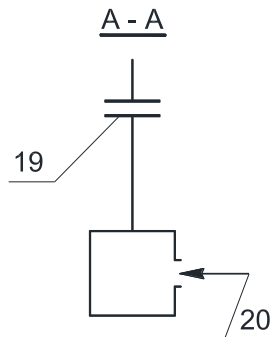


Рисунок 2 – Конструкція для виведення залишків покриття:
19 – глухий фланець, 20 – залишки покриття

Для цього цистерна чистого баласту забезпечується:

- переносною цистерною 1 для приготування і подання потрібної кількості покриттів, яка під'єднується за допомогою переносного шланга 2 до трубопроводу прийому покриттів 3;
- у кінці трубопроводу 3 установлений колектор прямокутного перерізу 4 з патрубком 5, через які покриття рівномірно поступає в цистерну чистого баласту;
- на повітряній трубі 6 цистерн, у свою чергу, встановлені:
- переносна цистерна 7 збору залишків покриттів, а також трубопровід 8 відведення води з цистерни чистого баласту у відстійну цистерну 9.

Цистерна 7 з'єднується з повітряною трубою 6 переносним шлангом 10.

По мірі заповнення цистерни чистого баласту (доцільно чистою прісною водою) вона подається в нижню частину цистерни при мінімальній швидкості підйому плаваючого шару інгібірованого покриття, яке піднімається разом з баластом. Потрапляння інгібірованого масла за борт через повітряну трубу, викликане гідравлічним ударом, що утворюється в момент заповнення баластом усього об'єму, запобігається цистерною збору залишків покриттів і захисним перфорованим листом 11.

Для підготовки, завантаження й видалення покриттів, що залишилися, доцільно виготовити спеціальний переносний стенд (рис. 3, 4).

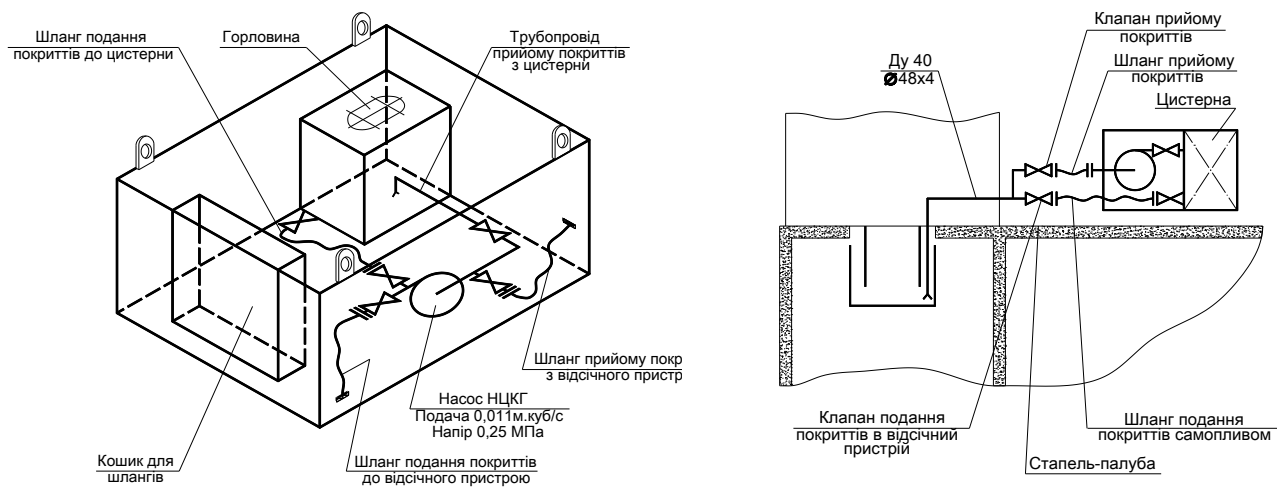


Рисунок 3 – Переносний стенд

На переносному стенді встановлені:

- а) цистерна ємністю $V = 2,0 \text{ м}^3$;
- б) насос;
- в) обуки для стропування й переміщення стенда за допомогою крана;
- г) трубопроводи для приймання й подачі покриттів насосом;
- д) шланги для приєднання стенда до трубопроводів відсічного пристрою;
- е) на цистерні горловина для огляду внутрішніх поверхонь цистерни;
- ж) щиток манометровий для контролю роботи насоса;
- и) комінгс висотою 150 мм від протоки покриттів;
- л) днище стенда (з комінгсом піддона) від протоки покриттів.

При завантаженні покриттів у відсічний пристрій необхідно:

- 1) попередньо відсічний пристрій залити водою, щоб виключити потрапляння захисних покриттів у нижню зону;
- 2) приєднати шланг подачі покриттів самопливом;
- 3) відкрити клапан подачі покриттів самопливом;
- 4) після завантаження покриттів клапан закрити й зняти шланг.

При видаленні залишків покриттів з відсічного пристрою необхідно:

- приєднати шланг приймання покриттів;
- відкрити клапан приймання покриттів;
- включити насос;
- після видалення покриттів насос виключити, клапан закрити й зняти шланг.

Висновки. Упровадження удосконаленої конструкції та технології антикорозійного захисту баластних відсіків, з дотриманням вимог Регістру судноплавства України та МАРПОЛ 73/78, дозволяє забезпечити антикорозійний захист баластних відсіків доків і суден, без виведення їх з експлуатації, значно підвищують ресурс їх роботи та знижують матеріальні витрати на ремонт.

REFERENCES

- [1] Щедролоєв, О. В., & Рашковський О. С., Узлов О. М., Кириченко К. В. (2017). Патент на корисну модель МПК В63В 43/06 Танк ізольованого баласту наливного судна 117657. Київ: Державне патентне відомство України.
- [2] Правила класифікації та побудови суден. (2024). Регістр судноплавства України (Т. 2). Київ: Регістр судноплавства України.
- [3] Щедролоєв, А. В. & Узлов, А. Н., Кириченко, К. В. (2017). Усовершенствование конструктивно-технологических схем балластных систем для антикоррозионной защиты с использованием плавающих ингибиторов. *Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri (Баку, Азербайджанська Державна Морська Академія)*, 2, 47-53.
- [4] Щедролоєв, О. В., & Кириченко, К. В. (2017). Способи використання сучасних інгібіторів корозії для захисту баластних відсіків суден та плавучих споруд. *Матеріали дев'ятої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2017» (23-25 травня 2017 р.)*. Херсон: ХДМА.
- [5] Щедролоєв, О. В., & Узлов, О. М., Кириченко, К. В. (2016). Удосконалення схем баластних систем із застосуванням плаваючих інгібіторів. *Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (12-14 жовтня 2016 р.)*. Миколаїв: НУК.

Shchedrolosiev O., Konovalova H., Serdiuk V.

Development of the design and technology for protecting the surfaces of ballast compartments of docks by the "flotation" method

Annotation. We have developed a design and technology for corrosion protection of ballast tanks in compliance with the requirements of the Shipping Register of Ukraine and MARPOL 73/78, which allows us to provide corrosion protection of ballast tanks of docks without decommissioning them, significantly increasing their service life and reducing material costs for repairs.

Keywords: design, technology, ballast compartments, composite docks, inhibitors, flotation, repair, service life.

УДК 629.12

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАТЯГУВАННЯ НОСОВОГО ГНУЧКОГО
ОГОРОДЖЕННЯ БЕЗ ДІАФРАГМИ В РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СППА
ПЕРЕДНІМ ХОДОМ НАД ТИХОЮ ВОДОЮ ПІСЛЯ ПЕРЕХОДНОГО
РЕЖИМУ**

¹Зайцев В. В., д.т.н., професор, ²Зайцев Вал. В., д.т.н., доцент, заступник директора,

³Зайцев Д. В., к.т.н., доцент, заступник директора, ⁴Лукашова В. В.,

^{1,4}Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,

^{2,3}Дизайн бюро ИМТ

^{1,2,3,4}Україна, Миколаїв

¹zvzv1949@gmail.com, ORC ID: 0000-0002-3637-9273

²zvalv1974@gmail.com, ORC ID: 0000-0002-8590-5671

³zdmvl1982@gmail.com, ORC ID: 0000-0001-5778-4668

⁴viptory2010@gmail.com, ORC ID: 0000-0002-8741-6783

Анотація. У доповіді представлено математичну модель затягування під корпус амфібійних суден на повітряній подушці (СППА) носового гнучкого огородження (НГО) без діафрагми в режимі експлуатації переднім ходом над тихою водою після переходного режиму. Особливу увагу приділено напружено-деформованому стану оболонки НГО при затягуванні його під корпус судна після переходного режиму. Розроблений комплекс математичних моделей дозволяє поглиблено аналізувати експлуатаційні характеристики СППА до завершення їх проектування і до початку будівництва.

Ключові слова: амфібійне судно на повітряній подушці, повітряна подушка, носове гнучке огородження, затягування, рух в режимі експлуатації, тиха вода, перехідний режим, математична модель

Вступ. У процесі експлуатації носове гнучке огородження (НГО) амфібійного судна на повітряній подушці (СППА) піддається впливу різних статичних і динамічних навантажень, що призводить до зміни їхньої форми. На НГО в процесі експлуатації СППА над тихою водою діють сили і моменти хвильової природи, які зумовлені впливом повітряної подушки (ПП), що переміщається, на поверхню тихої води, що призводять до затягування ГО під корпус СППА. Явище затягування відіграє ключову роль не тільки під час розв'язання завдань, пов'язаних зі стійкістю СППА на курсі, а й під час визначення величини зниження швидкості судна на хвилюванні та ймовірності втрати стійкості руху внаслідок затягування ГО.

Під час руху СППА в режимі експлуатації переднім ходом на тихій воді поверхня води під впливом тиску повітряної подушки деформується.

Тому в процесі конструювання ГО необхідно встановити момент початку затягування під корпус ГО. З'ясування впливу на затягування ГО під корпус судна конструктивних чинників ресивера і знімних елементів ГО особливо важливе під час перехідного режиму експлуатації ГО від моменту, коли в контакт з водою перебувають тільки знімні елементи, до моменту, коли з водою починає контактувати гнучкий ресивер.

Основні зовнішні гідродинамічні сили, що діють на НГО під час його затягування в перехідному режимі під корпус під час руху СППА, зазвичай розділяють на дві складові: перша складова пов'язана з надлишковим тиском повітря у ПП судна і гнучкому ресивері НГО, друга - з опором води, який виникає на знімних елементах НГО в результаті контакту останніх із водою і спрямований паралельно до її поверхні як під час руху судна над тихою водою, так і над схвильованою поверхнею моря. У результаті впливу на знімні елементи опору води за певних умов відбувається затягування НГО під корпус СППА.

Поведінка НГО в перехідному режимі залежить від його здатності чинити опір затягуванню, яке залежить від параметрів форми ГО, тиску повітря і наявності діафрагм, які зменшують можливість затягування НГО під корпус СППА.

Незважаючи на те, що СППА застосовуються вже не одне десятиліття і існує велика кількість літератури, яка пов'язана з теорією таких суден і з практикою їхнього проектування, дотепер існує низка невирішених проблем, пов'язаних із цими суднами. Існують різні методики, теорії та публікації [1-4], які дають змогу розраховувати та проектувати різноманітні комплекси та системи СППА, що в підсумку дає змогу створювати успішні в експлуатації судна. Але при цьому досі залишаються відкритими питання затягування НГО під корпус судна.

У зв'язку з цим, метою роботи є визначення параметрів форми НГО без діафрагми СППА і його напружено-деформованого стану після перехідного режиму руху лагом над тихою водою, що впливають на затягування одноярусного ресивера зі знімними елементами без діафрагми НГО під корпус СППА.

Основна частина. У роботі розв'язано задачу врахування явища затягування ГО НГО під корпус судна під час визначення НДС його ресивера без діафрагми (рис. 1) і без урахування розмірів повітропроводних вирізів (стрибок тисків по внутрішній лінії K_1 НГО внутрішньої ділянки гнучкого ресивера), рис. 2. Зовнішній вигляд СППА "АСV-70" (проект конструкторського бюро "Дизайн бюро ИМТ") показано на рис. 3, а напрямок зовнішньої сили затягування, що діє на його НГО під час руху на тихій воді переднім ходом в експлуатаційному режимі, показано на рис. 4.

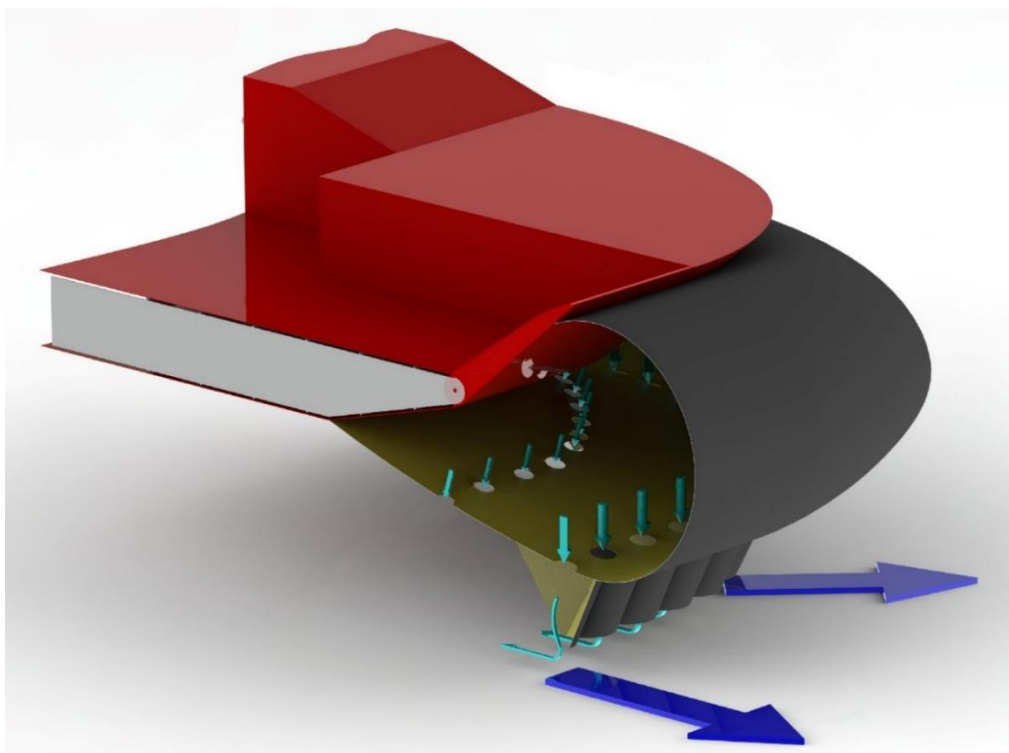


Рисунок 1 – Носове гнучке огородження СППА "АСV-70"

Досліджується оболонка ресивера НГО (див. рис. 2), що складається з трьох ділянок DK_2 , K_2K_1 та K_1A ізотропного, нерозтяжного й абсолютно гнучкого матеріалу, між якими розташована горизонтальна ділянка K_1K_2 та до частини якої кріпиться знімний елемент (ЗЕ).

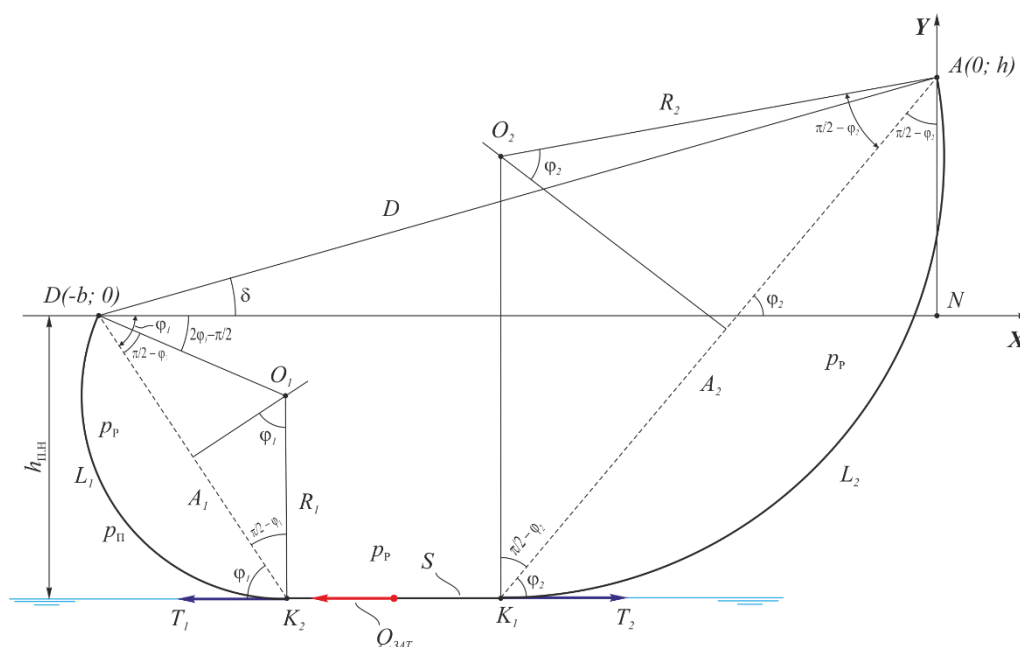


Рисунок 2 – Схема зусиль (розрахункова схема), що діють на гнучкий ресивер НГО під час руху СППА над тихою водою після перехідного режиму

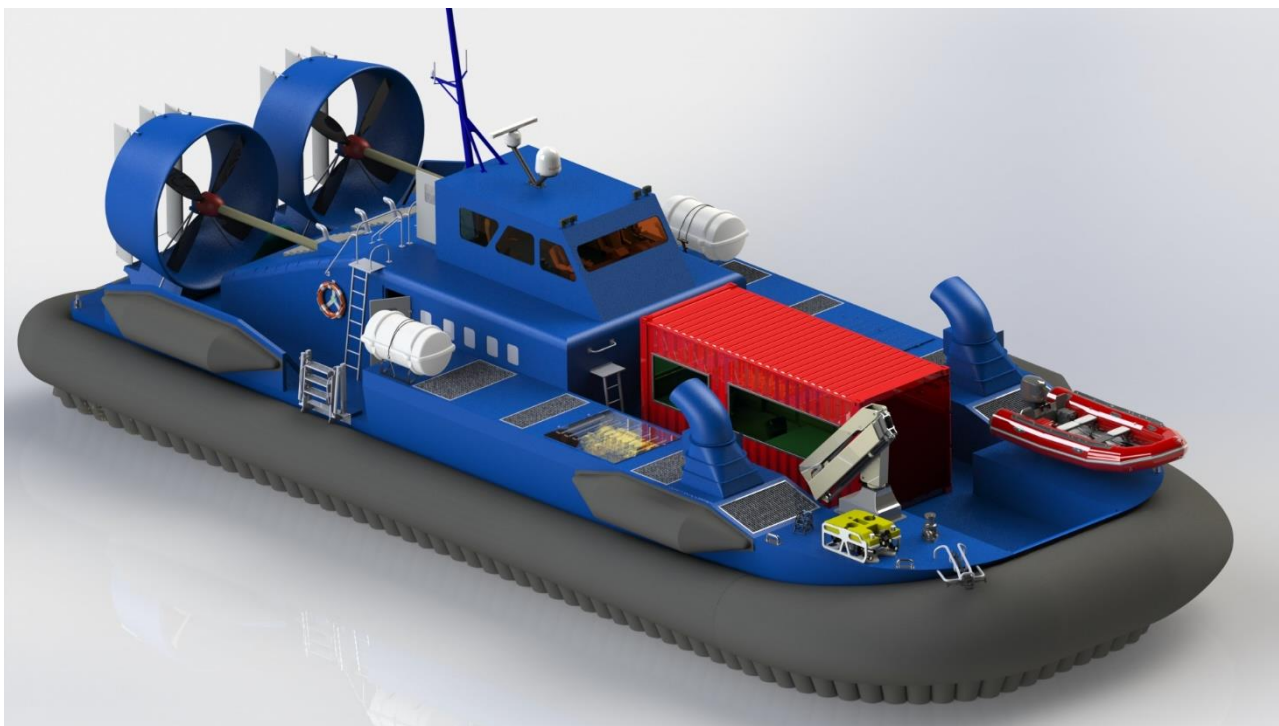


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд СППА "АСV-70 (проект ДБ ИМТ)

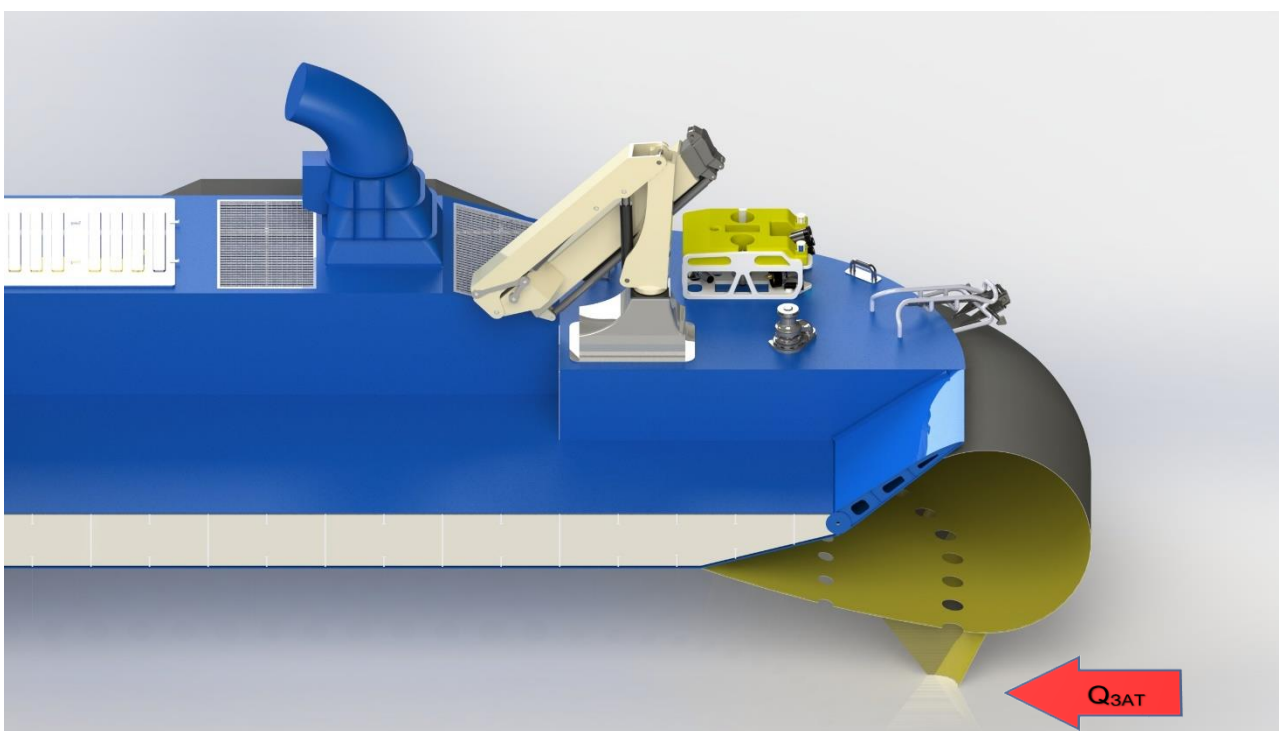


Рисунок 4 – Напря́м зусиль зтягування, що діють на носове гнучке огороження СППА "АСV-70" під час його руху над тихою водою в експлуатаційному режимі після перехідного режиму

Припущення. Під час руху СППА на ПП після перехідного режиму зтягування НГО буде глісувати поверхнею води (ділянка кріплення ЗЕ K_1K_2 буде горизонтальною і буде глісувати поверхнею води). ЗЕ буде підтиснутий під гнучкий ресивер і в розрахунковій схемі

буде враховувати тільки опір форми ЗЕ Q_{Φ} , що перебувають у воді. Горизонтальний елемент K_1K_2 не отримує поздовжніх нахилів і поворотів у горизонтальній площині. Тому тканинні ділянки оболонки гнучкого ресивера НГО в процесі роботи залишатимуться циліндричними. На торцевих перерізах оболонки ГО відсутні нормальні та дотичні зусилля.

Оболонка гнучкого ресивера навантажена ступінчастим тиском повітря. Ділянка AK_1 навантажена тиском у гнучкому ресивері p_p , ділянка DK_2 – різницею тисків у повітряній подушці p_{Π} та ресивері p_p , тобто тиском $p_p - p_{\Pi}$, ділянка ресивера K_1K_2 – тиском p_p та силою зтягування $Q_{\text{зат}}$, що прикладена по поверхні горизонтальної ділянки K_1K_2 .

Вирішення задачі. Параметри форми носового ресивера з урахуванням його зтягування в режимі руху СВПА над тихою водою знайдемо, розглянувши його поперечний переріз після перехідного режиму (див. рис. 2.).

У задачі знаходження параметрів форми ресивера під дією зовнішніх зусиль є: p_p – тиск повітря в ресивері, Па; p_{Π} – тиск повітря в повітряній подушці, Па; $Q_{\text{зат}}$ – рівнодіюче навантаження зтягування, спрямоване паралельно горизонтальній вісі NX , Н/м.

Крім тисків і навантаження зтягування як вхідні дані приймаються такі: L – довжина поперечного перерізу гнучкого ресивера (ППГР), м; D – відстань між точками закріплення ресивера, м; α_p^0 – кут розкриття НГО (конструктивний кут між зрізом носової частини понтона й основною площиною (ОП)), градуси (рис. 5): x_{Π} – абсциса центру тяжіння ПП у рухомій системі координат, м; L_{Π} – довжина ПП, м; Ψ – кут диференту СППА "АСV-70" у режимі руху на ПП, градуси, у функції від кута крену θ , кута рискання φ , кута дрейфу β , курсового кута γ ,

поступальних $\vec{V}^T = (V_x \quad V_y \quad V_z)$ і кутових $\vec{\omega} = \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix}$ швидкостей руху СВПА, поздовжніх a_x ,

бічних a_y і вертикальних a_z прискорень СПП:

$$\Psi = f(\theta, \varphi, \beta, \gamma, \vec{V}, \vec{\omega}, \vec{a});$$

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$; $\zeta_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості поверхні НГО. Запишемо рівняння рівноваги горизонтальної ділянки НГО елемента K_1K_2 , (див. рис. 2):

$$\begin{aligned} -T_1 - Q_{\text{зат}} + T_2 &= 0; \\ Q_{\text{зат}} &= Q_{\text{тр}} + Q_{\Phi}; \\ T_1 &= (p_p - p_{\Pi})R_1; \\ T_2 &= p_p R_2, \end{aligned}$$

де

T_1 – натяг в оболонці НГО, що діє на внутрішній ділянці гнучкого ресивера DK_2 , Н/м;

T_2 – натяг в оболонці НГО, що діє на зовнішній ділянці гнучкого ресивера AK_1 , Н/м;

R_1 – радіус кривизни внутрішньої ділянки ресивера DK_2 , м;

R_2 – радіус кривизни зовнішньої ділянки ресивера AK_1 , м.

$Q_{\text{тр}}$ – опір тертя НГО об воду, Н/м:

$$Q_{\text{тр}} = (\zeta_{\text{тр}} + \zeta_{\text{ш}}) \frac{\rho_{\text{в}} v^2}{2} S;$$

S – довжина горизонтальної ділянки НГО елемента $K_1 K_2$, м;

$\zeta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя еквівалентної гладкої пластини

$$\zeta_{\text{тр}} = 0,455(\lg \text{Re})^{-2,58};$$

Re – число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{v L_{\text{с}}}{\nu};$$

v – швидкість СППА-"АСV-70" в режимі руху на подушці, м/с;

$L_{\text{с}}$ – довжина СППА-"АСV-70", м;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с:

$$\nu = 1,57 \cdot 10^{-6};$$

$\zeta_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості поверхні НГО:

$$\zeta_{\text{ш}} = (0,5 \dots 0,6) \cdot 10^{-6};$$

$Q_{\text{ф}}$ – сила опору (опір форми) ЗЕ НГО під час руху СППА з диферентом на ніс під час зтягування НГО під корпус у перехідному режимі, Н/м:

$$Q_{\text{ф}} = 0,5 C_x(\alpha, h_{\text{зат}}) \rho_{\text{в}} v^2 A_{\text{ХАР}} \frac{1}{B_{\Pi}} = 0,5 C_x(\alpha, h_{\text{зат}}) \rho_{\text{в}} v^2 \frac{h_{\text{зат}}}{\sin \alpha};$$

$$A_{\text{ХАР}} = \frac{B_{\Pi} h_{\text{зат}}}{\sin \alpha} \square;$$

v – швидкість переднього ходу СППА в режимі руху на ПП, м/с;

$A_{\text{ХАР}}$ – характерна площа ЗЕ при зтягуванні НГО під корпус СППА, м²;

$\rho_{\text{в}}$ – масова густина морської води, $\rho_{\text{в}} = 1025$ кг/м³;

$C_x(\alpha, h_{\text{зат}})$ – коефіцієнт опору форми в напрямку осі NX , який визначається числовим експериментом для реальної конструкції ЗЕ НГО, що залежить від величин α та $h_{\text{зат}}$;

α – кут нахилу ЗЕ до поверхні води, градуси (див. рис. 4.).

Геометричні співвідношення для носового ресивера НГО:

$$D \cos \delta = A_1 \cos \varphi_1 + S + A_2 \cos \varphi_2;$$

$$D \sin \delta = A_2 \sin \varphi_2 - A_1 \sin \varphi_1;$$

$$A_1 = 2R_1 \sin \varphi_1;$$

$$A_2 = 2R_2 \sin \varphi_2;$$

$$L = L_1 + L_2 + S;$$

$$L_1 = R_1(2\varphi_1);$$

$$L_2 = R_2(2\varphi_2);$$

$$h_{\Pi, \text{Н}} = h_{\Gamma 0,0} - \left(\frac{L_{\Pi}}{2} + x_{\Pi} - D \cos \delta \right) \tan \psi;$$

$$h_{\text{П.Н}} = R_1 \left(1 + \sin \left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2} \right) \right).$$

де

A_1 – довжина хорди внутрішньої ділянки перерізу ресивера DK_2 , м;

A_2 – довжина хорди зовнішньої ділянки перерізу ресивера AK_1 , м;

$h_{\text{ГО.0}}$ – висота НГО за кута диференту $\psi = 0^\circ$;

δ – кут між відрізками AD та ND або кут піднесення зовнішньої лінії кріплення ГО до корпусу СВПА щодо внутрішньої лінії кріплення НГО;

$$\delta = \alpha_p^0 - \psi;$$

α_p^0 – кут розкриття НГО (конструктивний кут між зрізом носової частини понтона та основною площиною (ОП)), градуси (рис. 5):

φ_1 – половина центрального кута дуги поперечного перерізу внутрішньої ділянки ресивера DK_2 ;

φ_2 – половина центрального кута дуги поперечного перерізу зовнішньої ділянки ресивера AK_1 ;

L_1 – довжина внутрішньої частини поперечного перерізу гнучкого ресивера НГО, м;

L_2 – довжина зовнішньої частини поперечного перерізу гнучкого ресивера НГО, м;

$h_{\text{П.Н}}$ – висота ПП біля внутрішньої ділянки ресивера НГО, м;

$x_{\text{П}}$ – абсциса центру ваги ПП, м;

$L_{\text{П}}$ – довжина ПП, м;

ψ – кут диференту СППА "АСV-70" у режимі руху на ПП, градуси.

δ – кут між відрізками AD та ND або кут піднесення зовнішньої лінії кріплення ГО до корпусу СППА по відношенню до внутрішньої лінії кріплення НГО;

$$\delta = \alpha_p^0 - \theta;$$

α_p^0 – кут розкриття БГО (конструктивний кут між зрізом бортової частини понтона та основною площиною (ОП)), градуси (рис. 5):

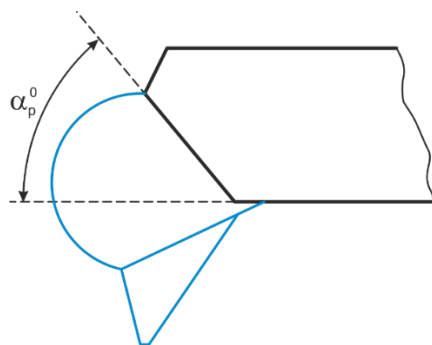


Рисунок 5 – Кут розкриття НГО

У системі 14 рівнянь з заданими величинами є: $D, L, \delta, x_{\text{П}}, L_{\text{П}}, \psi, f, p_{\text{П}}, p_{\text{Р}}$, а невідомими – 14 величин: $L_1, L_2, A_1, A_2, S, R_1, R_2, T_1, T_2, Q_{\text{зат}}, \varphi_1, \varphi_2, \delta, h_{\text{П.Н}}$.

Координати точки K_2 з'єднання внутрішньої частини поперечного перерізу гнучкого ресивера НГО з горизонтальною ділянкою K_1K_2 гнучкого ресивера в системі координат XNY (див. рис. 2.):

$$\begin{aligned} X_{K_2} &= -b + R_1 \cos\left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right); \\ Y_{K_2} &= -R_1 \left(1 + \sin\left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right)\right), \end{aligned}$$

де

b – горизонтальна проекція відстані між точками закріплення ресивера $b = ND = D \cos \delta$, м.

Координати точки K_1 з'єднання зовнішньої частини поперечного перерізу гнучкого ресивера НГО з горизонтальною ділянкою K_1K_2 гнучкого ресивера в системі координат XNY (див. рис. 2):

$$\begin{aligned} X_{K_1} &= -b + S + R_1 \cos\left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right); \\ Y_{K_1} &= -R_1 \left(1 + \sin\left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right)\right). \end{aligned}$$

Координати центру кривизни O_1 внутрішньої частини поперечного перерізу гнучкого ресивера НГО в системі координат XNY (див. рис. 2):

$$\begin{aligned} X_{O_1} &= -b + R_1 \cos\left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right); \\ Y_{O_1} &= -R_1 \sin\left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned}$$

Координати центру кривизни O_2 зовнішньої частини поперечного перерізу гнучкого ресивера НГО в системі координат XNY (див. рис. 2):

$$\begin{aligned} X_{O_2} &= -b + S + R_1 \cos\left(2\varphi_1 - \frac{\pi}{2}\right); \\ Y_{O_2} &= R_2 - h_{\text{п.н.}} \end{aligned}$$

Висновки. Описана методика створення математичної моделі дає змогу досліджувати затягування під корпус амфібійних суден на повітряній подушці носового гнучкого огороження під час руху судна в режимі експлуатації прямим курсом над тихою водою після перехідного режиму та виконувати імітаційне моделювання цього процесу для СВПА з 6-ма ступенями свободи, що знизить витрати на проєктування та побудову головного СВПА з точно передбачуваними морехідними якостями та експлуатаційними характеристиками.

REFERENCES

- [1] Зайцев, Д. В., & Зайцев, В. В. (2007). Исследование процесса затягивания носового гибкого ограждения без диафрагмы при эксплуатации судна на воздушной подушке на тихой воде. *Зб. Наук. Праць НУК*, 5(422), 37–41.
- [2] Зайцев, Д. В. (2006). Расчет гибкого ограждения с учетом его затягивания в режиме движения судна на воздушной подушке. *Зб. Наук. Праць НУК*, 4(409), 32–40.
- [3] Zaytsev, D., Zaytsev, V., & Pentshev, P. (2014). Design Methods of Small Hovercrafts. *Varna Scientific and Technical Unions*– Varna, 107–108.
- [4] Yun, L., & Bliault, A. (2000). *Theory and design of Air cushion Craft*. Elsevier.

Zaytsev V.V., Zaytsev Val.V., Zaytsev D.V., Lukashova V.V.

A mathematical model of tightening of a bow flexible skirt without a diaphragm in forward hovercraft running mode over calm water after transient mode

Annotation. The paper presents a mathematical model of bow flexible skirt without diaphragm tightening under the hull of hovercrafts in the forward operation mode over calm water after the transition mode. Particular attention is paid to the stress-strain state of the shell of the bow flexible skirt when it is tightened under the hull after the transient mode. The developed complex of mathematical models allows to analyse in-depth the performance characteristics of hovercrafts before the completion of their design and before the beginning of construction.

Keywords: hovercraft, air cushion, bow flexible skirt, tightening, motion in operation mode, calm water, transition mode, mathematical model

УДК 629.584

РОБОТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

^{1,2}Блінцов В. С., ²Тарчук А. А.

^{1,2}Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

^{1,2}Україна, Миколаїв

¹bs050803@ukr.net, ²tarchuk1996@gmail.com

Анотація. Розглянуто основні загрози об'єктам морської критичної інфраструктури та сформульовані основні технічні засоби як інструмент реалізації таких загроз. Запропоновано організаційно-технічну протидію загрозам для таких об'єктів будувати у складі трьох основних роботизованих підсистем із застосуванням засобу морської робототехніки нового архітектурно-конструктивного типу.

Ключові слова: морська критична інфраструктура, підводний робот

До об'єктів морської критичної інфраструктури (МКІ), які розглядаються у цій роботі, належать морські стаціонарні та самопідйомні платформи, блок-кондуктори, магістральні підводні трубопроводи та інше стаціонарне обладнання, що розташоване на морському шельфі [1].

Діяльність на морському шельфі швидко змінюється через поширення підводних технологій, таких як надводні і підводні апарати з дистанційним та повністю автоматичним керуванням, як здатні проводити складні операції глибоко під водою та на великих віддаленнях від їх баз.

Ці досягнення відкривають нові можливості для захисту об'єктів МКІ та, одночасно, дозволяють зловмисникам отримати вигоду з існуючих уразливостей. «Війна на морському дні» більше не є віддаленою концепцією: вона є безпосередньою реальною загрозою для таких об'єктів [2].

Це особливо виявилось після підводної диверсії на «Північному потоці», що спонукало компанії нафтогазового комплексу до розробки термінових додаткових скоординованих організаційно-технічних рішень та додаткових інвестицій.

Метою дослідження є встановлення основних чинників виникнення загроз зазначеним об'єктам МКІ та формулювання основних технічних засобів протистояння таким загрозам, а також аналіз перспективних типів засобів морської робототехніки для охорони об'єктів МКІ.

Основними чинниками виникнення загроз зазначеним об'єктам МКІ є протиправні дії зловмисників:

- морський тероризм (організація та проведення терористичних акцій);
- диверсії (організація та проведення диверсійних акцій проти об'єктів МКІ);
- контрабанда (незаконне переміщення через державний кордон товарної продукції об'єктів МКІ);
- атаки на обслуговуючий персонал (кримінальні дії з метою шантажу чи отримання викупу);
- атаки на інформаційні комунікації (несанкціоноване втручання у функціонування засобів зв'язку, що загрожує життю та здоров'ю персоналу, завдає прямої шкоди, породжує в суспільстві негативні соціально-політичні, економічні, психологічні наслідки).

Виходячи з принципів системного підходу [3], який передбачає урахування всіх значущих складових об'єкта та їх взаємного впливу, сучасні загрози об'єктам МКІ укрупнено можна класифікувати чотирма основними видами:

- загрози об'єктам МКІ як матеріальним об'єктам (фізичні загрози); такі загрози націлені на руйнування об'єктів МКІ або послаблення їхнього функціонування за призначенням шляхом втручання у фізичну структуру або матеріальні компоненти цих об'єктів;
- загрози енергетичній безпеці об'єктів МКІ, оскільки збої електропостачання призводять до їхньої непрацездатності;
- загрози інформації, що циркулює на об'єктах МКІ (кібернетичні загрози); такі погрози націлені на знищення чи спотворення інформації або затримку (блокування) доступу до неї санкціонованих користувачів;
- загрози людям (обслуговуючому персоналу та пасажирам), націлені на життя, здоров'я та свободу людей.

З широкого спектру сучасних загроз об'єктам МКІ виділимо такі основні технічні засоби як інструмент реалізації таких загроз:

- гелікоптери як носії диверсійно-терористичних груп, що переміщаються в повітряному просторі;
- підводно-технічні транспортні засоби як носії диверсантів у легководолазному спорядженні, що переміщаються по акваторії, яка захищається (буксирувальники легководолазів);
- розвідувальні та ударні безпілотні літальні апарати (БПЛА, в англійській літературі – Unmanned Aerial Vehicles, UAV);
- розвідувальні та ударні безкіпажні надводні судна (БНС, в англійській літературі – unmanned surface vessels, USV);
- розвідувальні та ударні автономні ненаселені підводні апарати (АНПА), в англійській літературі – Autonomous underwater Vehicle, AUV).

Перелічені технічні засоби повинні бути своєчасно виявлені та нейтралізовані спеціальною системою охорони об'єктів МКІ.

Організаційно-технічну протидію загрозам об'єктам МКІ пропонується будувати у вигляді роботизованої системи охорони об'єктів МКІ, яка складається з наступних підсистем:

- підсистеми попередження про загрози фізичній безпеці (ППЗ-1) об'єктам МКІ, завданням якої є виявлення загроз та їх ідентифікація шляхом порівняння з даними, що знаходяться у базі даних;

- підсистеми протидії виявленим загрозам фізичної безпеки (ППЗ-2), яка в ручному або автоматизованому режимі виконує оцінку виявлених загроз та приймає рішення про метод протидії загрозі;

- підсистеми реалізації обраного методу нейтралізації загрози та процесом документування (ПУНД) процесів та результатів роботи підсистем ППЗ-1 та ППЗ-2.

На цей час існує низка прикладних наукових досліджень у напрямку захисту об'єктів МКІ [4-10].

Для усіх розглянутих науково-технічних публікацій характерним є комплексний підхід до побудови системи охорони об'єктів МКІ, який ґрунтується на комплексному застосуванні різних типів засобів морської робототехніки для виявлення і нейтралізації загроз безпеці МКІ (рис. 1).

Такий підхід передбачає використання повного переліку засобів підводної, надводної, самохідної та буксированої техніки, а також засобів літаючої робототехніки морського базування чи використання, що забезпечує повний контроль усіх складових водного середовища, де знаходяться об'єкти МКІ.

Подальший розвиток роботизованих технологій вбачається у впровадженні у морську практику відносно нового засобу морської робототехніки – автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм (АНПА-РБ) [11, 12].

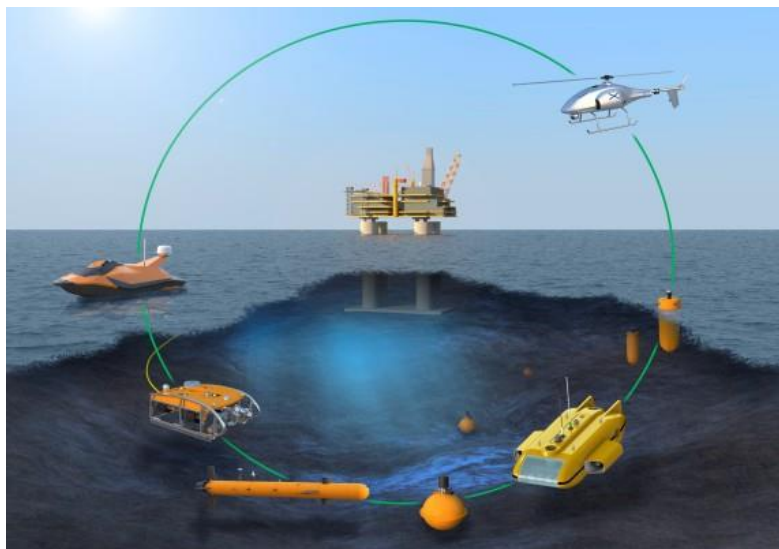


Рисунок 1 – Комплексний підхід до побудови системи охорони об'єктів МКІ

Можливі варіанти побудови такого підводного апарата показані на рис. 2.

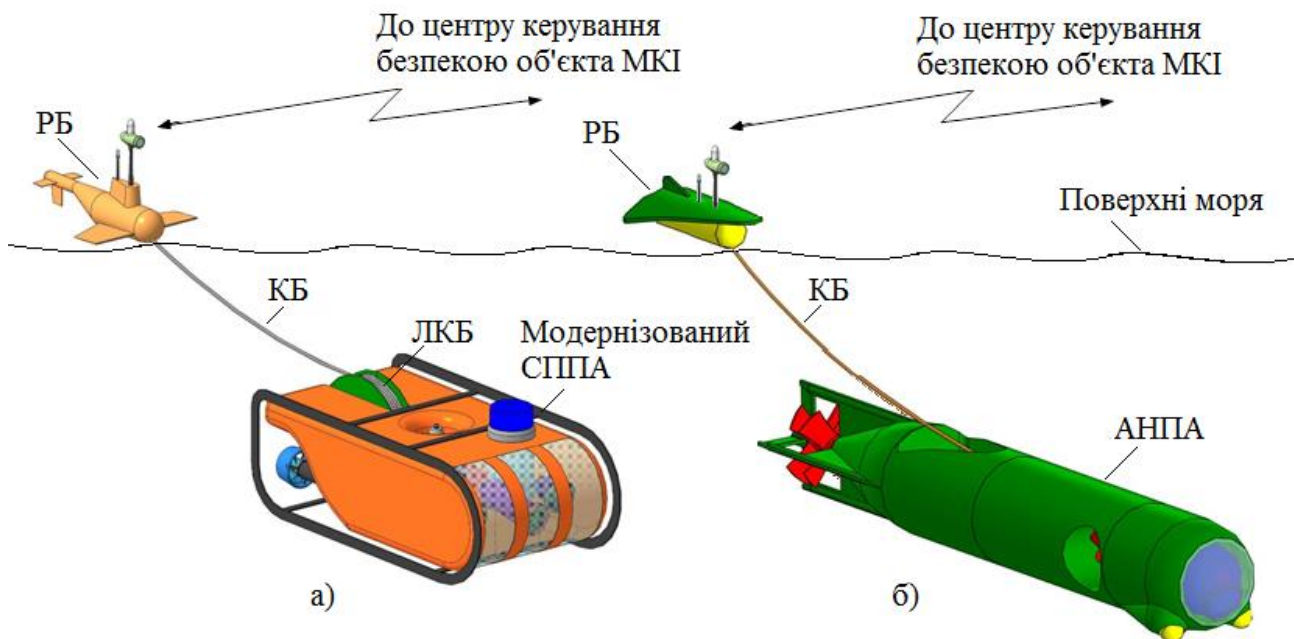


Рисунок 2 – Варіанти використання АНПА-РБ

Обидва варіанти є проектами колективу Науково-дослідного інституту підводної техніки НУК (відповідно, проекти «АНПА-РБ» та «Каліпсо»).

Варіант а) передбачає модернізацію самохідного прив'язного підводного апарата (СППА) шляхом встановлення на ньому малогабаритної лебідки кабель-буксира (ЛКБ) для буксирування окремого конструктиву радіобуя (РБ). Перевагою цього варіанту є відносно прості роботи з модернізації конструкції СППА. Недоліками цього варіанту є невелика автономність роботи АНПА-РБ, обмежена габаритними розмірами апарата, і обмеженість просторового маневрування апарата з-за наявності постійно присутнього буксированого тіла – радіобуя.

Варіант б) являє собою АНПА спеціальної конструкції, який може поєднувати функції традиційного АНПА (високу автономність, маневреність та швидкість при обстеженні великих акваторій) з можливостями оперативного двохстороннього радіо- чи супутникового зв'язку з береговими центрами керування безпекою об'єктів МКІ. Як і варіант а), він також має у складі конструкції вбудовану ЛКБ та РБ. У згорнутому стані РБ знаходиться у спеціальному вирізі (ложементі) зовнішнього корпусу підводного апарата і не обмежує його просторовий рух. При необхідності обміну інформацією з центром керування РБ відділяється від корпусу підводного апарата і під дією гідродинамічних сил піднімається на поверхню моря як буксироване за допомогою кабель-буксира (КБ) тіло. Після завершення сеансу зв'язку РБ підтягується до корпусу підводного апарата за допомогою ЛКБ, входить і автоматично фіксується у ложементі.

Таким чином, застосування АНПА-РБ зменшує номенклатуру засобів морської робототехніки за рахунок виключення прив'язних (самохідних і буксированих) апаратів і систем та забезпечити високу оперативність та достовірність інформації про підводну обстановку на акваторіях, де розміщені об'єкти МКІ.

У цілому, роботизовані технології виконання робіт, пов'язаних з охороною об'єктів МКІ, є магістральним напрямком на шляху підвищення їх захищеності від широкого спектру загроз їх нормальному функціонуванню

Висновки.

Встановлені основні чинники виникнення загроз об'єктам МКІ та сформульовані основні технічні засоби як інструмент реалізації таких загроз є методологічною основою побудови роботизованої системи охорони об'єктів МКІ у складі підсистеми попередження про загрози фізичній безпеці об'єктам МКІ, підсистеми протидії виявленим загрозам фізичної безпеки об'єктам МКІ та підсистеми реалізації обраного методу нейтралізації загрози та документування процесів та результатів роботи всіх підсистем.

Запропоновано застосування засобу морської робототехніки нового архітектурно-конструктивного типу, який забезпечить високу ефективність застосування роботизованих технологій охорони об'єктів МКІ.

Основні напрямки подальших досліджень – оптимізація гідродинамічних характеристик буксированого радіобуя та дослідження процесів його просторового руху методами обчислювальної гідродинаміки.

REFERENCES

- [1] ІПС ЛІГА:ЗАКОН - система пошуку, аналізу та моніторингу нормативно-правової бази. (n.d.). <https://ips.ligazakon.net/document/KP201109>
- [2] Wikipedia contributors. (2024, June 22). Underwater warfare. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_warfare
- [3] Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.H. (2006). Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition. Springer, 2006. <https://www.amazon.co.uk/Engineering-Design-Systematic-Approach-Pahl/dp/1846283183>
- [4] Blintsov, O. (2017). Development of informationally-protected System of Marine Water Area Monitoring [Text] / O. Blintsov, P. Maidaniuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. – №6/9(90). – P. 10–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118851
- [5] Auroop Ratan Ganguly, Udit Bhatia, Stephen E. Flynn. (2018). Critical Infrastructures Resilience Policy and Engineering Principles. Taylor & Francis. 154 pages.
- [6] Volodymyr Blintsov, Pavlo Maidaniuk, Andrii Sirivchuk. (2019). Improvement of Technical Supply of Projects of Robotized Monitoring of Underwater Conditions in Shallow Water Areas. «EUREKA: Physics and Engineering», 2019. Number 3. Pages 41-49. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00893
- [7] Artur L. (2023). A short reflection on [Maritime] Critical Infrastructures protection. <https://www.linkedin.com/pulse/maritime-critical-infrastructure-comprehensive-lucas-da-silva>
- [8] Robert Watts. Maritime Critical Infrastructure Protection: Multi-Agency Command and Control in an Asymmetric Environment. <https://www.hsaj.org/articles/179>
- [9] Christian Bueger, Tobias Liebetrau. (2023). Critical maritime infrastructure protection: What's the trouble? Marine Policy. Volume 155, September 2023, 105772. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105772>.
- [10] Artur L. (2023). Protection of Critical Maritime Infrastructure with New Technologies. Published Mar 30, 2023. <https://www.linkedin.com/pulse/protection-critical-maritime-infrastructure-new-artur-lucas-da-silva>

- [11] Blintsov Volodymyr, Maidaniuk Pavlo, Sirivchuk Andrii Improvement of Technical Supply of Projects of Robotized Monitoring of Underwater Conditions in Shallow Water Areas. «EUREKA: Physics and Engineering», 2019. Number 3. P. 41-49. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00893
- [12] Підводні апарати.(2023) Рекламно-інформаційне видання. Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, р. 37.

Blintsov V., Tarchuk A.

Robotic protection technologies of marine critical infrastructure facilities

Annotation. The main threats to the maritime critical infrastructure facilities were considered and the main technical means were formulated as a tool for the implementation of such threats. It is proposed to build organizational and technical countermeasures against threats for such objects in the composition of three main robotic subsystems with the use of marine robotics of a new architectural and structural type.

Keywords: marine critical infrastructure, underwater robot.

УДК: 629.5.023

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА НАВАНТАЖЕННЯ СТАЛЬНИХ ПЛАВУЧИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ – FPV (FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS)

¹Ніруманд М. М., аспірантка, ²Зайцев В. В., д.т.н., професор

^{1,2}Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,

^{1,2}Україна, Миколаїв

¹mn.niroumand@gmail.com,

²zv1949@gmail.com, ORC ID: 0000-0002-3637-9273

Анотація. У доповіді представлено класифікацію технологічних та конструкційних варіацій а також навантажень в теоретичних та вже працюючих плавучих фотоелектричних системах за допомогою огляду документації по основним технологіям, літератури та дослідженням, присвяченим проектуванню FPV.

Ключові слова: плавуча сонячна система, система FPV

Вступна частина. Системи FPV складаються з фотоелектричних панелей які встановлені на плавучі понтони та поєднані електричними кабелями з інверторами. Також система обладнана швартовною системою або судновими якорями, концентраторами та при необхідності – хвилеломами. Витрати на виробництво енергії для плавучих фотоелектричних систем на 10 відсотків вище, ніж затрати для звичайних наземних установок через використання швартовних ліній та додаткових вимог до міцності та стійкості конструкцій.

Переваги плаваючих фотоелектричних систем:

- Велика кількість невикористаних площ: кар'єрні озера, ставки, водосховища, дамби, затоки
- Вища ефективність модулів завдяки ефекту охолодження водою
- Зменшення витрат випаровування води у сухому кліматі завдяки зменшенню швидкості випаровування

- Менша сонячна радіація захищає екосистему водойми від потенційно шкідливого цвітіння водоростей
- Можливість сполучення з вітро- або гідроенергетикою та подвійне використання інфраструктури, зменшення витрат для експлуатації та обслуговування [1] [2]

Основна частина. Численні проекти за останні кілька років призвели до розробки різних плавучих конструкцій, що характеризуються різними конструкціями та матеріалами залежно від місця встановлення та призначення. З метою забезпечення стандартизації у 2021 році DNV [3] опублікував рекомендовану практику DNV-RP-0584, де плавучі конструкції класифікуються на три основні види по типу підтримуючих конструкцій:

- чисті поплавки, де фотоелектричні модулі встановлюються безпосередньо на поплавках [1];



Рисунок 1 - Плавуча фотоелектрична електростанція потужністю 750 кВт поблизу Ренхена в Бадені, Німеччина

- модульні плоти, де панель підтримується структурним каркасом, з'єднаним з поплавком;
- Мембрани, де панелі кріпляться до армованої мембрани, яка підтримується трубчастим кільцем, що забезпечує плавучість.

Навантаження і граничні стани для проектування.

Плавучі споруди протягом свого життя піддаються різним навантаженням: постійним, експлуатаційним, екологічним, монтажним та випадковим [4]. Більшість цих навантажень генеруються умовами навколишнього середовища і можуть бути спрогнозовані на основі історичних даних з відкритих баз даних таких як ECMWF ERA5 .

Основними елементами, які слід враховувати, є наступні: вітер, сніг, хвилі і течії, температура і сонячне випромінювання :

- Вітер: є домінуючим зовнішнім фактором, створює підйомну силу і силу лобового опору на систему FPV, а також динамічні навантаження.

-Снігове навантаження, яке залежить як від снігової зони, так і над висотою над рівнем моря.

- Хвилі: хвилі нерозривно пов'язані з вітром: коли дме вітер, він збурює поверхню моря через тертя і коливання тиску, створюючи хвилі. У випадку великої FPV-системи через велику кількість з'єднаних між собою поплавків, гідродинамічну взаємодію між окремими поплавками необхідно враховувати гідродинамічну взаємодію.

- Течії: течії пов'язані з бічними навантаженнями або силами опору, які можуть викликати вихрові індуквані коливання.

- Сонячне випромінювання: виробництво енергії можна класифікувати на дві основні форми: глобальне горизонтальне опромінення (GHI) і пряме нормальне опромінення (DNI), що вимірюється в кВт-год/м². Виходячи з цих даних та враховуючи ефективність панелі, можна оцінити річний обсяг виробленої енергії.

- Температура: температура навколишнього середовища впливає на втрати передачі через вироблене тепло.

Комбінації навантажень

Основними вимогами для розрахунку є норми ДБН та ЕС3 та національні додатки для кожної країни.

Зважаючи на те, що конструкція має клас CC2, ми проводимо розрахунок PC2 замість PC1, що дозволяє використовувати комбінацію навантажень:

-власна вага+снігове навантаження;

-власна вага снігове навантаження+ вітрове навантаження з коефіцієнтом 0,6;

-власна вага+вітрове навантаження+снігове навантаження з коефіцієнтом 0,5.

Висновки. Плаваюча сонячна енергія, яка зараз на 10...15% дорожча, ніж проекти наземного монтажу, є привабливою пропозицією в районах та країнах, де земля спірна або дефіцитна. Міжнародна група дослідників підрахувала потенціал «плаваючої» сонячної енергії по всьому світу. Результати показують потенціал генерації 9434 ТВт-год на рік у 114 555 глобальних водосховищах, охоплюючи 30% їх площі. Сполучені Штати лідирують з потенціалом 1911 ТВт-год на рік, за ними йдуть Китай з 1107 ТВт-год на рік і Бразилія з 865 ТВт-год на рік.

REFERENCES

- [1] Fraunhofer ISE, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.
- [2] P. P. Borvik (2017) 'Experimental and Numerical Investigation of Floating Solar Islands', MSc Thesis, Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- [3] DET NORSKE VERITAS AS. Offshore Standard DNV-OS-H101: Marine Operations, General. Technical Report. 2011. Available online: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNVPM/codes/docs/2011-10/os-h101.pdf> (accessed on 18 August 2022).
- [4] Kumar, M., Niyaz, H. M., & Gupta, R. (2021). Challenges and opportunities towards the development of floating photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 233, 111408. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111408>

Niroumand M.N., Zaytsev V.V.

Classification and loading of steel floating photovoltaic systems - FPV (Floating photovoltaic systems)

Abstract: Classification of technological and structural variations as well as loads in theoretical and already operating floating photovoltaic systems through a review of documentation on the main technologies, literature and research on FPV design.

FPV systems consist of photovoltaic panels mounted on floating pontoons and connected by electrical cables to the investors. The system is also equipped with a mooring system or ship anchors, concentrators and, if necessary, breakwaters. The cost of energy production for floating PV systems is 10 percent higher than for conventional land-based installations due to the use of mooring lines and additional requirements for structural strength and stability. Numerous projects over the past few years have led to the development of various floating structures characterized by different designs and materials depending on the installation location and purpose.

Keywords: floating solar system, FPV system

УДК 681.5

ПЛАНУВАННЯ РУХУ З ВИКОРИСТАННЯМ РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ НАДВОДНИМ ТРАНСПОРТОМ

Горбов В. Ю., аспірант¹,

¹ Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова;

¹ Україна, Миколаїв;

¹ 0000-0003-3603-6112

Анотація. Розробка робастно-оптимальних систем керування для нелінійних рухомих об'єктів є актуальним завданням автономної навігації. Запропоновано програму дослідження для впровадження рішення цього завдання на основі оптимальних траєкторій, визначенні моментів перемикання, синтезу керуючих функцій та синтезу робастної підсистеми, в задачах планування руху автономних надводних лодок.

Ключові слова: робастно-оптимальне керування, морський рухомий об'єкт, автономний наземний транспортний засіб, планування руху.

Рух надводних човнів за програмованими траєкторіями є критичною проблемою морського транспорту, військово-морських операцій, а також для застосування автономних надводних транспортних засобів та інших морських рухомих об'єктів. Сучасні моделі керування надводними рухомими об'єктами, такими як морські судна, часто покладаються на спрощену лінійну динаміку й не вирішують належним чином проблеми навігації у складних нелінійних середовищах із перешкодами та завадами. Це дослідження спрямоване на розробку робастно-оптимальної системи керування для надводних човнів, що рухаються за програмованими траєкторіями, включаючи здатність обминати перешкоди.

Існуючі підходи до планування шляху та траєкторії надводних човнів мають обмеження. Алгоритми детермінованого планування шляху можуть створювати оптимальні шляхи, але їм важко впоратися з невизначеністю та перешкодами. Існує потреба в інтегрованому підході, який міг би планувати надійні, оптимальні траєкторії з урахуванням нелінійної динаміки, невизначеності навколишнього середовища та здатності уникати перешкод. Мета цього дослідження полягає в тому, щоб сформулювати та оцінити підхід робастно-оптимального

керування для задач слідування програмованою траєкторією надводним човном з акцентом на можливість уникнення перешкод.

Останні дослідження та публікації, що вивчають проблеми оптимальних траєкторій для морських човнів, суден та надводного транспорту, приділяють значну увагу врахуванню нелінійної динаміки керованих об'єктів [1-2]. Ці дослідження зосереджуються на розробці вдосконалених алгоритмів та методологій, заснованих на нелінійному програмуванні, для оптимізації траєкторій морських суден [1-2]. Такі підходи спрямовані на врахування складної динаміки суден на морі, невизначеностей у морському середовищі та необхідності безпечного та ефективного маневрування навколо перешкод [1]. Зокрема, дослідники підкреслюють важливість врахування факторів, таких як гідродинаміка, обмеження маневреності та вплив навколишнього середовища, при розробці оптимальних траєкторій для морських суден [1-3]. Шляхом інтеграції цих елементів у алгоритми планування траєкторій, вчені прагнуть розробити надійні рішення, які можуть адаптуватися до мінливих умов, уникати перешкод та оптимізувати маршрути для ефективної та безпечної навігації в морських умовах

Дослідники акцентують на необхідності розробки вдосконалених алгоритмів та методів управління, здатних враховувати нелінійну динаміку морських об'єктів [4]. Це включає інтеграцію складних математичних моделей, що описують гідродинаміку, маневреність та інші нелінійні ефекти, у системи керування для забезпечення точного відстеження бажаних траєкторій [4-5].

Нещодавні дослідження у сфері систем керування морськими надводними транспортними засобами, включаючи автономні морські надводні транспортні засоби були зосереджені на підвищенні ефективності, безпеки та маневреності морських суден за допомогою складних алгоритмів і методологій керування [6-8].

Використання класичних методів оптимального керування обмежується високим рівнем обчислювальної складності у зв'язку з багатовимірною нелінійною моделлю керованого об'єкта, необхідністю розв'язування крайових задач для синтезу програмного керування та матричних рівнянь Ріккати при побудові оптимального регулятора. Також критерії квадратичної оптимальності потребують формалізації матриць вагових коефіцієнтів на основі додаткових розрахункових процедур або емпіричних розрахунків.

Реалізація високотехнологічних функціональних вимог до маневрування та позиціонування морських рухомих об'єктів може бути здійснена за допомогою інженерних систем керування зі змінною структурою на основі спеціальних комутаційних зворотних зв'язків [9]. Ці системи забезпечують мінімізацію енерговитрат або максимізацію швидкодії для конкретного функціонального завдання керування морським рухомих об'єктом (відповідно, робочим технологічним чи перехідним критичним режимам) з необхідною точністю керування та достатньою інваріантністю до невизначеності параметрів об'єкта та середовища.

Пропонована програма дослідження складається з наступних етапів:

- 1) Нелінійне моделювання надводного човна: розробка високоточної нелінійної моделі динаміки надводного човна, яка включає гідродинамічні сили, збурення навколишнього середовища та обмеження приводу керування. Використання нелінійних математичних моделей дозволяє більш точно описати поведінку об'єкта реальних умовах. [10]

- 2) Оптимальне планування траєкторії та синтез робастної підсистеми: формулювання задачі нелінійної оптимізації для створення траєкторій, які є оптимальними щодо критеріїв

ефективності (наприклад, час, енергія) і стійкими до невизначеностей і збурень. Синтез алгоритмів управління, що забезпечують відстеження плавної оптимальної траєкторії з компенсацією збурень та нелінійних ефектів.

3) Інтеграція уникнення перешкод: включення інформації про перешкоди, аналіз способів представлення, наприклад, як обмеження або потенційні поля. Розробка методів оптимізації траєкторії на основі нелінійного програмування. Це включає застосування алгоритмів, таких як методи внутрішньої точки, геометричні методи, які здатні ефективно вирішувати задачі оптимізації з нелінійними обмеженнями та цільовими функціями. Додавання в планування траєкторії, щоб дозволити надводному човну об'їжджати перешкоди, зберігаючи оптимальну продуктивність.

4) Симуляція та перевірка: запровадження робастно-оптимального керування в середовищі моделювання високої точності та перевірка даного підходу в різних сценаріях, таких як прямолінійний рух, маневри повороту та уникнення перешкод.

5) Експериментальна оцінка. Проведення експерименту з фізичною надводною платформою човна, щоб оцінити реальну продуктивність підходу надійного оптимального керування, включаючи його здатність впоратися з невизначеністю моделі, порушеннями навколишнього середовища та уникненням перешкод.

Висновки. Запропоновано програму дослідження для впровадження робастно-оптимальної системи керування в задачах з плануванням руху надводного транспорту програмованою траєкторією з урахуванням нелінійної динаміки, невизначеності навколишнього середовища та здатності уникнення перешкод. Такий підхід потенційно може генерувати траєкторії руху, які являються одночасно як оптимальними, так і стійкими до реальних умов. Визначено задачі подальшого дослідження в даному напрямку, в які входить: розробка нелінійної математичної моделі з урахуванням невизначеностей, робастно-оптимальне планування траєкторій, інтеграція оминання перешкод, моделювання та перевірка, оцінка за допомогою експерименту. Успішне завершення цього дослідження сприятиме розвитку технологій автономних надводних транспортних засобів, які знайдуть застосування у морському транспорті, військово-морських операціях та моніторингу довкілля.

REFERENCES

- [1] Lüttgens, L., Jurgelucks, B., Wernsing, H., Roy, S., Büskens, C., & Flaßkamp, K. (2022). Autonomous navigation of ships by combining optimal trajectory planning with informed graph search. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 28(1), 1–27. <https://doi.org/10.1080/13873954.2021.2007138>
- [2] Zetterqvist, G., & Steen, F. (2021). *Modelling and Trajectory Planning for a Small-Scale Surface Ship* (Dissertation). Retrieved from <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-177317>
- [3] Daniel R. McCullough, Bryn L. Jones, Oscar J.G. Villarreal, J.A. Rossiter, Towards Control of Autonomous Surface Vehicles in Rough Seas, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 53, Issue 2, 2020, Pages 14692-14697, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1832>.
- [4] Koznowski W, Kula K, Lazarowska A, Lisowski J, Miller A, Rak A, Rybczak M, Mohamed-Seghir M, Tomera M. Research on Synthesis of Multi-Layer Intelligent System for Optimal and Safe Control of Marine Autonomous Object. *Electronics*. 2023; 12(15):3299. <https://doi.org/10.3390/electronics12153299>

- [5] Vagale, A., Oucheikh, R., Bye, R.T. et al. Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles I: a review. J Mar Sci Technol 26, 1292–1306 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00773-020-00787-6>
- [6] Derbew TE, Ko NY, You SH. Trajectory Following Control of an Unmanned Vehicle for Marine Environment Sensing. Sensors. 2024; 24(4):1262. <https://doi.org/10.3390/s24041262>
- [7] Xu, H., Guedes Soares, C. Review of Path-following Control Systems for Maritime Autonomous Surface Ships. J. Marine. Sci. Appl. 22, 153–171 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11804-023-00338-6>
- [8] Saha, Swarnadip. (2024). Ocean Surface Vehicles, Dynamics & Control.
- [9] V. L. Timchenko, D.O. Lebedev, Algorithmic Procedures Synthesis of Robust-Optimal Control for Moving Objects, In: Y.P. Kondratenko, V.M. Kuntsevich, A.A. Chikrii, V.F. Gubarev (Eds.), Recent Developments in Automatic Control Systems, Series in Automation, Control and Robotics, River Publishers, Gistrup (2022) pp. 289-323. (2022) ISBN: 978-87-7022-674-5/
- [10] Pérez, T., & Blanke, M. (2002). Mathematical Ship Modeling for Control Applications.

Volodymyr Horbov

Motion planning using robust-optimal control for autonomous surface vehicle.

Annotation. *The development of robust and optimal control systems for non-linear moving objects is a relevant task of autonomous navigation. A research structure is proposed for the implementation of a solution to this problem based on optimal trajectories, determination of switching moments, synthesis of control functions and synthesis of a robust subsystem, in tasks of motion planning of autonomous surface vehicle.*

Keywords: *robust-optimal control, marine moving object, autonomous surface vehicle, motion planning*

ЗМІСТ CONTENT

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ PLENARY SESSION

Некрасов В.О., Астахова А.О. Оптимізаційна задача мінімізації опору води руху вітрильної яхти6

Бондаренко О.В., Ястреба О.П. Малі річкові надводні дрони: аналіз вимог та основні задачі10

Король Ю.М., Корнелюк О.М., Малінкін О.Ю., Соломаха М.В. Визначення шляхом обміру геометричних характеристик рушіїв та створення їх 3D моделей13

Секція № 1. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНЖЕНЕРІЇ SECTION № 1. ENGINEERING INFORMATION TECHNOLOGY

Король Ю.М., Василько М., Зінкевич В., Захліпа В., Бадюл Ю., Крайнік Д., Максименко Є., Кльосов К., Рябов Д., Панков С., Вашкевич В., Вихопень М., Безушко Д. Дослідження впливу відношень L/B та B/T на опір судна при постійній водотоннажності за допомогою модуля FLOW SIMULATION системи SOLID WORKS22

Секція № 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД SECTION № 2. DESIGN AND OPERATION OF SHIPS, MARINE FACILITIES AND ENGINEERING STRUCTURES

Мороз В.В., Кочін В.О. Гібридна гідродинамічна схема швидкісного судна29

Казимиренко Ю. О., Савочкіна В.В. Проектно-технологічні можливості модернізації суден-продуктовозів33

Соценко В.В. Вплив декабернізації на проектування суден38

Томашевська Т.В. Морехідність PACSCAT. Особливості впливу основних елементів на морехідність44

Норов Д.В., Пащенко Ю.М. Про розробку проекту прогулянкового глісуючого катеру48

Пащенко Ю.М., Рябов Д.В. Про розробку проекту яхти класу «Міні»56

Кротов О.І., Астахова А.О. Особливості розробки проектів глісуючих малих рятівних суден на початковій стадії61

Литвинов В.В. . Конвертація автомобільних двигунів для експлуатації на катерах.....66

Якимчук С.А. Морські газотурбінні двигуни71

Геляра В.В. Огляд характеристик надводного дрону75

Максименко Є.А. Дослідження впливу воєнного часу на показники ефективності морських перевезень української пшениці77

Кльосов К.О. Вплив воєнного часу на характеристики проектного рішення балкера для транспортування пшениці з України на ринки Італії81

Секція № 3. КОНСТРУЮВАННЯ, МІЦНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

SECTION № 3. CONSTRUCTION, STRENGTH AND RELIABILITY OF SHIPS, MARINE FACILITIES AND ENGINEERING STRUCTURES

Коростильов Л.І., Дядюра Є.Ю., Клименков С.Ю. Урахування деформацій зсуву в балках суднових перекриттів в умовах пружно-пластичного деформування.....85

Соломонюк Н.С., Білоус Р.Ю. Оцінка впливу детального моделювання неструктурних компонентів на першу власну глобальну частоту палубної панелі88

Соков В.М. Особливості напружено-деформованого стану в концентраторі напружень балки-стілки зі зломом кромки93

Шарун Г.В., Давидова П.С., Лук'янцева М.В. Розрахунок контактної взаємодії двох тіл96

Кузнецов А.І., Лисицький І.В. Шляхи нормування підкріплюючих конструкцій пропульсивних установок водометного типу для малих суден з ПЕВЩ100

Секція № 4. ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ, РЕНОВАЦІЇ І РЕМОНТУ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

SECTION № 4. TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION, RENOVATION AND REPAIR OF SHIPS, MARINE FACILITIES AND ENGINEERING STRUCTURES

Щедролосєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В. Актуальність досвіду впровадження та використання 3D-принтерів у будівництво, ремонт та обслуговування суден і морських плавучих споруд108

Щедролосєв О.В., Коновалова Г.В., Сердюк В.А. Розробка конструкції та технології захисту поверхонь баластових відсіків доків методом «флотації»112

Секція № 5. МОРСЬКІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОКЕАНОТЕХНІКА

SECTION № 5. MARINE TECHNOLOGY AND OCEAN ENGINEERING

Зайцев В.В., Зайцев Вал.В., Зайцев Д.В., Лукашова В.В. Математична модель затягування носового гнучкого огороження без діафрагми СППА в режимі експлуатації переднім ходом над тихою водою після переходного режиму118

Блінцов В.С., Тарчук А.А. Роботизовані технології охорони об'єктів морської критичної інфраструктури126

Ніруманд М. М., Зайцев В. В. Класифікація та навантаження сталевих плавучих фотоелектричних систем – FPV (Floating photovoltaic systems) 131

Горбов В.Ю. Планування руху з використанням робастно-оптимального керування автономним надводним транспортом.....134

*Наукове електронне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ПОБУДОВИ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ СУДЕН, МОРСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

*Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції
з міжнародною участю*

15–16 травня 2024 р.

Українською та англійською мовами

Макетування: Астахова А. О.

Один електронний оптичний диск (CD-ROM).
Об'єм даних 7,8 Мб. Тираж 30 пр. Зам. 534-733.

В И Д А В Е Ц Ь І В И Г О Т О В Л Ю В А Ч
Товариство з обмеженою відповідальністю фірма «Іліон».
54010, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1506 від 25.09.2003 р.