

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

ВИПУСК 2(17), 2023

Заснований у жовтні 2016 року



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ
НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 2(17)
2023

Заснований у жовтні 2016 року

Виходить 4 рази на рік

Свідоцтво Міністерства юстиції України
про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 22494-12394 ПР від 04.10.2016 р.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 1188 від 24.09.2020 р.
(додаток 5) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі економічних та технічних наук (051 – Економіка, 073 – Менеджмент, 133 – Галузеве машинобудування, 271 – Морський та внутрішній водний транспорт, 275 – Транспортні технології (за видами)).

Засновник:

Одеський національний морський університет
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34

Редакційна колегія:

Головний редактор – д.т.н., проф. *Руденко С.В.*
Заступник головного редактора – к.т.н., доц. *Немчук О.О.*
Відповідальний секретар – к.е.н., доц. *Мельников С.В.*

Члени редакційної колегії:

д.т.н., проф. *Варбанець Р.А.*, ОНМУ;
д.т.н., проф. *Дубровський М.П.*, ОНМУ;
д.т.н., проф. *Єзупов К.В.*, ОНМУ;
д.е.н., проф. *Ланкіна І.О.*, ОНМУ;
д.е.н., проф. *Постан М.Я.*, ОНМУ;
д.т.н., проф. *Малаксіано М.О.*, ОНМУ;
д.т.н., проф. *Пітерська В.М.*, ОНМУ;
д.т.н., проф. *Гасанов В.*, Азербайджанська
державна морська академія, Азербайджан;
д.т.н., проф. *Кириллова О.В.*, ОНМУ;
к.т.н., доц. *Садигов В.* Азербайджанська
державна морська академія, Азербайджан;
Філіна-Давидович Л.С., PhD, DSc,
Західнопоморський технологічний університет
у Щецині, Польща;
Аймелек Мурат, PhD, Ізмірський Університет
імені Катіпа Челебі, Туреччина;
Любомиров Слав Ясенов, PhD, Пловдивський
університет імені Паїсія Глендарського, Болгарія;
Нам Кю Парк, PhD, Університет ТонгМьонг,
Південна Корея;

Малекі Вішкаї Бехзад, PhD, Вільний міжнародний
університет соціальних досліджень
імені Гвідо Карлі, Італія;
Нзок Ан Мін, PhD, Технологічний університет
Кочі, Японія;
Цисар Чаба, PhD, Будапештський університет
технології та економіки, Угорщина;
Дашковський С., DSc, Вюрцбурзький університет
імені Юліуса та Максиміліана, Німеччина;
Духовник Йозе, DSc, Люблянський університет,
Словенія;
Колмикова А., DSc, Бременський університет,
Німеччина;
Клюс О., DSc, Морська Академія в Щецині,
Польща;
Медведев О., DSc, Інститут транспорту та зв'язку,
Латвія;
Мезітіс Марекс, DSc, Транспортна академія,
Латвія;
Попова О., DSc, Інститут транспорту та зв'язку,
Латвія.

Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеського національного морського університету
(протокол № 14 від 28.06.2023 р.)

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв,
назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей.

Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися
з точкою зору редакційної колегії, не покладають на неї ніяких зобов'язань.
Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою
програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

ISSN 2616-7360

© Одеський національний морський університет, 2023

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ODESSA
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY

TRANSPORT DEVELOPMENT

Scientific journal

ISSUE 2(17), 2023

Founded in October 2016



Publishing House
"Helvetica"
2023

ODESSA
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY
TRANSPORT DEVELOPMENT
SCIENTIFIC JOURNAL

№ 2(17)
2023

Founded in October 2016

Frequency: four times a year

Certificate of state registration of the print media issued by the Ministry of Justice of Ukraine
Series KB № 22494-12394 IIP dated 04.10.2016

Pursuant to the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1188
dated 24.09.2020 (Appendix 5), the journal is included in the List of scientific professional publications
of Ukraine (category “B”) in the field of economic and technical sciences
(051 – Economics, 073 – Management, 133 – Industry engineering,
271 – Maritime and inland transport, 275 – Transport technologies (by type).

Founder:

Odessa National Maritime University
Ukraine, 65029, Odesa, 34 Mechnykova St.

Editorial Board:

Editor-in Chief: Doctor of Engineering, Professor *Rudenko S.V.*
Deputy Editor-in Chief: PhD in Engineering, Associate Professor *Nemchuk O.O.*
Executive Secretary: PhD in Economics, Associate Professor *Melnykov S.V.*

Editorial Board Members:

DSc, Prof. *Varbanets R.A.*, ONMU;
DSc, Prof. *Dubrovskiy M.P.*, ONMU;
DSc, Prof. *Yehupov K.V.*, ONMU;
DSc, Prof. *Lapkina I.O.*, ONMU;
DSc, Prof. *Postan M.Ia.*, ONMU;
DSc, Prof. *Malaksiano M.O.*, ONMU;
DSc, Prof. *Piterska V.M.*, ONMU;
Doctor of Engineering, Prof. *Gasarov V.*, Azerbaijan
State Marine Academy, Azerbaijan
DSc, Prof. *Kyrylova O.V.*, ONMU;
PhD in Engineering, Associate Professor *Sadigov V.*,
Azerbaijan State Marine Academy, Azerbaijan;
DSc, Prof. *L.S. Filina-Dawidowicz*,
West Pomeranian University of Technology,
Szczecin, Poland;
Aymelek Murat, PhD, Izmir Katip Celebi University,
Turkey;
Lyubomirov Slavi Yasenov, PhD, University
of Plovdiv Paisii Hilendarsk, Bulgaria;

Maleki Vishkaei Behzad, PhD, Luiss University, Italy;
Nam Kyu Park, PhD, TongMyong University,
South Korea;
Ngoc An Minh, PhD, Kochi University of Technology,
Japan;
Csiszar Csaba, PhD, Budapest University
of Technology and Economics, Hungary;
Dashkovskiy S., DSc, Julius-Maximilians University
of Wurzburg, Germany;
Duhovnik Joze, DSc, University of Ljubljana,
Slovenia;
Kolmykova A., DSc, University of Bremen, Germany;
Klyus O., DSc, Maritime University of Szczecin,
Poland;
Medvedev A., DSc, Transport and telecommunication
institute, Latvia;
Mezitis Mareks, DSc, Transport Academy, Latvia;
Popova Je., DSc, Transport and telecommunication
institute, Latvia.

Recommended for printing by the Academic Council of Odessa National Maritime University
(Minutes No 14 dated June 28, 2023)

Authors are responsible for the reliability of facts, quotes, proper names, geographical names,
names of enterprises, organizations, institutions and other information.

The Editorial Board may not share the authors' opinion
and assumes no responsibility for the content of manuscripts.

Reprinting and translation are allowed with the consent of author and editors.

The articles were checked for plagiarism using the software StrikePlagiarism.com
developed by the Polish company Plagiat.pl.

З М І С Т

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

А.О. Ловська

Дослідження міцності кузова напіввагона з удосконаленою обшивкою торцевих стін.....7

МОРСЬКИЙ ТА ВНУТРІШНІЙ ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

А.А. Андрєєв, В.І. Свиридов, Д.О. Шалапко

Перспективи застосування морських аміачних утилізаційних силових установок...16

А.А. Андрєєв, М.А. Пирисунько, В.І. Свиридов

Перспективні напрями охолодження наддувного повітря суднових малообертових дизелів з утилізацією вторинної теплоти.....29

А.І. Головань

Перспективні напрямки та інноваційні підходи управління системою технічного обслуговування вантажних суден.....42

І.П. Гончарук, А.І. Головань

Сучасні підходи до забезпечення безпеки під час автоматизованих швартових операцій.....56

Ye.V. Kalinichenko, G.G. Tomchakovsky

Energy efficiency on ships. Strategic approach.....66

О.М. Шумило

Дослідження впливу розмірної модернізації на геометричні характеристики пасажирського судна.....75

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

І.С. Афганазів, Л.І. Шевчук, О.І. Строган, Л.Р. Струтинська

Вдосконалення розміновувального мінно-пошукового комплексу.....90

О.Д. Вишневська, Д.О. Вишневський, С.П. Онищенко

Організаційні особливості доставки вантажів з використанням флексітанків ..105

О.К. Gryshchuk, A.V. Petryk, A.K. Kozlov, T.M. Litus

Infrastructure provision of commercial activities of production systems of international forwarding to the market of transport services.....119

О.М. Коробкова, Л.А. Павловська, Н.Г. Шпак

Моделювання логістичних витрат в ланцюгах поставок зовнішньоторговельних вантажів.....133

О.М. Мельник

Забезпечення безпеки морського перевезення навалочних вантажів із високою щільністю.....143

C O N T E N T S

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING

A. O. Lovska

Research of the strength of an open wagon body with improved end wall cladding.....7

MARITIME AND INLAND TRANSPORT

A.A. Andreiev, V.I. Sviridov, D.O. Shalapko

Prospects of Application of Marine Ammonia Utilization Power Plants..... 16

A.A. Andrieiev, M.A. Pyrysunko, V.I. Sviridov

Promising areas for cooling the charge air of marine low-speed diesel engines with the utilization of waste heat.....29

A.I. Golovan

Prospective directions and innovative approaches to managing the cargo vessel maintenance system.....42

I.P. Honcharuk, A.I. Golovan

Modern approaches to ensuring safety during automated mooring operations.....56

Ye.V. Kalinichenko, G.G. Tomchakovsky

Energy efficiency on ships. Strategic approach..... 66

O.M. Shumylo

Impact of dimensional modernization on the geometric characteristics of a passenger ship.....75

TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPE)

I.S. Aftanaziv, L.I. Shevchuk, O.I. Strohan, L.R. Strutynska

Improvement of the mine explosion and exploration complex.....90

O.D. Vyshnevskaya, D.O. Vyshnevskiy, S.P. Onyshchenko

Organizational features of cargo delivery using flexitanks.....105

O.K. Gryshchuk, A.V. Petryk, A.K. Kozlov, T.M. Litus

Infrastructure provision of commercial activities of production systems of international forwarding to the market of transport services.....119

O.M. Korobkova, L.A. Pavlovska, N.G. Shpak

Modeling of logistics costs in supply chains of foreign trade goods.....133

O.M. Melnyk

Safety of maritime transportation of high-density bulk cargoes.....143

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.463.65

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.01>

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КУЗОВА НАПІВВАГОНА З УДОСКОНАЛЕНОЮ ОБШИВКОЮ ТОРЦЕВИХ СТІН

А.О. Ловська

д.т.н., доцент, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції,
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

Анотація

Вступ. Залізничний транспорт є невід'ємною складовою успішного функціонування економіки європейських країн. Для забезпечення його подальшого розвитку важливим є впровадження в експлуатацію сучасних конструкцій рухомого складу з покращеними технічними та експлуатаційними показниками.

Мета. Наукове обґрунтування застосування гофрованих листів в обшивці торцевих стін кузова напіввагона.

Результати. Для покращення міцності торцевих стін напіввагонів пропонується посилювати їх нижню частину, за висотою 1/3 від нижнього обв'язування, горизонтальними гофрами. Визначення геометричних параметрів гофр здійснено за моментом опору листа. Для цього у програмному комплексі SolidWorks було побудовано просторову модель типового листа та за допомогою вбудованих опцій визначався момент його інерції. Після цього розраховувався момент опору листа. З урахуванням визначеного моменту опору типового листа здійснено підбір відповідного діаметру гофр удосконаленого листа обшивки при яких момент опору має значення, що перевищує те, яке має типовий лист.

Для визначення міцності кузова напіввагона з урахуванням запропонованих рішень проведено його розрахунок. У якості прототипу обрано універсальний напіввагон моделі І2-295. Розрахунок на міцність реалізовано у SolidWorks Simulation за методом скінчених елементів. Встановлено, що максимальні напруження в торцевій стіні виникають в зонах взаємодії горизонтальних поясів з кутовими стійками і складають близько 180 МПа. В нижній частині листа обшивки напруження знизилися до 132 МПа, що менше ніж в типовій на 5,3%. Максимальні переміщення в торцевій стіні виникають у верхньому обв'язуванні і складають близько 3 мм.

Висновки. Результати проведених досліджень сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій напіввагонів та підвищенню ефективності їх експлуатації.

Ключові слова: універсальний напіввагон, кузов напіввагона, обшивка стін напіввагона, навантаженість напіввагона, міцність кузова.

RESEARCH OF THE STRENGTH OF AN OPEN WAGON BODY
WITH IMPROVED END WALL CLADDING

A.O. Lovska

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor of Department of Wagon Engineering and Product Quality,
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

Summary

Introduction. Rail transport is an integral part of the successful functioning of the European economy. To ensure its further development, it is important to introduce modern rolling stock designs with improved technical and operational performance.

Purpose. Scientific substantiation of the use of corrugated sheets in the cladding of the end walls of the open wagon body.

Results. To improve the strength of the end walls of an open wagons, it is proposed to reinforce their lower part, 1/3 of the height of the lower strapping, with horizontal corrugations. The geometric parameters of the corrugations were determined by the moment of resistance of the sheet. To do this, a spatial model of a typical sheet was built in SolidWorks and its moment of inertia was determined using built-in options. The moment of resistance of the sheet was then calculated. Taking into account the determined moment of resistance of the standard sheet, the appropriate corrugation diameter of the improved skin sheet was selected, at which the moment of resistance has a value that exceeds that of the standard sheet.

To determine the strength of the open wagon, taking into account the proposed solutions, its calculation was carried out. A universal open wagon model 12-295 was chosen as a prototype. The strength calculation was carried out in SolidWorks Simulation using the finite element method. It was found that the maximum stresses in the end wall occur in the areas of interaction between the horizontal belts and the corner posts and amount to about 180 MPa. In the lower part of the cladding sheet, the stresses decreased to 132 MPa, which is 5.3% less than in a typical one. The maximum displacements in the end wall occur in the upper strapping and amount to about 3 mm.

Conclusions. The results of the research will contribute to the creation of recommendations for the design of modern open wagon structures and increase the efficiency of their operation.

Key words: universal open wagon, open wagon body, open wagon wall cladding, open wagon load, open wagon strength.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Розвиток рухомого складу є одним з найважливіших напрямків національної транспортної стратегії України. Для забезпечення конкурентоспроможності залізничної галузі важливим є впровадження в експлуатацію сучасних конструкцій рухомого складу з покращеними технічними та експлуатаційними показниками [1, 2].

На даний час привальований відсоток вантажного парку вагонів сформовано переважно напіввагонами. Дослідження статистичних даних пошкоджень

напіввагонів за останні роки дозволили зробити висновок, що одним з найбільш вразливих елементів конструкції є кузови. До найбільш частих їх пошкоджень можна віднести деформації складових конструкції, тріщини, обриви елементів тощо. Здебільшого ці пошкодження обумовлені вантажно-розвантажувальними роботами, а також експлуатаційними режимами, наприклад, переміщення вантажу в кузові при дії інерційних навантажень. Така обставина викликає пошкодження торцевих стін або дверей напіввагонів.

У зв'язку з цим для зменшення витрат на утримання напіввагонів в експлуатації доцільним є впровадження заходів щодо покращення їх міцності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми, і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Для покращення міцності кузовів напіввагонів в роботі [3] запропоновано виготовлення їх обшивки із сталей марок 16Г2АФ та 18Г2АФпс. Використання такого матеріалу для виготовлення обшивки сприятиме зменшенню власної ваги кузова та підвищенню вантажопідйомності. Наведено результати чисельних експериментів за оптимізацією товщин складових кузова, а також випробування оптимізованої конструкції на міцність.

Подібне рішення запропоновано в роботі [4], де обґрунтовано доцільність використання магнієвих сплавів в несучих конструкціях транспортних засобів. Дане рішення сприятиме зменшенню тари вагонів у порівнянні з конструкціями прототипів при забезпеченні достатньої експлуатаційної міцності.

Разом з цим, запропоновані в роботах [3, 4] рішення вимагають додаткових капітальних вкладень на стадії виготовлення або модернізації вагонів.

Для покращення міцності обшивки бокових стін вантажного вагона авторами роботи [5] запропоновано впровадження ламінованих композитних матеріалів для її виготовлення. Наведено результати визначення оптимальної товщини стін кузова вагона за умови забезпечення його міцності. Однак такий матеріал є досить високоартістним, що стримує його широке застосування у вагонобудуванні.

Обґрунтування використання полімерних композитних матеріалів у конструкціях вагонів проводиться в статті [6]. Дослідження здійснено на прикладі настилу підлоги вагона. Висвітлені результати експериментальних досліджень за методом пресування композиту у формі. Важливо сказати, що можливість використання даного матеріалу при виготовленні обшивки стін кузовів авторами не розглянута.

Обґрунтування застосування композитних панелей в конструкціях вантажних вагонів проведено в публікації [7]. Таке рішення сприятиме зменшенню пошкоджень складових кузовів в експлуатації. Наведені результати розрахунку на міцність несучої конструкції вагона. Запропоновано спосіб розміщення композитних панелей у внутрішньому просторі кузова. Треба сказати, що така реалізація досить ускладнить процес технічного обслуговування та ремонтів вагонів в експлуатації.

Для зменшення пошкоджень обшивки бокових та торцевих стін напіввагонів авторами роботи [8] запропоновано їх виготовлення з зчленованих оболонки, заповнених енергопоглинальним матеріалом. Результати розрахунків встановили, що з урахуванням запропонованого удосконалення є можливим покращити міцність несучої конструкції напіввагона на 8%. Однак дана реалізація є досить складною з технічної точки зору, а також з точки зору вартості.

Проведений аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що питання удосконалень кузовів напіввагонів є досить актуальними та важливими. Разом з цим вони потребують подальшого розвитку з метою підвищення ефективності функціонування напіввагонів.

Формулювання мети статті, постановка завдання.

Метою дослідження є наукове обґрунтування застосування гофрованих листів в обшивці торцевих стін кузова напіввагона. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

1. Обґрунтувати конструкційні особливості обшивки торцевих стін кузова напіввагона;
2. Визначити міцність кузова напіввагона при повздовжній навантаженості його конструкції.

Об'єктом дослідження є несуча конструкція напіввагона.

Предмет дослідження – навантаженість несучої конструкції напіввагона.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для покращення міцності торцевих стін напіввагонів пропонується посилювати їх нижню частину, за висотою 1/3 від нижнього об'язування, горизонтальними гофрами (рис. 1).

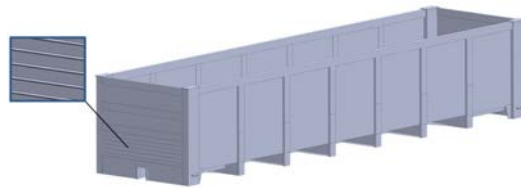


Рис. 1. Просторова модель кузова напіввагона

Для визначення геометричних параметрів гофр нижню частину листа обшивки розглянуто як тонкостінну плиту. При цьому у якості визначального параметру використано момент опору листа. Для цього у програмному комплексі SolidWorks було побудовано просторову модель типового листа (рис. 2) та за допомогою вбудованих опцій визначався момент його інерції. Після цього за відомою залежністю [30, 31] визначався момент опору листа [9]

$$W = \frac{I}{z}, \quad (1)$$

де z – відстань від геометричного центру ваги перетину до відповідної осі.

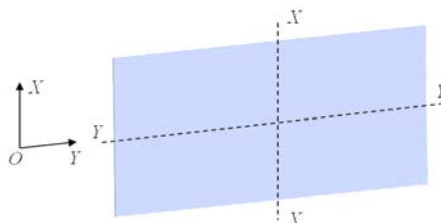


Рис. 2. Просторова модель типового листа

Встановлено, що момент інерції перерізу типового листа дорівнює $19148,5 \text{ см}^4$, а момент опору – $76593,92 \text{ см}^3$. З урахуванням визначеного моменту опору здійснено підбір відповідного діаметру гофр листа при яких він має значення, що перевищує визначене вище. Товщина листа прийнята рівною 4 мм. На підставі проведених розрахунків момент інерції листа склав $20521,4 \text{ см}^4$, а момент опору – $81987,8 \text{ см}^3$. Маса листа на 6,6% нижча за масу типового листа. Просторову модель удосконаленого листа наведено на рис. 3.

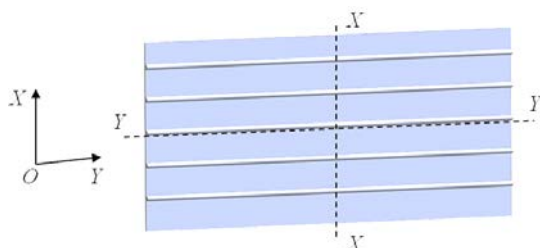


Рис. 3. Просторова модель удосконаленого листа

Для визначення міцності кузова напіввагона з урахуванням запропонованих рішень проведено його розрахунок. У якості прототипу обрано напіввагон моделі 12-295. Побудову просторової моделі здійснено в програмному комплексі SolidWorks [10, 11]. Розрахунок на міцність реалізовано у SolidWorks Simulation за методом скінчених елементів. При складанні розрахункової схеми кузова напіввагона враховано, що на нього діє вертикальне навантаження P_v , тиск розпору насипного вантажу P_p , а також повздовжнє навантаження P_n (рис. 4).

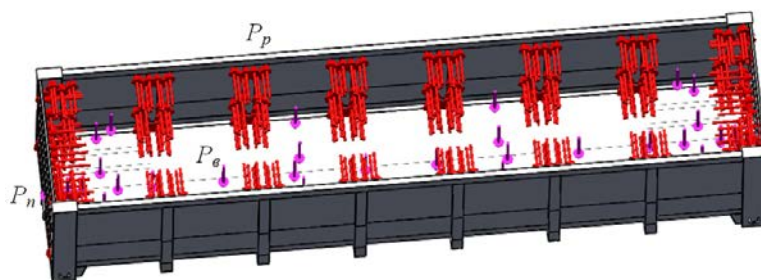


Рис. 4. Розрахункова схема кузова напіввагона

Активний тиск розпору насипного вантажу (кам'яне вугілля) визначено за формулою [12, 13]

$$P_p = \gamma \cdot g \cdot H \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (2)$$

де γ – щільність насипного вантажу, т/м^3 ; H – висота бокової стіни, м; φ – кут природнього відкосу вантажу, рад; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

При визначенні тиску розпору вантажу на торцеві стіни до уваги також приймався пасивний тиск. Величину пасивного тиску визначено за формулою (2), в якій

квадрат тангенса різності двох кутів замінено квадратом тангенса їх суми та з урахуванням коефіцієнту вертикальної динаміки, а також кута природного відкосу.

Закріплення моделі відбувалося за п'ятники. При складанні скінчено-елементної моделі застосовано ізопараметричні тетраедри. Чисельність вузлів моделі склала 104307, елементів – 312116. Максимальний розмір елементу – 80 мм, мінімальний – 16 мм. У якості матеріалу конструкції застосовано сталь марки 09Г2С, яка є типовою для виготовлення кузовів. Результати розрахунків наведено на рис. 5 та 6. На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що максимальні напруження в торцевій стіні виникають в зонах взаємодії горизонтальних поясів з кутовими стійками і складають близько 180 МПа.

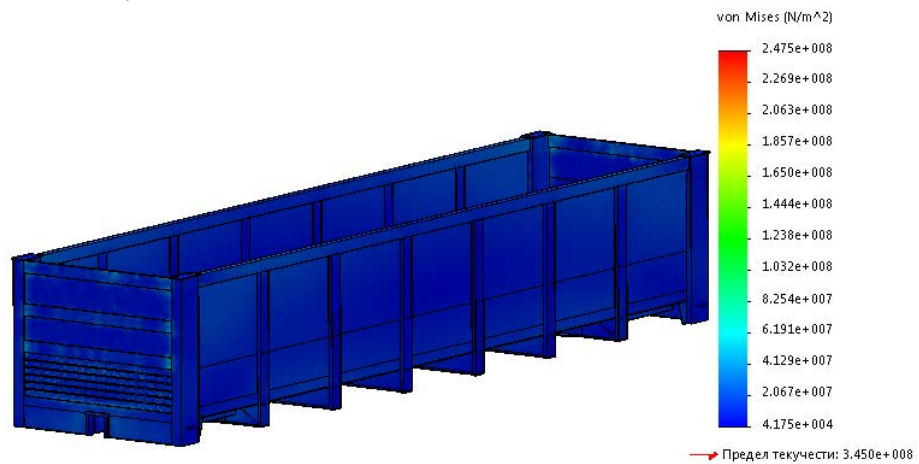


Рис. 5. Напружений стан кузова напіввагона

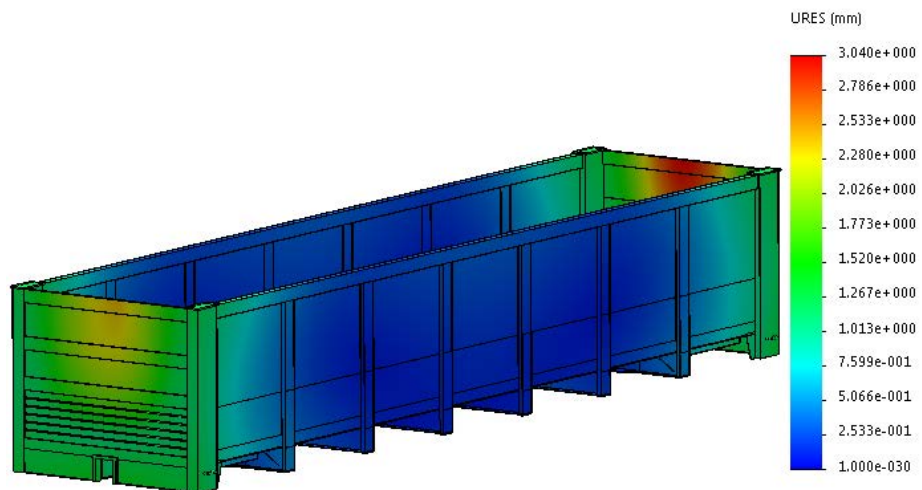


Рис. 6. Переміщення в вузлах кузова напіввагона

В нижній частині листа обшивки напруження знизилися до 132 МПа, що нижче ніж в типовій на 5,3%. Максимальні переміщення в торцевій стіні виникають

у верхньому обв'язуванні і складають близько 3 мм. Отже міцність кузова забезпечується [13].

Висновки і перспектива подальшої роботи в цьому напрямі.

1. Обґрунтовано конструкційні особливості обшивки торцевих стін кузова напіввагона. При цьому пропонується посилювати їх нижню частину, за висотою 1/3 від нижнього обв'язування, горизонтальними гофрами. На підставі проведених розрахунків момент інерції листа склав 20521,4 см⁴, а момент опору – 81987,8 см³. Маса листа на 6,6% нижча за масу типового листа.

2. Визначено міцність кузова напіввагона при повздовжній навантаженості його конструкції. Встановлено, що з урахуванням запропонованого удосконалення максимальні напруження в нижній частині листа обшивки торцевої стіни зменшуються на 5,3% у порівнянні з типовою конструкцією і складають 132 МПа. При цьому максимальні переміщення виникають у верхньому обв'язуванні торцевої стіни і складають близько 3 мм.

Подальшим напрямком даних досліджень є визначення втомної міцності кузова напіввагона з урахуванням запропонованого удосконалення.

Результати проведених досліджень сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій напіввагонів та підвищенню ефективності їх експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method. *Procedia Materials Science*. 2014. Vol. 6. P. 1891 – 1898.
2. Lovskaya Alyona. Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 3, Issue 4. P. 36–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>
3. Farida Galimova, Yaxyo Khurmatov, Mirzo Abdulloev, Bobur Jumabekov, Doston Sultonaliyev, Dilorom Ergeshova. Modern Gondola with Lightweight Body. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. Vol. 247. P. 1043 – 1050. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_94
4. Woo Geun Lee, Jung-Seok Kim, Seung-Ju Sun, Jae-Yong Lim. The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2018. Vol. 232. Issue 1. P. 25 – 42.
5. Alexandru Ionut Patrascu, Anton Hadar, Stefan Dan Pastrama. Structural Analysis of a Freight Wagon with Composite Walls. *MATERIALE PLASTICE*. 2020. Vol. 57 (2). P. 140 – 151. <https://doi.org/10.37358/MP.20.2.5360>
6. Zaynitdinov Olmos Irikovich, Ruzmetov Yadgor Ozodovich, Rustam Rahimov, Waail Mahmod Lafta. Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage. *International Journal of Engineering and Technology*. 2020. Vol. 9(2). P. 378 – 381.
7. Andrzej Buchacz, Andrzej Baier, Krzysztof Herbuś, Krzysztof, Michał Majzner, Piotr Ociepka. Examination of a Cargo Space of a Freight Wagon

- Modified with Composite Panels. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 809-810. P. 944 – 949. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.944>
8. Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials*. 2021. Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
 9. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів: Підручник. Київ: Знання, 2016. 400 с.
 10. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Луцьк: Вежа, 2018. 172 с.
 11. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: Навчальний посібник. Херсон: Олді-плюс, 2018. 252 с.
 12. O. Fomin, A. Lovska, O. Daki, V. Bohomia, O. Tymoshchuk, V. Tkachenko. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 3/7 (99). P. 18 – 25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166329>
 13. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

REFERENCES

1. Harak, S. S., Sharma, S. C., Harsha, S. P. (2014). Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method. *Procedia Materials Science*. Vol. 6. P. 1891 – 1898.
2. Lovskaya Alyona. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3, Issue 4. P. 36–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>
3. Farida Galimova, Yaxyo Khurmatov, Mirzo Abdulloev, Bobur Jumabekov, Doston Sultonaliyev, Dilrom Ergeshova. (2021). Modern Gondola with Lightweight Body. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 247. P. 1043–1050. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_94
4. Woo Geun Lee, Jung-Seok Kim, Seung-Ju Sun, Jae-Yong Lim. (2018). The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. Vol. 232. Issue 1. P. 25 – 42.
5. Alexandru Ionut Patrascu, Anton Hadar, Stefan Dan Pastrama. (2020). Structural Analysis of a Freight Wagon with Composite Walls. *MATERIALE PLASTICE*. Vol. 57 (2). P. 140 – 151. <https://doi.org/10.37358/MP.20.2.5360>
6. Zaynitdinov Olmos Irikovich, Ruzmetov Yadgor Ozodovich, Rustam Rahimov, Waail Mahmud Lafta. (2020). Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage. *International Journal of Engineering and Technology*. Vol. 9(2). P. 378 – 381.

7. Andrzej Buchacz, Andrzej Baier, Krzysztof Herbuś, Krzysztof, Michał Majzner, Piotr Ociepka. (2015). Examination of a Cargo Space of a Freight Wagon Modified with Composite Panels. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 809-810. P. 944 – 949. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.944>
8. Fomin, O., Gerlici, J., Gorbunov, M., Vatulia, G., Lovska, A., Kravchenko, K. (2021). Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials*. Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
9. Shvab'yuk, V. I. (2016). *Opir materialiv: Pidruchnik*. Kiyiv: Znannya. 400 s. [in Ukrainian]
10. Pustyulga, S. I., Samostyan, V. R., Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna grafika v SolidWorks: Navchalnij posibnik*. Luck: Vezha. 172 s. [in Ukrainian]
11. Kozyar, M. M., Feshuk, Yu. V., Parfenyuk, O. V. (2018). *Komp'yuterna grafika: SolidWorks: Navchalnij posibnik*. Herson: Oldi-plyus. 252 s. [in Ukrainian]
12. O. Fomin, A. Lovska, O. Daki, V. Bohomia, O. Tymoshchuk, V. Tkachenko. (2019). Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3/7 (99). P. 18 – 25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166329>
13. DSTU 7598:2014. *Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih)*. Kiyiv, 2015. 162 s. [in Ukrainian]

МОРСЬКИЙ ТА ВНУТРІШНІЙ ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 662.614.2.002.8:621.431.74

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.02>

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МОРСЬКИХ АМІАЧНИХ УТИЛІЗАЦІЙНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК

А.А. Андрєєв¹, В.І. Свиридов², Д.О. Шалапко³

¹к.т.н., професор, завідувач кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1095-0398

²к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4841-7935

³к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4311-3908

Анотація

Вступ. Одним із основних шляхів утилізації вторинних низькопотенційних теплових ресурсів суднових дизельних установок є застосування утилізаційних силових установок на низькокиплячих робочих тілах. Певною проблемою є вибір раціонального низькокиплячого робочого тіла, оскільки наявні суттєві негативні моменти у використанні традиційних робочих речовин. Наприклад, для хладонів характерні низька термічна стійкість, висока текучість, значна вартість тощо, а для вуглеводнів – горючість. **Мета.** Провести аналіз схем і характеристик різних аміачних силових установок для обґрунтування областей їх раціонального застосування в енергетиці, у тому числі й суднової. **Результати.** Розглянуто різноманітні аспекти застосування аміаку як робочого тіла. Аміак і до цього дня є основним робочим тілом, що розглядається в проєктованих і застосовується у створюваних океанських теплових електростанціях для районів як тропіків, так і Арктики. Результати розгляду в Національному університеті кораблебудування (м. Миколаїв) схем утилізації низькопотенційної теплоти суднових дизельних установок показують, що аміак знаходиться в групі робочих тіл, що забезпечують найвищі термодинамічні показники утилізаційних силових установок. Ще однією областю транспортного виконання аміачних утилізаційних силових установок є космічні сонячні енергетичні установки, призначені як електропостачання великих космічних станцій, так й у майбутньому передавання електричної енергії на Землю. Іншим перспективним напрямком утилізації низькопотенційних

вторинних теплових ресурсів є утилізаційні силові установки на водоаміачно-му розчині. Проведено порівняльний аналіз різних схем аміачних енергоустановок, їх термодинамічних і техніко-економічних характеристик. Завдяки своїм безперечним перевагам аміак є одним з основних перспективних робочих тіл утилізаційних силових установок. **Висновки.** Результати науково-дослідних робіт, дослідно-конструкторських розробок і промислової експлуатації підтверджують високу ефективність аміачних утилізаційних силових установок для широкого спектру застосування в енергетиці: від Світового океану до космосу.

Ключові слова: утилізаційна силова установка, тепла електростанція, низькокипляче робоче тіло, аміак, водоаміачна суміш.

PROSPECTS OF APPLICATION OF MARINE AMMONIA UTILIZATION POWER PLANTS

A.A. Andreiev¹, V.I. Sviridov², D.O. Shalanko³

¹Ph.D (Engineering), Professor,
Head of the Ship Engineering and Power Engineering Department,
Kherson Educational and Scientific Institute of the National Shipbuilding University,
Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1095-0398

²Ph.D (Engineering),
Associate Professor of the Ship Engineering and Power Engineering Department,
Kherson Educational and Scientific Institute of the National Shipbuilding University,
Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-4841-7935

³Ph.D (Engineering),
Associate Professor of the Ship Engineering and Power Engineering Department,
Kherson Educational and Scientific Institute of the National Shipbuilding University,
Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-4311-3908

Summary

Introduction. One of the main ways of utilization of secondary low-energy thermal resources of marine diesel installations is the use of utilization power plants on low-boiling working fluids. A certain problem is the choice of a rational low-boiling working fluid since there are significant negative points in the use of traditional working fluids. For example, halon is characterized by low thermal resistance, high fluidity, significant cost, etc., while hydrocarbons are characterized by flammability. **Purpose.** To analyze schemes and characteristics of various ammonia power plants in order to substantiate the areas of their rational application in the energy industry, including shipbuilding. **Results.** Various aspects of the use of ammonia as a working fluid are considered. To this day ammonia is the main working fluid considered in the designing and constructing of ocean thermal power plants for both tropical and arctic regions. The results of the research on the schemes for the utilization of low-potential heat of ship diesel plants at the National Shipbuilding University (Mykolaiv) show that ammonia belongs to the group of working fluids that provide the highest thermodynamic indicators of utilization power plants. Another field of transport implementation of

ammonia utilization power plants is space solar energy plants, designed both for the power supply of large space stations and for the transfer of electrical energy to Earth in the future. One more promising direction of utilization of low-potential heat waste is water-ammonia mixture utilization power plants. A comparative analysis of various schemes of ammonia power plants, their thermodynamic, technical and economic characteristics was carried out. Ammonia is one of the most promising working fluids of utilization power plants due to its indisputable advantages. Conclusions. The results of scientific researches, design developments and industrial operations confirm the high efficiency of ammonia utilization power plants for a wide range of applications in the energy sector: from the ocean to space.

Key words: *utilization power plant, thermal power plant, low-boiling working fluid, ammonia, water-ammonia mixture.*

Вступ. Високі ціни на суднове паливо висувають на перший план задачу підвищення паливної економічності суднових дизельних установок (СДУ) шляхом утилізації її вторинних теплових ресурсів [1], зокрема, з метою вироблення електричної або механічної (для передавання на гребний гвинт чи для приводу інших механізмів) енергій. Однак, якщо технології використання в утилізаційних силових установках (УСУ) відхідних газів головних і допоміжних двигунів уже достатньо відпрацьовані, то низькопотенційна теплота системи охолодження суднових дизелів прісною водою застосування в УСУ не знаходить.

Постановка проблеми. Складність утилізації в суднових УСУ низькопотенційної теплоти викликана тим, що на такий рівень температур (до 100°C) традиційні установки, що реалізують конденсаційний цикл Ренкіна з водяною парою як робочим тілом, мають низку істотних недоліків [2]. Наявність вакууму в системі призводить, по-перше, до великих питомих об'ємів водяної пари, і, отже, до громіздких ступенів низького тиску турбіни та підвищених діаметрів трубопроводів, а, по-друге, до необхідності додаткових ежекторної та деаераційної установок. Значна вологість водяної пари в кінці процесу розширення знижує ККД силової турбіни та спричинює ерозійні руйнування її лопаток.

Ці недоліки можуть бути подолані при заміні водяної пари на низькокипляче робоче тіло (НРТ) [2, 3]. Крім відсутності вакууму в УСУ, менших габаритів та більш високих значень ККД турбомашин, перевагами НРТ є: можливість використання прямого котла-утилізатора (КУ), що спрощує УСУ; відсутність корозії елементів УСУ та ерозії лопаток турбіни; низька частота обертання турбіни. Якщо для водяної пари через вакуум температура конденсації підтримується не нижче 30°C, то для НРТ можливе зниження цієї температури (у холодну пору року; при плаванні у високих широтах), що збільшує корисну роботу циклу.

Певною проблемою є вибір раціонального НРТ, оскільки наявні суттєві негативні моменти у використанні традиційних робочих речовин УСУ. Наприклад, для хладонів характерні низька термічна стійкість, висока текучість, значна вартість тощо, а для вуглеводнів – горючість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективним альтернативним робочим агентом може вважатися аміак (NH_3), який екологічно (озоновий шар, парниковий ефект) безпечний, дешевий, має гарні як термодинамічні показники, так і характеристики теплопередачі. Застосування на судні аміаку як робочого тіла УСУ стає доцільнішим, якщо там встановлена аміачна рефрижераторна установка. При цьому можливе залучення ще одного джерела низькопотенційних теплових ресурсів, а саме теплоти перегріву парів аміаку після стиснення в компресорі (температура кінця процесу стиснення може досягати 160°C [4]). Крім того, зараз активно розглядають аміак як перспективне паливо суднових головних двигунів, яке дасть можливість досягти декарбонізації судноплавства, мінімізувати його шкідливий вплив на довкілля [5].

Формулювання цілей статті. На сьогоднішній день у науково-технічній літературі є лише розрізнені дані про конкретні розробки аміачних УСУ, схеми їх роботи, конструкції машин і апаратів, термодинамічні та техніко-економічні показники. Це й визначило мету цього дослідження: провести аналіз схем і характеристик різних аміачних УСУ для обґрунтування областей їх кращого застосування в енергетиці, у тому числі й судновій.

Виклад основного матеріалу. Питання застосування аміаку як НРТ УСУ морського виконання має давню історію. Ще у 1881 р. видатний фізик Жак-Арсен д'Арсонваль, теоретично обґрунтовуючи можливість використання в теплових електростанціях (ТЕС) величезних запасів теплової енергії Світового океану, запропонував застосувати аміак як робочу рідину океанських ТЕС (ОТЕС). Аміак і до цього дня є основним робочим тілом, що розглядається в проєктованих і застосовується у створюваних ОТЕС для районів як тропіків [6], так і Арктики [7, 8]. У тропічних ОТЕС використовується різниця температур поверхневих шарів океану, що мають у районах між 5°пд.ш. і 15°пн.ш. стійку температуру $27...28^\circ\text{C}$, і глибинних (на глибині 300 м температура води знижується до 12°C , а на глибині 700 м – до $4...6^\circ\text{C}$). Техніко-економічні характеристики деяких таких станцій, що працюють на аміаку, наведені в табл. 1 і табл. 2.

Принцип дії арктичної ОТЕС заснований на перетворенні в осінньо-зимовий період в УСУ різниці температур підлідної води арктичних морів ($+2...-2^\circ\text{C}$) та навколишнього повітря ($-25...-50^\circ\text{C}$). Уперше він був науково обґрунтований академіком О.Ф. Іоффе в 1932 р. Із 1980 р. цей напрямок активно опрацьовувався в Тихоокеанському океанологічному інституті Далекосхідного наукового центру АН СРСР спільно з Інститутом теплофізики Сибірського відділення АН СРСР і низкою наукових лабораторій Енергетичного інституту (ЕНІН), Московського енергетичного інституту (МЕІ), Одеського технологічного інституту холодительної промисловості (ОТІХП), Інституту високих температур АН СРСР (ІВТАН). Ними здійснювалися, зокрема, й дослідження ефективності застосування різних НРТ (табл. 3), які показали безсумнівну перевагу аміаку як робочого тіла даних УСУ [7].

Таблиця 1

Характеристики деяких дослідних аміачних тропічних ОТЕС

Характеристика станції	Найменування станції, розробник		
	міні-ОТЕС	ОТЕС-1	фірма «Mitsubishi», університет м. Сага (Японія), енергокомпанія «Kyushu Electric Power Co.»
Рік розробки, місце розташування	серпень 1979 р.; Гавайї (США)	середина 1980 р.; Гавайї (США)	вересень 1982 р.; о. Токуносіма (Японія)
Загальна генеруєма потужність, МВт	0,049 / 0,050*	1	0,05
Корисна потужність, МВт	0,012 / 0,0175*	немає даних	немає даних
Модульність установки	1	1	1
Котел-утилізатор	пластинчастий; площа теплообміну 38 м ² ; матеріал: титан	кожухотрубчастий; 6304 трубок; матеріал трубок: титан; діаметр 20 мм; довжина 18 м; маса заповнена 195 т	2 блока; пластинчасті; площа теплообміну по 102,6 м ² ; матеріал: титан
Конденсатор	пластинчастий; площа теплообміну 38 м ² ; матеріал: титан	кожухотрубчастий; 6304 трубок; матеріал трубок: титан; діаметр 20 мм; довжина 18 м; маса заповнена 105 т	площа теплообміну 383 м ² ; матеріал трубок: титан
Турбогенератор	немає даних	моделювався за допомогою дросельно-регулювального клапана	немає даних
Трубопровід холодної води	поліетилен; 58 секцій; внутрішній діаметр 0,5 / 0,6* м; довжина 700 м	поліетилен; пучок із 3 паралельних труб для кожної секції по 18 / 27* м; довжина 640 / 900* м; діаметр 1 / 1,219* м	твердий поліетилен; довжина 2350 м (глибина 370 м); діаметр 0,5 м
Витрати морської води, м ³ /с: холодної; теплої	0,165; 0,165	4,30; 5,25	0,126; 0,143
Корпус	баржа	переобладнений танкер проекту Т-2 «Cherachet» з паротурбоелектричним приводом	берегова
Водотоннажність, т	немає даних	5370	--
Спосіб закріплення у морі	за допомогою трубопроводу холодної води; для від'єднання труби від судна служить спеціальний затвор	немає даних	--

* – під рисою дані із різних джерел

Таблиця 2

Характеристики деяких проектів аміачних тропічних ОТЕС

Характеристика станції	Розробник				
	фірма «Lockheed»	фірма «ГРВ»	Японія	Франція	Франція
1	2	3	4	5	6
Загальна генеруєма потужність, МВт	240	125	3	15	3,5
Корисна потужність, МВт	160	100	2,1	немає даних	немає даних
Модульність установки	4	4	немає даних	2	1
Котел-утилізатор	4 блока; кожухотрубчасті; діаметр корпусу 22,2 м; 120000 трубок; матеріал трубок: титан; зовнішній діаметр 51 мм; довжина 16 м	4 блока; кожухотрубчасті; діаметр корпусу 15,2 м; 65400 трубок; матеріал трубок: титан; зовнішній діаметр 35 мм; довжина 13,1 м	пластинчастий; площа теплообміну 5847 м ² ; матеріал: титан; коефіцієнт теплопередачі 5724 Вт/(м ² ·К)	2 блока по 4 котла в кожному; діаметр корпусу 4,64 м; 91440 трубок; матеріал трубок: титан; діаметр 25 мм; товщина стінки 0,7 мм; довжина трубок 12,75 м; маса 145 т	2 котла; 22860 трубок; матеріал трубок: титан; діаметр 25 мм; товщина стінки 0,7 мм; довжина трубок 12,75 м
Конденсатор	4 блока; кожухотрубчасті; діаметр трубок: титан; зовнішній діаметр 51 мм; довжина 16 м	4 блока; кожухотрубчасті; діаметр 15,2 м; 75900 трубок; матеріал трубок: титан; зовнішній діаметр 38 мм; довжина 13,1 м	пластинчасті; площа теплообміну 6167 м ² ; матеріал: титан; коефіцієнт теплопередачі 4737 Вт/(м ² ·К)	2 блока по 3 конденсатори в кожному; 59500 трубок; матеріал трубок: титан; діаметр 25 мм; товщина стінки 0,7 мм; довжина трубок 17,5 м; маса 135 т	2 конденсатори; 14875 трубок; матеріал трубок: титан; діаметр 25 мм; товщина стінки 0,7 мм; довжина трубок 17,5 м; маса 102 т
Турбогенератор	8 блоків; діаметр 3,5 м; вісь вертикальна; дифузори попарно встановлені на конденсаторах; ККД 90 %	4 блока; діаметр 6,4 м; вісь вертикальна; дифузори встановлені на конденсаторах; ККД 90 %	немає даних	2 блока; габарити 4г	габарити 2,5г

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6
Трубопровід холодної води	попередньо напружений бетон; 5 телескопічних секцій; діаметр від 31,1 до 38,4 м; довжина 305 м	фіброскло, армоване пластиком; внутрішній діаметр 15,2 м; довжина 1200 м	довжина 1500 м; діаметр 2,5 м	довжина 2920 м; діаметр 5,4 м	довжина 2920 м; діаметр 3,0 м
Витрати морської води, м ³ /с: холодної; теплої	1800; 1370	370; 440	6,60; 8,54	3г	2г
Корпус	напівзанурювальна платформа циліндричного типу, розташована вертикально; діаметр 75 м; висота 100 м; головний корпус складається з 4 роздільних енергетичних модулів, розташованих на 30,5 м нижче рівня моря; матеріал: армований та попередньо напружений бетон	судно циліндричної форми; на поверхні діаметр 104 м; висота 52 м; осадка 32 м; матеріал: армований й попередньо напружений бетон	берегова	берегова	берегова
Водотоннажність, т	300000	213000	--	--	--
Спосіб закріплення у морі	якірна система, що складається з трапезії розширювача, бріделя, вертлюга, якірного троса й якоря	динамічна система утримання в точці функціонування	--	--	--
Термін служби, років	38...100	40	немає даних	немає даних	немає даних

Таблиця 3

Порівняльні характеристики арктичної ОТЕС потужністю 1 МВт при роботі на різних НРТ (мінімальна та максимальна температури циклу -24 і -6°C)

Робоче тіло	Масова витрата, кг/с		Потужність, кВт			ККД станції нетто, %
	робочого тіла	заборотної води	насосів		корисна станції	
			робочого тіла	заборотної води		
Хладон R12	124	2711	13	203	784	3,61
Хладон R13	179	2633	119	197	684	3,25
Хладон R22	93	2673	17	200	783	3,66
Пропан	52	2754	20	206	774	3,51
Аміак	16	2653	5	199	796	3,75

Серед цікавих розробок у цьому напрямку слід відзначити проект плавучої аміачної арктичної ОТЕС (рис. 1) для району острова Діксон (Єнісейська затока, 73°30' пн.ш.), що передбачає розташування станції на борту переобладнаного крейсера «Михаил Кутузов» проекту 68-бис (довжина 210 м, ширина 21,6 м, осадка 7,5 м, водотоннажність 19200 т, побудований на Чорноморському суднобудівному заводі у м. Миколаїв) [8].

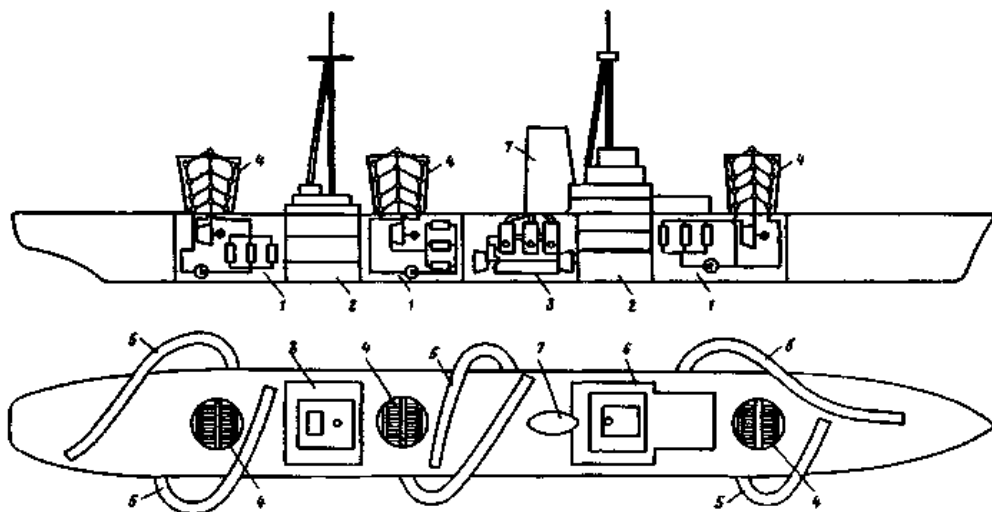


Рис. 1. Розташування арктичної океанської ТЕС на судні
1 – енергетичні модулі; 2 – житлові та допоміжні відсіки;
3 – машинне відділення із судновою силовою установкою;
4 – повітряні конденсатори-градирні; 5 – трубопроводи забирання та скидання заборотної води; 6 – носова палубна надбудова; 7 – димова труба машинного відділення; 8 – кормова надбудова

Перевагами суднового виконання ОТЕС є: монтаж обладнання на материковому суднобудівному або судноремонтному заводі й, тим самим, скорочення термінів введення в експлуатацію; можливість переміщення станції в літній період року на північ Таймирського півострова або Нової Землі й, отже, продовження сезонного часу використання. На судні передбачалося розмістити три енергомодулі одиничною потужністю по 40 кВт. У результаті розрахункових досліджень були отримані наступні оптимальні параметри базового модуля і основного технологічного обладнання: потужність модуля нетто 35,5 кВт; температури конденсації та кипіння аміаку -14,0 та -2,6°C відповідно; масова витрата аміаку 1,4 кг/с; теплоперепад на турбіні 58,3 кДж/кг; площа поверхні теплообміну КУ 364 м² (кількість ходів у секції 4, кількість трубок в одному ході 88, внутрішній та зовнішній діаметри трубок 12 та 14 мм, довжина трубок 2,5 м); витрата морської води через КУ 225,2 кг/с; площа поверхні теплообміну повітряного конденсатора-градирні 4677 м² (внутрішній та зовнішній діаметри трубок 16 і 20 мм, висота вежі 12,5 м; діаметр вежі 7,1 м); самотяга в градирні 0,22 Па; середня швидкість повітря в градирні 1,33 м/с; витрата повітря через градирню 708,2 кг/с [8].

Судновий напрямок реалізації УСУ знайшов відображення у дослідженнях, що проводяться нині в Національному університеті кораблебудування (м. Миколаїв). Результати розгляду схем утилізації низькопотенційної теплоти СДУ показують, що аміак знаходиться в групі НРТ, що забезпечують найвищі термодинамічні показники УСУ. Наприклад, була розрахована установка, що утилізує 1630 кВт теплоти високотемпературного контуру системи охолодження прісною водою судового головного середньооборотного дизеля марки 6L46-B фірми «Wartsila» (Фінляндія) потужністю 5850 кВт, при наступних вихідних даних: температури прісної води системи охолодження на виході та вході в КУ відповідно 74 і 91°C; температури кипіння та перегріву парів НРТ у КУ відповідно 70 і 80°C; температури заборотної води та конденсації НРТ відповідно 30 і 35°C. Були отримані такі характеристики роботи аміачної УСУ: тиск конденсації та кипіння аміаку 1358 і 3371 кПа; масова витрата аміаку 1,37 кг/с; потужності споживана насосом, корисна циклу і вироблена турбіною відповідно 8, 143 та 151 кВт; теплове навантаження на конденсатор 1487 кВт; термічний ККД установки 9,2 %.

Ще однією областю транспортного виконання УСУ є космічні сонячні ТЕС, призначені як електропостачання великих космічних станцій, так й у майбутньому передавання електричної енергії на Землю. Розглядаючи різні варіанти таких установок з турбогенераторними перетворювачами енергії, вчені найбільш детально пропрацювали систему, яка використовує як робоче тіло аміак [9]. Згідно проекту до складу одиничного енергомодуля вихідною потужністю 100 кВт (він може бути використаний як компоновочна одиниця космічної сонячної ТЕС будь-якої потужності) входять: складений параболоциліндричний концентратор сонячного випромінювання з холодильником-випромінювачем, розташованим з тильного боку; приймач випромінювання з додатковими концентраторами; нагрівач та перегрівач парів аміаку з тепловим акумулятором; паротурбінний перетворювач з регенератором; електрогенератор; система розкриття; система автоматичного регулювання. Така УСУ при нижній і верхній температурах циклу відповідно 100 і 600°C матиме ефективний ККД близько 30 %.

Іншим перспективним напрямком утилізації низькопотенційних вторинних теплових ресурсів є УСУ на водоаміачному розчині. До переваг водоаміачної суміші як робочого тіла УСУ відносяться [10, 11]: можливість шляхом зміни концентрації компонентів у НРТ створити єдину енергетичну установку для утилізації низькопотенційної теплоти в широкому інтервалі температур (100...200°C); доступність; екологічна безпека; термостійкість до 200°C; високі коефіцієнти теплопередачі теплообмінних апаратів; освоєність промисловістю. Уперше запропонував використати це робоче тіло у циклі теплового двигуна Л.М. Розенфельд у 1955 р. [12]; надалі О.І. Калина модифікував цикл шляхом введення системи розвиненої регенерації та запатентував із серпня 1982 р. понад 20 розроблених ним теплових схем (у публікаціях для подібних установок прийнято термін «цикли Калини»). Ним же була заснована компанія «Exergy», яка займається дослідженням, проектуванням і впровадженням утилізаційних технологій, що працюють на даному принципі. Із цією компанією уклали ліцензійні угоди такі відомі енергетичні фірми як «General Electric» (США), «Ausaldo Energia» (Італія), «Asea Brown Boveri (ABB)» (Швейцарія), «Ebara Corporation» (Японія), «X-Orka» (Ісландія).

Згодом японський фізик Х. Уехара у 1994 р. розробив більш досконалий цикл («цикл Уехари»). Із появою такої передової технології циклу можливості комерційного використання УСУ на водоаміачних розчинах стали більшими.

Промислові ТЕС на цій робочій суміші, що реалізують цикли Каліни та Уехари, експлуатують з 1999 р. в Японії на заводі фірми «Kashima Steel Works» (утилізація теплоти відпрацьованої води температурою 98°C) та з 2000 р. в Ісландії (геотермальні джерела з температурою 121°C); електрична потужність, що генерується, становить 3,1 та 2,0 МВт відповідно.

Найпростіша схема такої енергоустановки (рис. 2) містить підігрівач розчину (економайзер) 1, в якому водоаміачна суміш нагрівається до точки кипіння, і десорбер 2, де потім відбувається кипіння (спочатку при більш низькій температурі кипить аміак, а в міру зниження концентрації аміаку в розчині температура кипіння підвищується). Після сепаратора 3 пара, що утворилася, подається на турбіну 4, що є приводом електрогенератора 5. Слабкий розчин із сепаратора через дросельний клапан 6 надходить на змішання з відпрацьованою парою на вихлопі з турбіни. Далі після конденсації в абсорбері 7 міцний розчин живильним насосом 8 знову подається у підігрівач 1.

УСУ з водоаміачними НРТ підтвердили свої працездатність та ефективність як у рамках науково-дослідних робіт, так і при промисловій експлуатації (табл. 4), їх розгляду в іноземній технічній літературі останнім часом приділяється багато уваги.

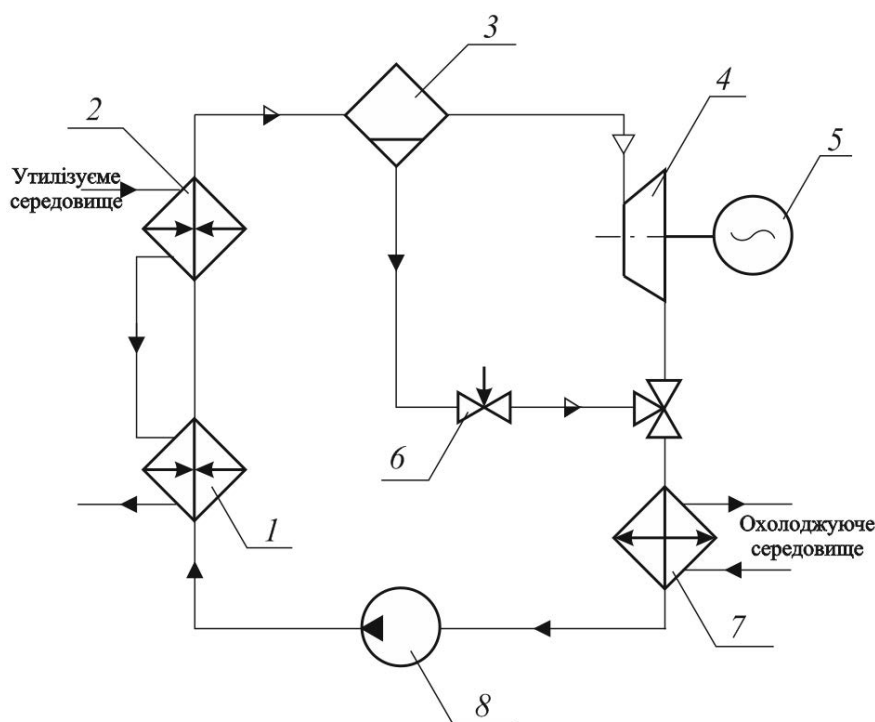


Рис. 2. Теплова схема утилізаційної силової установки з водоаміачним низькокиплячим робочим тілом

Таблиця 4

Характеристики УСУ на водоаміачному робочому тілі

Місце знаходження установки	Канога Парк, Каліфорнія (США)	Фукуока (Японія)	Токіо (Японія)	Хусавік (Ісландія)	Росія
Призначення	демонстраційне	демонстраційне	комерційне	комерційне	проект, 1996 г.
Організація, що займається експлуатацією	Конструкторський центр енерготехнологій при Міністерстві енергетики США	немає даних	«Kashima Steel Works», входить у «Sumitomo Metals Group»	муніципалітет м. Хусавіка	--
Проектувальник	«Exergy», Міністерство енергетики США	«Ebara Corporation»	«Ebara Corporation»	«Exergy», VGK	ЕНІН, ВО «Кіровський завод»
Введення в експлуатацію	1992 / 1996**	1999	1999	2000	--
Гріюче середовище	відхідні гази	теплота від сміттєспалувальної печі	прісна вода, що охолоджує відхідні гази від конверторів сталі	геотермальні води	геотермальні води
Температура гріючого середовища, °С	540 / 516**	немає даних	98	121	100...200
Електрична потужність, МВт	3 / 6**	2,6	3,10 / 3,30* / 3,45*	1,6 / 2,0*	4,01...5,10
Теплова ефективність, %	немає даних	немає даних	10,4	на 20 % більше традиційних	немає даних

* – під рисою дані із різних джерел;

** – після модернізації.

Висновки. Проведений аналіз схем, а також термодинамічних і техніко-економічних характеристик транспортних, у тому числі й суднових УСУ показує, що завдяки своїм безперечним перевагам аміак є одним з основних перспективних робочих тіл даних енергоустановок.

Результати науково-дослідних робіт, дослідно-конструкторських розробок і промислової експлуатації підтверджують високу ефективність аміачних УСУ для широкого спектру застосування в енергетиці: від Світового океану до космосу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Radchenko R., Kornienko V., Pyrysunko M., Bogdanov M., Andreev A. Enhancing the Efficiency of Marine Diesel Engine by Deep Waste Heat Recovery on the Base of Its Simulation Along the Route Line. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*. vol. 1113. Springer, Cham, 2020. Pp. 337-350. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_29
2. Radchenko A., Radchenko M., Mikielewicz D., Radchenko R., Andreev A. A novel degree-hour method for rational design loading. *Proceedings of*

- the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2023. Volume 237, Issue 3 (May). Pp. 570-579.
3. R.M. Radchenko, D. Mikielevich, M.I. Radchenko, V.S. Kornienko, A.A. Andreev, M.A. Pyrysunko Main engine of transport ship inlet air cooling by ejector chiller. Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering: Book of abstracts of the V International Scientific-Technical Conference, Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology, Poland, June 3-5, 2021. Kielce, 2021. Pp. 62–64.
 4. R. Radchenko, A. Radchenko, D. Konovalov, A. Zubarev, A. Hrych, A. Andreev Increasing fuel efficiency of gas engine by inlet air chilling. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Миколаїв, 24–25 вересня 2020 р., в 2 ч. – Ч. 1. – Миколаїв : НУК, 2020. – С. 569-580.
 5. Zhao Y., Setzler B.P., Wang J., Nash J., Wang T., Xu B., Yan Y. An Efficient Direct Ammonia Fuel Cell for Affordable Carbon-Neutral Transportation. *Joule*. 2019. vol. 3. № 10. Pp. 2472-2484. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.07.005>
 6. Ascari M.B., Hanson H.P., Rauchenstein L., Van Zwieten J., Desikan B., Heimiller D., Langle N., Scott G.N., Potemra J., Nagurny J.N., Jansen E. Ocean Thermal Extractable Energy Visualization. *Final Technical Report on Award DE-EE0002664*. October 28, 2012. United States: N. p., 2012. doi:10.2172/1055457
 7. А.А. Андреев, М.А. Пирисунько Зниження токсичності відпрацьованих газів судових дизелів. Сучасні проблеми холодильної техніки та технології: Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Одеса, ОНАХТ, 27-28 вересня, 2019 р. Одеса, ОНАХТ, 2019. С. 14–16.
 8. R. Radchenko, A. Radchenko, D. Konovalov, A. Zubarev, A. Hrych, A. Andreev. Increasing fuel efficiency of gas engine by inlet air chilling. Contemporary Issues of Heat and Mass Transfer: Monography of the Faculty of Mechanical Engineering University of Technology Koszalin. – 2019. – Volume 1, № 2 (10). – Pp. 641–662.
 9. D. Konovalov, M. Radchenko, H. Kobalava, A. Andreev, V. Maksymov Improvement of ejector refrigeration machine cycles by using thermopressor. Contemporary Issues of Heat and Mass Transfer: Monography of the Faculty of Mechanical Engineering University of Technology Koszalin. 2019. Volume 1, № 2 (10). Pp. 301–326.

REFERENCES

1. Radchenko R., Kornienko V., Pyrysunko M., Bogdanov M., Andreev A. (2020). Enhancing the Efficiency of Marine Diesel Engine by Deep Waste Heat Recovery on the Base of Its Simulation Along the Route Line. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*. vol. 1113. Springer, Cham, Pp. 337-350. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_29

2. Radchenko A., Radchenko M., Mikielewicz D., Radchenko R, Andreev A. (2023). A novel degree-hour method for rational design loading. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. Volume 237, Issue 3 (May). Pp. 570-579.
3. R.M. Radchenko, D. Mikielevih, M.I. Radchenko, V.S. Kornienko, A.A. Andreev, M.A. Pyrysunko (2021). Main engine of transport ship inlet air cooling by ejector chiller / R.M. Radchenko, D. Mikielevih, M.I. Radchenko, V.S. Kornienko, A.A. Andreev, M.A. Pyrysunko // Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering: Book of abstracts of the V International Scientific-Technical Conference, Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology, Poland, June 3-5, 2021. Kielce, Pp. 62–64.
4. R. Radchenko, A. Radchenko, D. Konovalov, A. Zubarev, A. Hrych, A. Andreev (2020). Increasing fuel efficiency of gas engine by inlet air chilling. Innovations in shipbuilding and ocean engineering: Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference, Mykolaiv, September 24-25, 2020, in 2 hours - Part 1. Mykolaiv: NUK. P. 569-580.
5. Zhao Y., Setzler B.P., Wang J., Nash J., Wang T., Xu B., Yan Y. (2019). An Efficient Direct Ammonia Fuel Cell for Affordable Carbon-Neutral Transportation. *Joule*. vol. 3. № 10. Pp. 2472-2484. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.07.005>
6. Ascari M.B., Hanson H.P., Rauchenstein L., Van Zwieten J., Desikan B., Heimiller D., Langle N., Scott G.N., Potemra J., Nagurny J.N., Jansen E. (2012). Ocean Thermal Extractable Energy Visualization. *Final Technical Report on Award DE-EE0002664*. October 28, 2012. United States: N. p., doi:10.2172/1055457
7. Andreev A.A., Pyrysunko M.A. (2019). Reducing the toxicity of exhaust gases of ship diesels [Znyzhennya toksychnosti vidprats'ovanykh haziv sudnovykh dyzeliv]. Modern problems of refrigeration equipment and technology: Collection of abstracts of reports of the XII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference, Odesa, ONAKHT, September 27-28, 2019 - Odesa, ONAKHT, pp. 14–16. [in Ukrainian]
8. R. Radchenko, A. Radchenko, D. Konovalov, A. Zubarev, A. Hrych, A. Andreev (2019). Increasing fuel efficiency of gas engine by inlet air chilling. Contemporary Issues of Heat and Mass Transfer: Monography of the Faculty of Mechanical Engineering University of Technology Koszalin. Volume 1, № 2 (10). Pp. 641–662.
9. D. Konovalov, M. Radchenko, H. Kobalava, A. Andreev, V. Maksymov (2019). Improvement of ejector refrigeration machine cycles by using thermopressor. Contemporary Issues of Heat and Mass Transfer: Monography of the Faculty of Mechanical Engineering University of Technology Koszalin. Volume 1, № 2 (10). Pp. 301–326.

**ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО
ПОВІТРЯ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ
З УТИЛІЗАЦІЄЮ ВТОРИННОЇ ТЕПЛОТИ**

А.А. Андрєєв¹, М.А. Пирисунько², В.І. Свиридов³

¹к.т.н., доцент кафедри теплотехніки,

Херсонський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування, Херсон, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-6043-3700

²к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,

Херсонський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування, Херсон, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-3928-7112

³к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,

Херсонський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування, Херсон, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-4841-7935

Анотація

Вступ. Конструктивно найбільш простою і надійною в експлуатації є тепло-використовуюча система охолодження (ТСО) наддувного повітря ежекторного типу (ЕТСО), в якій функцію компресора виконує ежектор і інтеграція якої в штатну систему турбонаддуву суднових малооберткових двигунів (МОД) не призводить до помітного ускладнення останньої. Проте термодинамічна ефективність ЕТСО (теплові коефіцієнти ζ) менше, ніж у більш складних і громіздких, наприклад, абсорбційних тепловикористовуючих систем охолодження (АТСО). Тому, якщо через необхідність відведення від наддувного повітря великої кількості теплоти, викликаної недостатньо високими ζ ЕТСО, поверхні теплообміну тепловикористовуючих ступенів охолоджувачів наддувного повітря (ОНП), і, відповідно, аеродинамічні їх опори виявляться значними, доведеться застосовувати термодинамічно більш ефективні ТСО, наприклад, АТСО або проміжний ступінь охолодження наддувного повітря забортною водою. Можливе також використання додаткових джерел теплоти, зокрема випускних газів або охолоджувальної двигун води, відведення теплоти від яких не пов'язане з розміщенням теплообмінних агрегатів (ТОА) в повітряному або газоповисному трактах і, отже, не призводить до додаткового зростання аеродинамічного опору. Виходячи з наведених вище посилок, розроблялися та аналізувалися ТСО наддувного повітря суднових МОД.

Мета статті полягає у застосуванні у ТСО низькокиплячих робочих тіл (НРТ) дозволяє охолоджувати воду проміжного водяного контуру охолодження наддувного повітря до низьких температур, близьких 0°C , причому без необхідності підтримання вакууму у випарнику НРТ-охолоджувачі води.

Результати: запропонована триступінчаста триконтурна система охолодження наддувного повітря, в якій наявність проміжного ступеня охолодження

наддувного повітря забортною водою (штатного ОНП) дозволяє компенсувати дефіцит високопотенційної теплоти повітря для ЕТСО і, відповідно, холодопродуктивності, а, отже, приводить до скорочення поверхні ОНП, насамперед його економізної (хвостової, по ходу повітря) секції, відповідно і аеродинамічного опору, що становить $P < 3000$ Па, тобто менше 1 % від тиску наддувного повітря P_k .

Висновки: наявність проміжного ступеня охолодження наддувного повітря забортною водою робить триступінчасту триконтурну систему охолодження практично незалежною від температури $t_{зв}$ забортної води, а по ефективності (глибини) охолодження повітря перевищує двоступінчасту триконтурну систему охолодження.

Ключові слова: система охолодження, наддувне повітря, ежекторна холодильна машина, тепловикористовуючі системи охолодження.

PROMISING AREAS FOR COOLING THE CHARGE AIR OF MARINE LOW-SPEED DIESEL ENGINES WITH THE UTILIZATION OF WASTE HEAT

A.A. Andrieiev¹, M.A. Pyrysunko², V.I. Sviridov³

¹Ph.D (Engineering), Associate Professor of the Heat Engineering Department,
Kherson Educational and Scientific Institute of the National Shipbuilding University,
Kherson, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-6043-3700

²Ph.D (Engineering),

Associate Professor of the Ship Engineering and Power Engineering Department,
Kherson Educational and Scientific Institute of the National Shipbuilding University,
Kherson, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-3928-7112

³Ph.D (Engineering),

Associate Professor of the Ship Engineering and Power Engineering Department,
Kherson Educational and Scientific Institute of the National Shipbuilding University,
Kherson, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-4841-7935

Summary

Introduction. Structurally, the most simple and reliable in operation is the heat-using cooling system (HUCS) of the ejector-type for supercharged air (EHUCS), in which the function of the compressor is performed by the ejector, and the integration of which into the regular turbocharging system of ship low-speed engines (LSE) does not lead to a noticeable complication of the latter. However, the thermodynamic efficiency of EHUCS (thermal coefficients ζ) is less than that of more complex and bulky, for example, absorption cooling systems (AHUCS). Therefore, if, due to the need to remove a large amount of heat from the supercharged air, caused by insufficiently high ζ EHUCS, the heat exchange surface of the heat-using stages of the air-cooler, and, accordingly, their aerodynamic resistances turn out to be significant, it will be necessary to use thermodynamically more efficient HUCS, for example, AHUCS or an intermediate stage of cooling air with seawater. It is also possible to use additional sources of heat, in particular exhaust gases or engine cooling water, the removal of heat from which is not related to the placement of heat exchange units in the air or gas exhaust tracts and, therefore, does not lead to an additional increase in aerodynamic

resistance. On the basis of the above premises, the HUCS of supercharged air of ship LSEs was developed and analyzed.

Purpose: the use of low-boiling working bodies (LBB) in HUCS allows to cool the water of the intermediate water circuit of supercharged air cooling to low temperatures, close to 0°C , and without the need to maintain a vacuum in the evaporator of LBB-water coolers.

Results: a three-stage, three-circuit supercharged air cooling system is proposed, in which the presence of an intermediate stage of supercharged air cooling with water (regular air-cooler) allows to compensate for the deficit of high potential heat of air for EHUCS and, accordingly, cooling capacity, and therefore leads to a reduction of the surface of the air-cooler, primarily its economizer (tail, in the direction of the air) section, respectively, and the aerodynamic resistance, which is $P < 3000 \text{ Pa}$, that is, less than 1 % of the supercharged air pressure P_{κ} .

Conclusions: the presence of an intermediate degree of cooling of supercharged air with seawater makes the three-stage three-circuit cooling system practically independent of the temperature of the seawater, and in terms of the efficiency (depth) of air cooling it exceeds the two-stage three-circuit cooling system.

Key words: cooling system, supercharged air, ejector refrigerating machine, heat-using cooling systems.

Вступ. Як відомо, для більшості типів транспортних суден кількість теплової енергії, що виробляється в утилізаційному котлі (УК) на ходу судна, вже за температури зовнішнього повітря $t_{\text{зн}} = 0^{\circ}\text{C}$ перевищує загальносуднові потреби в ній, а при $t_{\text{зн}} = 25^{\circ}\text{C}$ – у 2,0...2,5 рази [1, 2].

Завдяки високим ККД сучасних турбокомпресорів (ТК) $\eta_{\text{ТК}} = 0,80 \dots 0,85$, потужність їх турбін перевищує потужність, необхідну для наддуву дизелів. Надлишкова енергія газів реалізується турбокомпаундними системами (ТКС), що передбачають застосування додаткової газової турбіни, яка встановлюється на байпасній лінії газів, що йдуть в обхід наддувного ТК [3, 4, 5]. Однак ефективність застосування ТКС знижується з підвищенням температур $t_{\text{зн}}$ і $t_{\text{зв}}$. Крім того, прийнятний термін окупності таких систем (5...10 років) можливий за великих потужностей МОД: 20...60 МВт і вище [3–7].

Схеми систем на базі ЕТСО, що утилізує теплоту надлишкової кількості відхідних газів для охолодження наддувного повітря, представлені на рис. 1. При цьому генератор ЕТСО встановлюють на байпасній лінії газів, що йдуть в обхід ТК, витрата газів через яку прямо пропорційна перевищенню потужності турбіни ТК над потужністю наддувного компресора і може становити 20...30 % загальної кількості газів після циліндрів двигуна [3, 4].

Так як температура газів на вході в генератор ТСО (після циліндрів ДВЗ) становить близько 400°C , то тепловий потенціал, що спрацьовується в ТСО, може виявитися досить значним, навіть з урахуванням того, що через байпасну лінію на генератор ТСО надходить близько 20...30 % від загальної кількості газів. Вищий температурний рівень випускних газів, байпасованих через ТК, забезпечує підвищені температурні напори в утилізаційних ТОА і, відповідно, менші їх габарити та аеродинамічний опір.

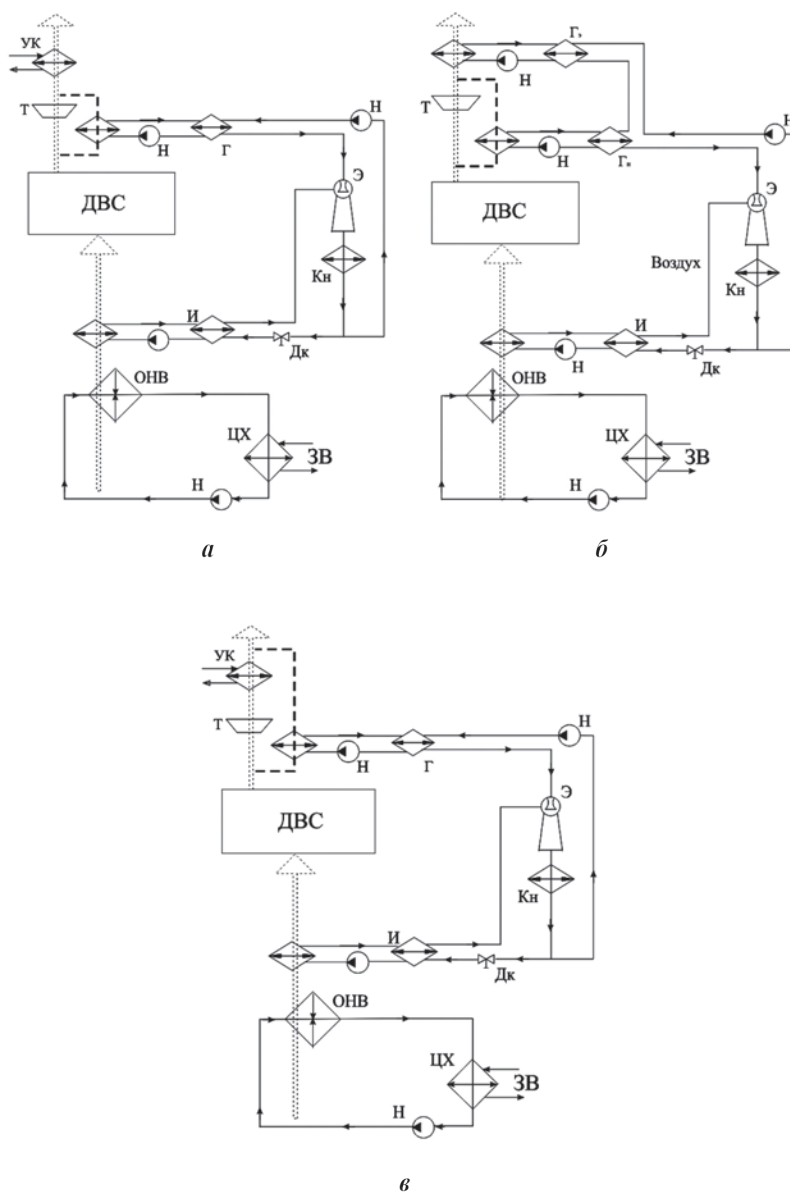


Рис. 1. Схеми систем охолодження наддувального повітря ДВЗ на базі ежекторної теплоутилізаційної установки охолодження наддувального повітря (ТУОНП), що використовує надмірну теплоту газів, при температурі газів на виході з генератора ТУОНП t_{22} : **а** – $t_{22} = 250^{\circ}\text{C}$ (генератор перед УК); **б** – $t_{22} = 250^{\circ}\text{C}$ (випарна секція генератора перед УК, економайзерна секція по УК); **в** – $t_{22} = 180^{\circ}\text{C}$ (генератор перед УК); Г – генератор; Γ_e та Γ_u – економайзерна та випарна секції генератора; ДВС – двигун внутрішнього згоряння; Дк – дросельний клапан; ЗВ – забортна вода; И – випарник-повітроохолоджувач; К – наддувний компресор; Кн – конденсатор; Н – насос; ОНВ – охолоджувач наддувального повітря водяний; Т – турбіна ТК; УК – утилізаційний котел; ЦХ – центральний холодильник; Э – ежектор

Перші дві схеми (рис. 1, а і б) представляють по суті аналог ТКС, в якій генератор ТСО (випарна секція генератора на рис. 1, б) встановлений на байпасній лінії замість додаткової газової турбіни (силової турбіни або турбогенератора) або підключений паралельно турбіні (на рисунку не показано). При цьому теплоперепад, що спрацьовується в генераторі ТСО, невеликий, оскільки обмежений різницею температур газів на вході та виході $t_{r1} - t_{r2} = 350 - 250 = 100^\circ\text{C}$, до того ж віднесеної до дуже малої витрати газів через байпас: близько 20 %. Очевидно, що більший ефект можна отримати при спрацюванні всього надлишкового теплового потенціалу, понад необхідної для приводу наддувного ТК кількості газів: $t_{r1} - t_{r2} = 350 - 150 = 200^\circ\text{C}$ (схема на рис. 1, в), де нижня температура газів обмежена необхідністю недопущення сірчистої корозії матеріалу економайзерних поверхонь генератора ТСО [4, 6].

Оскільки, з одного боку, від холодопродуктивності ЕТСО залежить глибина охолодження наддувного повітря, а, з іншого, охолодження наддувного повітря на вході в циліндри двигуна приводить до зниження температури t_{r1} газів на їх виході (на вході в газову турбіну турбокомпресора і байпасну лінію надлишку газів – понад необхідну його кількість для приводу наддувного ТК) і відповідне скорочення теплоперепад, що спрацьовується в генераторі ТСО на байпасній лінії, і, в кінцевому рахунку, холодопродуктивності ТСО, то при розрахунку зниження температури Δt_s наддувного повітря у випарнику ТСО необхідно враховувати взаємну залежність температури газів на виході з циліндрів двигуна – вході генератора ТСО на байпасній лінії газів t_{r1} від температури наддувного повітря, що охолоджується у випарнику ТСО перед входом у циліндри двигуна, Δt_s . На основі даних різних джерел і власних розрахунків [8–11] отримано для МОД фірми «MAN-B&W» співвідношення $\Delta t_{r1} = 0,95 \Delta t_s$. Це означає, що при підвищенні температури t_s наддувного повітря на вході в циліндри двигуна, наприклад на 20°C , температура газів після циліндрів збільшиться на 19°C , тобто практично на ту саму величину.

Так, якщо прийняти за специфікаційний режим роботу МОД при температурі $t_{zn} = 25^\circ\text{C}$, $t_{zb} = 25^\circ\text{C}$ та $t_{r1} = 180^\circ\text{C}$ (після УК) [1, 2], то при експлуатації двигуна при підвищеній температурі повітря на вході ТК, наприклад $t_{zn} = 45^\circ\text{C}$ (повітря у машинному відділенні) та охолоджуючої забортної води $t_{zb} = 35^\circ\text{C}$, з урахуванням зазначеної вище пропорції температура газів на виході МОД після УК становитиме $t_{r1} \approx 200^\circ\text{C}$.

У разі застосування ТСО з охолодженням у випарнику наддувного повітря на вході в циліндри двигуна на величину Δt_s значення температури газів на виході з циліндрів – вході генератора ТСО на байпасній лінії t_{r1} також стає нижче вихідної величини, наприклад $t_{r1} = 350^\circ\text{C}$, і знаходиться методом послідовних наближень з урахуванням зазначеної вище пропорції $\Delta t_{r1} = 0,95 \Delta t_s$ і холодопродуктивності ТСО q_0 , що залежить від теплового навантаження генератора q_g (теплоти, відведеної від газів у байпасній лінії, яка залежить від t_{r1}) та теплового коефіцієнта ζ : $q_0 = \zeta q_g$. Тепловий коефіцієнт ζ залежить від температур кипіння в генераторі t_p , кипіння у випарнику-повітроохолоджувачі t_0 і конденсації t_k .

Враховують також, що різниця температур наддувного повітря на виході з випарника ТСО (на вході в циліндри двигуна) Δt_s та киплячого у випарнику

НРТ t_0 обмежується інтенсивністю теплопередачі та для теплообмінників, в яких одним із теплоносіїв є газоподібне середовище (повітря) з низькою інтенсивністю тепловіддачі, не може бути менше $\Delta t_{\text{в}/0} = t_{\text{в}2} - t_0 = 10 \dots 15^\circ\text{C}$ (приймаємо 20°C).

Значення питомої теплоти, що припадає на одиничну витрату газів через байпасну лінію, і відведеної від газів q_r в генераторі ЕТСО і від наддувного повітря у випарнику ЕТСО після ОНП q_0 , зниження температури $\Delta t_{\text{в}}$ наддувного повітря, що припадає також на одиничну витрату відхідних газів, теплового коефіцієнта ЕТСО ζ в залежності від температури кипіння НРТ в генераторі t_r при температурах газів на вході генератора $t_{r1} = 350$ і 400°C і на його виході $t_{r2} = 160^\circ\text{C}$ представлені на рис. 2.

Температура газів після генератора $t_{r2} = 160^\circ\text{C}$ прийнята, виходячи з умови запобігання сірчистій корозії матеріалу економайзерних поверхонь генератора ТСО. Як НРТ застосований хладон R142b, температури конденсації $t_{\text{к}} = 35^\circ\text{C}$ та кипіння $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

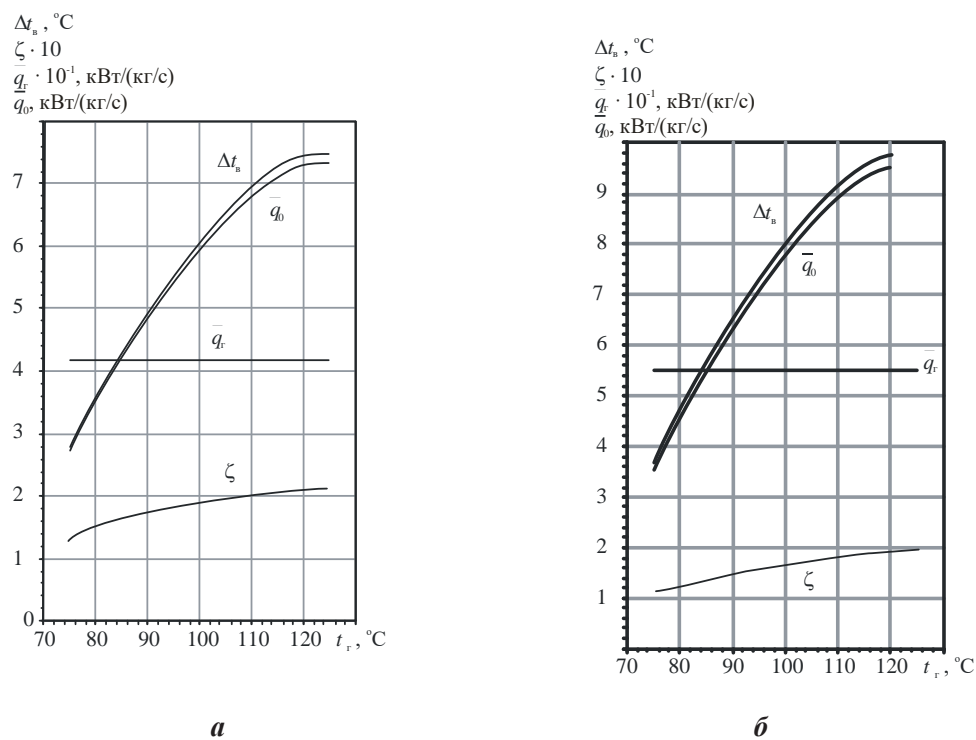


Рис. 2. Питомі значення, що припадають на одиничну витрату газів через байпасну лінію, теплового навантаження на випарник ежекторної ТСО q_0 (питома холодопродуктивність ТУОНП) і генератор q_r , а також зниження температури $\Delta t_{\text{в}}$ наддувного повітря, що припадає на одиничну витрату газів, в залежності від температури кипіння хладону R142b у генераторі t_r при температурах газів, що відходять, на вході генератора t_{r1} :
 $a - t_{r1} = 350^\circ\text{C}$; $b - t_{r1} = 400^\circ\text{C}$

Як видно, при незмінному питомому тепловому навантаженні на генератор ТСО, $\bar{q}_r = \text{const}$, уповільнення зростання теплового коефіцієнта ζ при підвищенні t_r від 80 до 120°C обумовлює аналогічний характер збільшення питомої холодопродуктивності ТСО і прямо пропорційному їй зниженню Δt_b – з досягненням максимуму за максимально допустимої температури $t_r = 120^\circ\text{C}$. При цьому зниження температури наддувного повітря у випарнику, віднесене до витрати газів через байпасну лінію, становить $\Delta t_b = 37\dots 48^\circ\text{C}$ відповідно при $t_{r1} = 350$ і 400°C . При цьому дійсна величина зниження температури наддувного повітря у випарнику – віднесеного до його витрати – вельми незначна: $\Delta t_b = 7\dots 8^\circ\text{C}$ при 20 % витраті газів через байпасну лінію (надлишок потужності ТК понад необхідну для наддуву) і $\Delta t_b = 12\dots 16^\circ\text{C}$ при 30 % витраті.

Щоб виявити резерви подальшого підвищення ефективності утилізації надлишкової теплоти газів суднових ДВЗ, проаналізуємо питому теплоту, необхідну для нагріву рідкого НРТ до температури кипіння t_r і його випаровування при температурі t_r в генераторі ТСО. Співвідношення питомих теплових навантажень економайзерної та випарної секцій генератора, тобто теплоти, необхідної для нагріву рідини та її випаровування, визначається співвідношенням питомих теплот фазового переходу НРТ при температурі кипіння t_r та теплоти нагріву конденсату НРТ, тобто параметрами робочого циклу ежекторної ТУОНП (t_r та t_k). Для нагрівання рідини в економайзері доцільно використовувати теплоту джерела з нижчою температурою, ніж її випаровування. Результати такого аналізу для вищевказаних параметрів ТСО представлені на рис. 3.

Як видно, при максимальних питомій холодопродуктивності та зниженні температури Δt_b наддувного повітря у випарнику питомі теплові навантаження на обидві секції \bar{q}_r та \bar{q}_r «практично однакові. Це означає, що при різниці температур газів на вході та виході з генератора $t_{r1} - t_{r2} = 350 - 150 = 200^\circ\text{C}$ її половина спрацьовується в низькотемпературній економайзерній секції, тобто від 250°C на вході до 150°C на виході з неї. Доцільно було б весь температурний діапазон $t_{r1} - t_{r2} = 350 - 150 = 200^\circ\text{C}$ спрацьовувати у високотемпературній випарній секції, а в низькотемпературній економайзерній секції – теплоту нижчого температурного рівня. Такий перерозподіл можливий шляхом збільшення витрати газів через економайзерну секцію, наприклад, в 4 рази, скоротивши в стільки ж разів діапазон температур газів, що спрацьовується в ній. А в економайзерну секцію слід подавати сумарну витрату газів, що перевищує витрату через випарну секцію на байпасній лінії якраз в 4–5 разів (при цьому частка байпасованих газів відповідно 25...20 %).

При частці байпасованих газів (20%) і п'ятикратному збільшенні витрати газів через економайзерну секцію проти випарної секції за допомогою теплового потенціалу газів після УК, тобто різниці температур газів після УК $t_{r,c1} - t_{r,c2} = 180 - 150 = 30^\circ\text{C}$, рівнозначної різниці температур $30 \cdot 5 = 150^\circ\text{C}$, віднесеної до витрати газів через байпасну лінію, достатньо для покриття необхідного навантаження економайзерної на 75 % при $t_r = 120^\circ\text{C}$ і всієї потреби при $t_r = 110^\circ\text{C}$, коли \bar{q}_r менше \bar{q}_r » (див. рис. 3). Відповідне схемне рішення ТСО наведено на рис. 4.

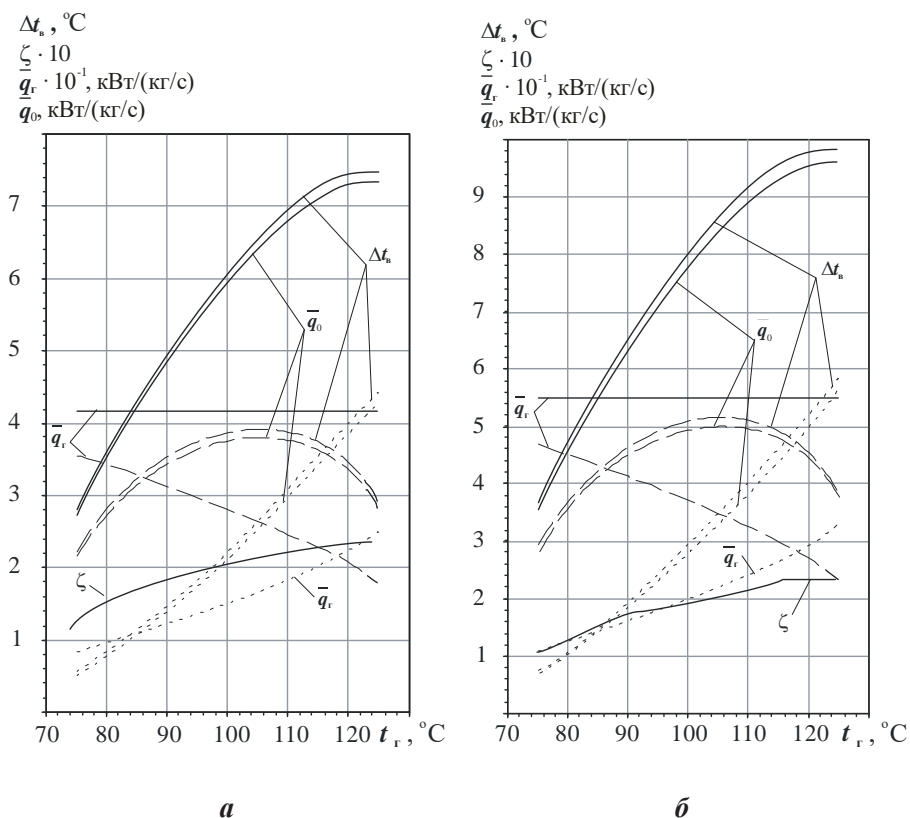
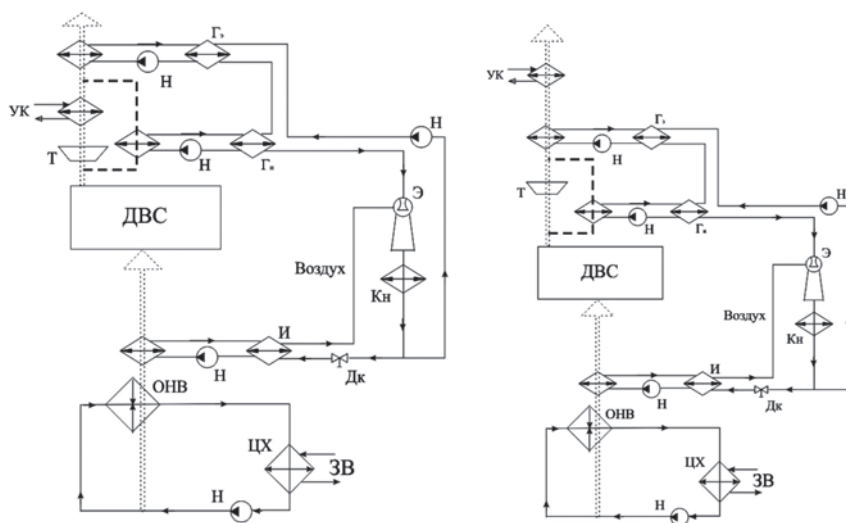


Рис. 3. Питомі значення, що припадають на одиничну витрату газів через байпасну лінію, теплового навантаження на випарник ежекторної ТСО \bar{q}_0 (питома холодопродуктивність ТСО) і генератор \bar{q}_r , а також зниження температури Δt_n наддувного повітря, теплового коефіцієнта ζ , що припадає на одиничну витрату газів, в залежності від температури кипіння хладону R142b в генераторі t_g при температурах газів, що відходять, на вході t_{21} : а – $t_{21} = 350^\circ\text{C}$; б – $t_{21} = 400^\circ\text{C}$;
 — — за рахунок відведення теплоти генератором в цілому, \bar{q}_r та \bar{q}_0 ;
 - - - - випарною секцією, \bar{q}_r « та \bar{q}_0 «; ······ – економайзерною секцією, \bar{q}_r' та \bar{q}_0'

Винесення економайзерної секції генератора ЕТСО з газовипускного тракту МОД на наддувне повітря після ТК доцільно ще й тому, що саме в економайзерній секції відбувається зниження температури газів до рівня, вкрай небажаного через небезпеку сірчистої корозії, що суттєво обмежує ефективність застосування ТСО.

Таким чином, комплексна утилізація теплоти газів після ТК і газів байпасної лінії в обхід ТК для охолодження наддувного повітря МОД ежекторними ТСО забезпечує практично подвійне зниження температури наддувного повітря ДВЗ на величину $\Delta t_B = 30 \dots 35^\circ\text{C}$ порівняно з використанням теплоти газів байпасної лінії в обхід ТК ($\Delta t_B = 15 \dots 20^\circ\text{C}$). Це пояснюється тим, що витрата газів через байпасну лінію становить 15...20 % загальної їх витрати.

Холод, що виробляється в ежекторній ТСО, може бути використаний для зниження температури прісної води після центрального охолоджувача на вході в охолоджувач наддувного повітря, як показано на рис. 6.



а **б**

Рис. 4. Схеми систем охолодження наддувного повітря ДВЗ на базі ежекторної ТУОНП з випарною секцією генератора на байпасній лінії газів при температурі газів на вході економайзерної секції $t_{\text{гел}}$: а – $t_{\text{гел}} = 180^{\circ}\text{C}$ (економайзерна секція після УК); б – $t_{\text{гел}} = 250^{\circ}\text{C}$ (економайзерна секція після турбіни ТК) (позначення елементів такі ж, як і на рис. 1)

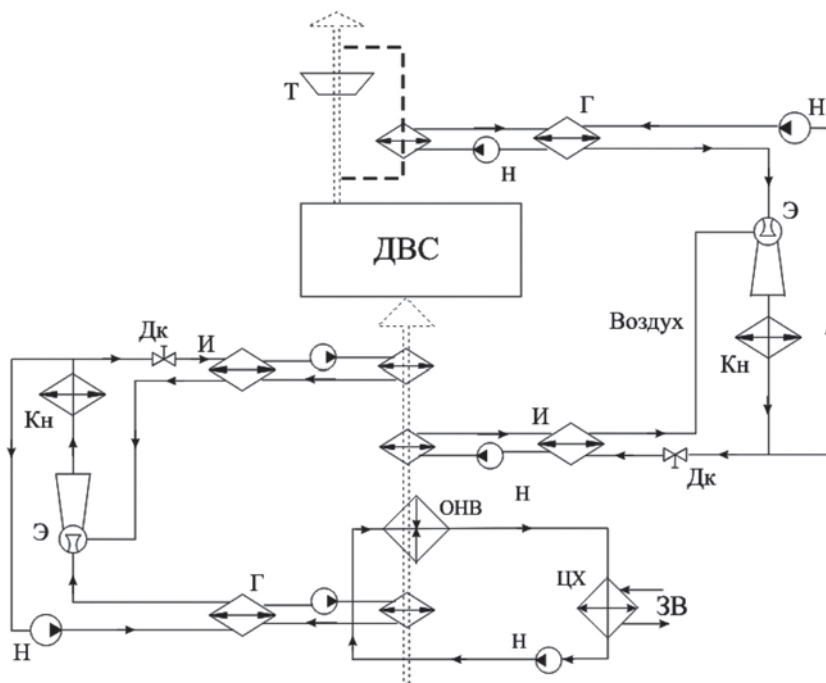


Рис. 5. Схема системи охолодження наддувного повітря МОД на базі ETCO, що використовує надмірну теплоту газів, що йдуть в обхід ТК і газів після ТК (позначення елементів такі ж, як і на рис. 1)

Очевидно, що найбільше зниження температури наддувного повітря можна отримати в результаті комплексної утилізації теплоти газів і наддувного повітря (рис. 5).

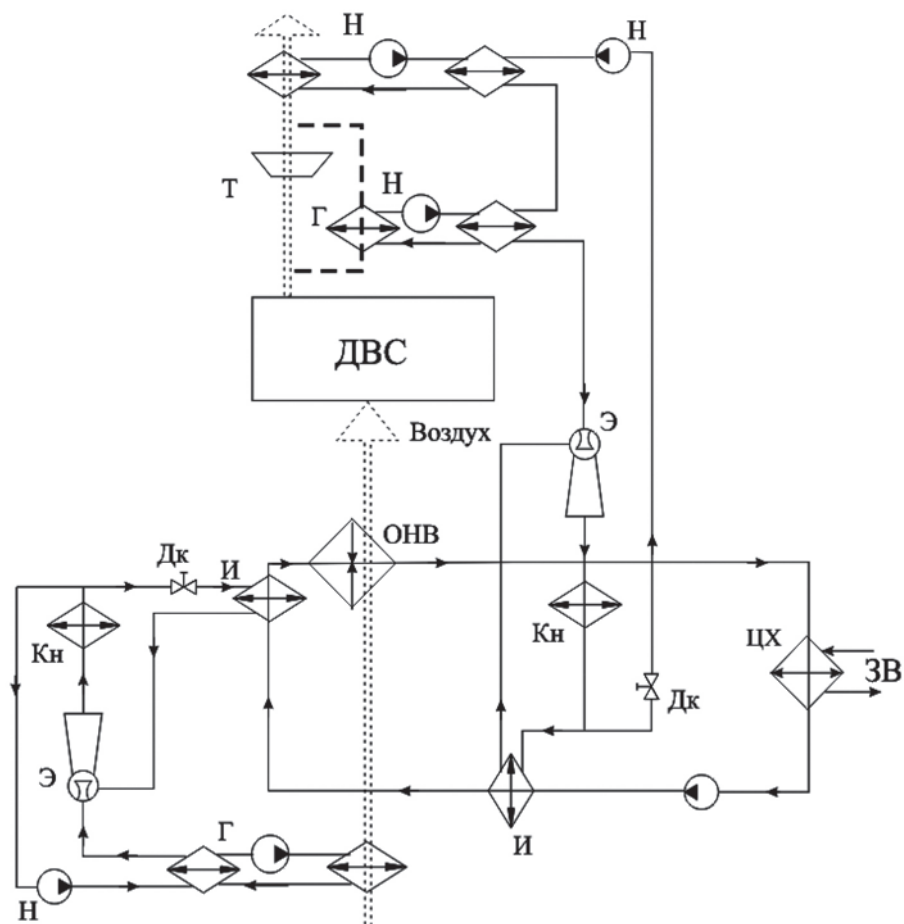


Рис. 6. Схема системи охолодження наддувного повітря МОД на базі ЕТСО, що використовує надмірну теплоту газів, що йдуть в обхід ТК і газів після ТК (позначення елементів такі ж, як і на рис. 1)

Висновки. Встановлено, що внаслідок однакових теплових навантажень на випарну та економайзерну секції генератора парів НРТ, що властиво ЕТСО, як показник реалізації теплового потенціалу наддувного повітря тепловикористовуючим контуром ЕТСО може служити його температура після високотемпературної секції охолоджувача наддувного повітря. Так, високі температури наддувного повітря після відведення від нього теплоти в високотемпературній секції охолоджувача наддувного повітря (ОНПвт), $t_{в2} = 90 \dots 100^\circ\text{C}$, що свідчать про нереалізований його тепловий потенціал в області низьких температур $t_{в}$ (надлишок низькопотенційної теплоти), вказують на недостатньо високий тепловий потенціал наддувного повітря температур – недостатньо високу температуру наддувного повітря $t_{в1} = 180^\circ\text{C}$ на вході ОНПвт (після ТК). Тоді як низькі температури наддувного повітря після

ОНПвт, $t_{b2} = 40 \dots 50^\circ\text{C}$ і нижче, свідчать, навпаки, про дефіцит низькопотенційної теплоти та використання у випарній секції генератора всієї високопотенційної теплоти наддувного повітря з температурою вище температури кипіння НРТ в випарній секції генератора: $t_b \geq t_r + (10 \dots 20)^\circ\text{C}$, де $10 \dots 20^\circ\text{C}$ – різниця температур повітря, що охолоджується, і охолодної прісної води.

Тому як додаткове джерело теплоти у першому випадку доцільно задіяти випускні гази МОД, а у другому – воду високотемпературного контуру охолодження двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 356 с.
2. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : Серія підручників у 6 т. Т. 1 : Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. Харків : Прапор, 2004. 384 с. <https://drive.google.com/file/d/1ajeDnd27OrjwOFSGfueeMG99F8MIpsNC/view?usp=sharing>
3. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation. MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark, 2005. 15 p.
4. Thermo Efficiency System (TES) for Reduction of Fuel Consumption and CO₂ Emission. MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark, 2005. 12 p.
5. Heim K. Existing and Future Demands on the Turbocharging of Modern Large Two-stroke Diesel Engines. *8th Supercharging Conference*. 1–2 October 2002, Dresden. 18 p. https://curva.ihmc.us/rid=1159369410256_196298947_809/Sulzer_Turbocharging_00.pdf
6. Shiraishi K., Ono Y. Hybrid Turbocharger with Integrated High Speed Motor-generator. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.: Technical Review*. 2007. Vol. 44. No. 1 (Mar.). 3 p. <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e441/e441049.pdf>
7. Ibaraki S., Yamashita Y., Sumida K., Ogita H., Jinnai Y. Development of the «hybrid turbo», an electrically assisted turbocharger. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.: Technical Review*. 2006. Vol. 43. No. 3 (Sep.). 5 p. <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e433/e433036.pdf>
8. Radchenko R., Kornienko V., Radchenko M., Mikielwicz D., Andreev A., Kalinichenko I. Cooling Intake Air of Marine Engine with Water-fuel Emulsion Combustion by Ejector Chiller. *V International Scientific and Technical Conference Modern Power Systems and Units (MPSU 2021)*. Kraków, Poland, May 19-21, 2021. – M. Rerak and M. Majdak (Eds.). – Published online: 10 November 2021. – 5 p. E3S Web of Conferences. Volume 323 (2021) 00031: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300031>
9. Pyrysunko M., Radchenko A., Tkachenko V., Zubarev A., Andreev A. Marine Diesel Engine Inlet Air Cooling by Ejector Chiller on the Vessel Route Line. In: *Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE*

2022. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2022. Pp. 259–268. (Scopus) https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_25
10. Андреев А.А., Коновалов Д.В., Радченко М.І. Основні положення математичної моделі теплообмінників тепловикористовуючої системи охолодження наддувного повітря суднових малооборотових дизелів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2011. Вип. 39 (1). С. 68–73. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2011_39\(1\)_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2011_39(1)_17)
11. Андреев А.А. Визначення раціональних параметрів проміжного охолодження наддувного повітря суднових ДВЗ. *Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців*. Миколаїв: НУК, 2007. С. 143–146.

REFERENCES

1. Artemov, G.A., Gorbov, V.M. (2002) Ship Power Plants. [Sudnovi enerhetychni ustanovky]. Mykolaiv: UDMTU, 356 p. [in Ukrainian].
2. Marchenko, A.P., Ryazantsev, M.K., Shekhovtsov, A.F. (2004) Internal Combustion Engines [Dvyhuny vnutrishn'oho z'horyannya]: A series of textbooks in 6 volumes. Volume 1: Development of Structures of Forced-Air Engines of Ground Transport Vehicles [Rozrobka konstruktsiy forsovanykh dvyhuniv nazemnykh transportnykh mashyn]. Kharkiv: Prapor, 384 p. [in Ukrainian]. <https://drive.google.com/file/d/1ajeDnd27OrjwOFSGfueeMG99F8MIpsNC/view?usp=sharing>
3. (2005) Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation. MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark, 15 p.
4. (2005) Thermo Efficiency System (TES) for Reduction of Fuel Consumption and CO₂ Emission. MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark, 12 p.
5. Heim, K. (2002) Existing and Future Demands on the Turbocharging of Modern Large Two-stroke Diesel Engines. *8th Supercharging Conference*. 1–2 October 2002, Dresden, 18 p. https://cursa.ihmc.us/rid=1159369410256_196298947_809/Sulzer_Turbocharging_00.pdf
6. Shiraishi, K., Ono, Y. (2007) Hybrid Turbocharger with Integrated High Speed Motor-generator. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.: Technical Review*, Vol. 44, No. 1 (Mar.), 3 p. <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e441/e441049.pdf>
7. Ibaraki, S., Yamashita, Y., Sumida, K., Ogita, H., Jinnai, Y. (2006) Development of the «hybrid turbo», an electrically assisted turbocharger. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.: Technical Review*, Vol. 43, No. 3 (Sep.), 5 p. <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e433/e433036.pdf>
8. Radchenko, R., Kornienko, V., Radchenko, M., Mikielawic, D., Andreev, A., Kalinichenko, I. (2021) Cooling Intake Air of Marine Engine with Water-fuel Emulsion Combustion by Ejector Chiller. *V International Scientific and Technical Conference Modern Power Systems and Units (MPSU 2021)*. Kraków, Poland, May 19-21, 2021. – M. Rerak and M. Majdak (Eds.). – Published online: 10 November 2021, 5 p. E3S

- Web of Conferences. Volume 323 (2021) 00031: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300031>
9. Pyrysunko, M., Radchenko, A., Tkachenko, V., Zubarev, A., Andreev, A. (2022) Marine Diesel Engine Inlet Air Cooling by Ejector Chiller on the Vessel Route Line. In: *Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, 259–268. (Scopus) https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_25
 10. Andreev, A.A., Konovalov, D.V., Radchenko, M.I. (2011) The Main Provisions of the Mathematical Model of the Heat Exchangers of the Heat-using System of Cooling the Supercharged Air of Marine Low-speed Diesel Engines [Osnovni polozhennya matematychnoyi modeli teploobminnykiv teplovykorystovuyuchoyi systemy okholodzhennya nadduvnoho povitrya sudnovykh maloobertovykh dyzeliv]. *Scientific works of the Odessa National Academy of Food Technologies*, Issue 39 (1), 68–73. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2011_39\(1\)_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2011_39(1)_17)
 11. Andreev, A.A. (2007) Determination of Rational Parameters of Intermediate Cooling of Charge Air of Marine Internal Combustion Engines [Vyznachennya ratsional'nykh parametriv promizhnoho okholodzhennya nadduvnoho povitrya sudnovykh DVZ]. *Ship Power Engineering: State and Problems: Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates, Scientists and Specialists*, Mykolaiv: NUK, 143-146. [in Ukrainian].

**ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ТА ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ
УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
ВАНТАЖНИХ СУДЕН**

А.І. Головань

к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

Анотація

Судноплавство є ключовим сектором економіки України, відіграючи важливу роль у розвитку міжнародної торгівлі та забезпеченні ефективного руху товарів. Однак, галузь судноплавства зіштовхується з рядом викликів, таких як збільшення конкуренції, регуляторних обмежень та високих вимог до безпеки та екологічної сталості. Один з основних аспектів, який впливає на продуктивність вантажних суден, полягає в ефективності систем технічного обслуговування та експлуатації. У статті розглянуто перспективні напрямки вдосконалення управління системою технічного обслуговування вантажних суден з метою підвищення ефективності експлуатації флоту, забезпечення безпеки судноплавства та досягнення сталого розвитку судноплавних компаній. Проведений аналіз вказує на те що однією з ключових і досі невирішених проблем є управління системами технічного обслуговування суден, зокрема вантажних суден. **Метою** статті є огляд досвіду та перспектив у розробці та впровадженні ефективних стратегій управління системами технічного обслуговування вантажних суден, враховуючи особливості галузі та сучасні науково-технічні досягнення. **Результати.** Досліджено загальні методики управління процесами технічного обслуговування та розглянуто інтелектуально консультативні системи, які дозволять судноплавним компаніям оптимізувати свої ресурси та досягти конкурентних переваг на світовому ринку перевезень. **Висновки.** Для успішного розвитку судноплавної галузі в Україні потрібно забезпечити гармонійне співіснування технологій, науки, освіти та державної підтримки. Це сприятиме досягненню сталого розвитку сфери водного транспорту та зміцненню позицій українського судноплавства на світовому ринку перевезень. Застосування науково-обґрунтованих підходів до аналізу систем технічного обслуговування та технічної експлуатації вантажних суден може допомогти виявити причини зниження ефективності флоту, а також розробити ефективні стратегії для їх подолання. Таким чином, інтеграція наукових методів у практику управління системами технічного обслуговування вантажних суден може сприяти підвищенню як рівня безпеки судноплавства так і ефективності морського транспорту та сталому розвитку судноплавних компаній.

Ключові слова: технічне обслуговування, вантажні судна, морський транспорт, безпека судноплавства, інтелектуально консультативні системи.

**PROSPECTIVE DIRECTIONS AND INNOVATIVE APPROACHES
TO MANAGING THE CARGO VESSEL MAINTENANCE SYSTEM**

A.I. Golovan

Ph.D (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

Summary

*Shipping is a key sector of Ukraine's economy, playing an important role in the development of international trade and ensuring the efficient movement of goods. However, the shipping industry is facing a number of challenges, such as increased competition, regulatory restrictions, and high demands on safety and environmental sustainability. One of the main aspects that affects the performance of cargo ships is the efficiency of maintenance and operation systems. The article discusses promising areas for improving the management of the cargo ship maintenance system to increase the efficiency of fleet operation, ensure safety of navigation and achieve sustainable development of shipping companies. The analysis shows that one of the major and still unresolved issues is the management of ship maintenance systems, in particular, cargo ships. **The purpose** of the article is to review the experience and prospects in developing and implementing effective strategies for managing cargo ship maintenance systems, considering the specifics of the industry and modern scientific and technological achievements. **Results.** The general methods of managing maintenance processes are investigated and intelligent advisory systems are considered that will allow shipping companies to optimize their resources and achieve competitive advantages in the global transportation market. **Conclusions.** To ensure the successful development of the shipping industry in Ukraine, it is necessary to ensure the harmonious coexistence of technology, science, education, and government support. This will contribute to the sustainable development of water transport and strengthen the position of Ukrainian shipping in the global transportation market. The application of science-based approaches to the analysis of cargo ship maintenance and technical operation systems can help identify the causes of the decline in fleet efficiency and develop effective strategies to overcome them. Thus, the integration of scientific methods into the practice of managing cargo ship maintenance systems can contribute to the improvement of both the level of shipping safety and maritime transport efficiency and the sustainable development of shipping companies.*

Key words: maintenance, cargo ships, maritime transport, navigation safety, intelligent advisory systems.

Вступ. Судноплавство є ключовим сектором економіки України, відіграючи важливу роль у розвитку міжнародної торгівлі та забезпеченні ефективного руху товарів. Однак, галузь судноплавства зіштовхується з рядом викликів, таких як збільшення конкуренції, регуляторних обмежень та високих вимог до безпеки та екологічної сталості. Один з основних аспектів, який впливає на продуктивність вантажних суден, полягає в ефективності систем технічного обслуговування та експлуатації. У даній статті розглянуто перспективні напрямки вдосконалення управління системою технічного обслуговування вантажних суден з метою

підвищення ефективності експлуатації флоту, забезпечення безпеки судноплавства та досягнення сталого розвитку судноплавних компаній.

Постановка проблеми. Дослідження стану технічного обслуговування вантажних суден торговельного флоту, оцінка загальних показників ефективності систем технічного обслуговування таких суден, а також аналіз сучасних методів управління цими системами виявили, що у багатьох випадках управління системами технічного обслуговування, як для флоту однотипних суден, так і для окремо взятих суден, здійснюється виключно на основі економічних міркувань у контексті технічної експлуатації морських транспортних засобів. Такий підхід не дозволяє в достатній мірі визначити причини зниження ефективності використання флоту вантажних суден, а також потенціал для підвищення продуктивності в судноплавній компанії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стаття включає дослідження сучасних тенденцій, методів та технологій, які застосовуються в галузі технічного обслуговування вантажних суден, а також аналіз стану питання з оцінки і управління ефективністю систем технічного обслуговування [1-12]. Узагальнено основні етапи розвитку систем технічного обслуговування та класифікацію показників ефективності, що застосовуються на сучасному етапі, а також розглянуто підходи до узгодження основних показників ефективності та вибору раціональної повноти контролю технічного стану функціональних систем вантажних суден. Проведений аналіз вказує на те що однією з ключових і досі невирішених проблем є управління системами технічного обслуговування суден, зокрема вантажних суден.

Формулювання цілей статті. Метою статті є огляд досвіду та перспектив у розробці та впровадженні ефективних стратегій управління системами технічного обслуговування вантажних суден, враховуючи особливості галузі та сучасні науково-технічні досягнення. Особлива увага приділяється пошуку загальної методики управління процесами технічного обслуговування та створенню інтелектуально консультативних систем, які дозволять судноплавним компаніям оптимізувати свої ресурси та досягти конкурентних переваг на світовому ринку перевезень.

Виклад основного матеріалу.

Складна економічна ситуація, яка склалася в Україні, а також відсутність відповідних методологій та інструментів для розрахунку та аналізу показників ефективності систем технічного обслуговування, часто призводить до прийняття рішень про поліпшення ситуації в судноплавній компанії на основі невмотивованої зміни параметрів систем технічного обслуговування суден. Цей підхід може бути пояснений, якщо розглянути загальну схему взаємозв'язків завдань, які розв'язуються в судноплавній компанії (рис. 1).

Залежність рішення деяких завдань від даних, отриманих при вирішенні інших завдань, які здаються недостатньо пов'язаними між собою, призводить до того, що на практиці оцінюється та аналізується саме технічна експлуатація морських транспортних засобів, і відповідно до цього формуються показники ефективності саме технічної експлуатації [1, 2]. Однак, аналіз такої важливої складової, як системи технічного обслуговування морських транспортних засобів, часто залишається поза увагою.

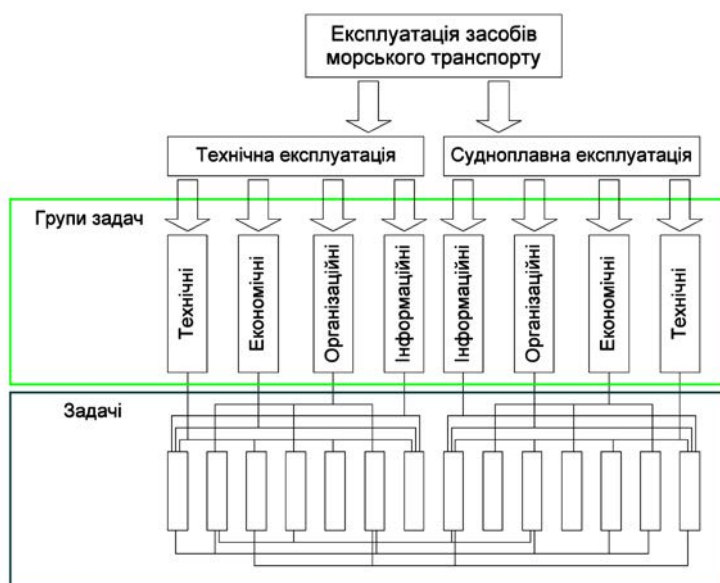


Рис. 1. Схема взаємозв'язків між виробничими задачами, пов'язаними з експлуатацією вантажних суден

Для оптимізації підходів до управління системами технічного обслуговування вантажних суден, необхідно розробити відповідні методики та інструменти, які дозволять проводити комплексний аналіз різних аспектів судноплавної діяльності, зокрема систем технічного обслуговування. Це може сприяти виявленню потенційних проблем та резервів для підвищення ефективності використання флоту вантажних суден та забезпечення сталого розвитку судноплавних компаній [3].

Відповідно до світового досвіду, успішна експлуатація вантажних суден вимагає ретельного аналізу інформації про стан систем технічного обслуговування та їх складових. На основі такого аналізу можна розробляти обґрунтовані висновки для впровадження відповідних заходів та контролю за їх виконанням у виробництві. Вирішити цю проблему без використання сучасних інформаційних технологій неможливо [4].

Спроби автоматизації збору, обробки та аналізу статистичних даних, накопичених в процесі експлуатації, почалися ще у 1960-х роках ХХ століття. Обчислювальна техніка, методики та алгоритми обробки інформації поступово вдосконалювались та ставали все більш доступними [5].

На початковому етапі використовувалась централізована модель обробки даних на основі мейнфреймів, які переважали до середини 1980-х років ХХ століття. Протягом кількох років ця модель поступила позиціями на користь розподіленої архітектури однорангових мереж персональних комп'ютерів (ПК). Однак, згодом спостерігалася тенденція до знову централізації ресурсів системи, і сьогодні у центрі уваги перебуває технологія клієнт/сервер на базі Інтернет-технологій, які ефективно поєднують переваги своїх попередників. Процес еволюції цих інформаційних систем (ІС) можна розглянути у вигляді послідовності чотирьох етапів [6].

В результаті цих етапів еволюції ІС, сучасні підходи до обробки та аналізу інформації включають інтеграцію великих обсягів даних з різних джерел, застосування штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації процесів, застосування цифрових двійників для оптимізації систем технічного обслуговування, а також розвиток спеціалізованих інформаційних систем для різних галузей, включаючи технічну експлуатацію флоту суден.

Доступність сучасної комп'ютерної техніки, її порівняно низька вартість, виникнення ефективних систем програмування, які дозволяють обмеженим колективам розробників у короткий час розробляти складні прикладні програми, призвели до появи значної кількості продуктів, які здебільшого реалізовані у формі так званих автоматизованих робочих місць, спрямованих на підтримку різноманітних процесів експлуатації засобів водного транспорту [7]. Однак впровадженням подібних систем не вдалося вирішити ключові проблеми технології обміну інформацією як між підрозділами судноплавних компаній, так і між судноплавними компаніями, адміністрацією судноплавства та підприємствами морської промисловості [8]. До них, в першу чергу, слід віднести: відсутність стандартизації; недостатній рівень інтеграції; необхідність постійного оновлення даних; відсутність єдиної методології; обмеження доступу до відповідних джерел інформації; відсутність чіткої системи оцінки ризиків; недостатній рівень координації дій; неадекватне забезпечення конфіденційності даних; низька оперативність; відсутність комплексних даних; відсутність доступу до інформації; непередбачуваність оперативного контролю; використання текстового формату представлення інформації.

У зв'язку з вище наведеними проблемами, є важливим проведення наукових досліджень, спрямованих на розробку нових методів та технологій обробки, передачі та аналізу інформації у сфері водного транспорту, розробка стандартів та протоколів обміну даними, а також вдосконалення системи оцінки ризиків та координації дій між різними суб'єктами судноплавства [9].

Стан розвитку сфери водного транспорту в Україні характеризується складними проблемами та викликами. Однією з перешкод є активне введення в експлуатацію суден іноземного виробництва, що призводить до зниження інтересу національних судноплавних компаній до впровадження наукових розробок українських науково-дослідних центрів. Судноплавні компанії сподіваються, що програмні комплекси, які є складовими частинами сучасних суден, дозволять комплексно вирішити майбутні завдання.

Крім того, керівництво судноплавних компаній не розуміє необхідності постійного фінансування вдосконалення розроблених програмних комплексів. Для цього потрібно було б об'єднання зусиль усіх українських судноплавних компаній. На сучасному етапі розвитку українських судноплавних компаній необхідно впровадження корпоративних інформаційних систем, які включали б декілька інтелектуальних консультативних систем (ІКС) для різних аспектів діяльності, таких як судноплавна експлуатація, технічне обслуговування, маркетинг, менеджмент та інше.

Перехід від назви «автоматизовані системи управління» до «інтелектуальні консультативні системи» не є лише зміною аббревіатури, але відображає досвід, накопичений протягом попередніх років. Це також відображає особливості

виробничих процесів у судноплавних компаніях, методів та підходів до створення інформаційних мереж, баз даних та спеціалізованого програмного забезпечення.

Сприйняття впровадження корпоративних інформаційних систем та ІКС у судноплавних компаніях як інтегральної частини їх діяльності може привести до покращення ефективності, якості управління та координації дій між різними підрозділами і сторонніми організаціями. Окрім того, це допоможе виявити та вирішити проблеми, пов'язані з низькою оперативністю системи, а також забезпечити більш надійну та систематичну обробку інформації для наступного статистичного аналізу.

Суттєвим аспектом корпоративних інформаційних систем для судноплавних компаній є необхідність інтеграції з Глобальною мережею аналізу та інформації (GAIN - Global Analysis and Information Network). Великі та провідні судноплавні компанії, які вже використовують GAIN у своїй діяльності, включають [10]: Maersk Line, MSC, China COSCO Shipping, CMA CGM, Hapag-Lloyd, ONE, Evergreen, HMM, Yang Ming, ZIM.

Ці компанії розуміють важливість взаємодії та обміну інформацією в межах глобальної мережі для забезпечення ефективності та конкурентоспроможності своїх операцій.

Корпоративні інформаційні системи не можна розглядати як просте об'єднання автоматизованих систем управління виробництвом відокремлених судноплавних компаній. Інформаційні системи такого роду характеризуються значною складністю в організаційному, технічному та програмному забезпеченні. Внаслідок цього, процес розробки та впровадження зазначених систем вимагає спільних зусиль науковців, що працюють над розробкою відповідних методологій та методів, а також активної співпраці провідних спеціалістів у галузях інформаційних технологій, економіки та, вкрай важливо, правових аспектів.

Аналіз існуючих автоматизованих систем управління виробництвом судноплавних компаній України, на базі яких мають бути сформовані корпоративні інформаційні системи, виявив, що однією з ключових і досі нереалізованих задач є управління системами технічного обслуговування суден, зокрема вантажних суден.

Управління системами технічного обслуговування вантажних суден має бути реалізоване у форматі ІКС для технічного обслуговування суден як інтегрованої складової корпоративних інформаційних систем судноплавних компаній. Така система повинна використовувати набутий досвід в цій області [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] для забезпечення оптимального та ефективного управління процесами технічного обслуговування засобів морського транспорту.

Однією з відмінних характеристик ІКС в судноплаванні є ієрархічна структура, де централізована обробка та єдине керування ресурсами на верхньому рівні комбінуються з розподіленою обробкою на нижньому рівні. Цей підхід є синтезом перевірених рішень у системах попередніх поколінь.

Така організація ІКС в судноплаванні представляє собою компроміс між прагненням використовувати переваги графічного інтерфейсу програмного забезпечення та вимогами щодо максимальної доступності даних для всіх користувачів системи. Водночас, такий підхід сприяє підвищенню швидкості обробки, спрощенню адміністрування та зниженню експлуатаційних витрат.

Цей науково-обґрунтований підхід до розробки та реалізації ІКС в судноплавних компаніях дозволяє досягти оптимального балансу між ефективністю управління ресурсами, доступністю інформації та зручністю використання системи для всіх зацікавлених сторін.

ІКС з технічного обслуговування вантажних суден, яка пропонується і впроваджується, має наступні ключові характеристики: повне використання потенціалу ПК; модульна побудова системи; економія ресурсів системи; наявність ефективних централізованих засобів; об'єднання корпоративних інформаційних систем.

Використання ІКС у сфері технічного обслуговування вантажних суден базується на розв'язанні експлуатаційних задач, які оптимально вирішуються на основі планування економічного експерименту та статистичної обробки обмежених обсягів даних. Це сприяє одержанню оцінок, хоча й неповних, але із чітко визначеними межами похибок. Відповідно, науковий підхід до реалізації ІКС забезпечує більш ефективне управління технічним обслуговуванням вантажних суден.

При розробці методичного забезпечення для ІКС з технічного обслуговування вантажних суден, важливо враховувати їх відмінність від інших технічних об'єктів. Однією з основних особливостей судноплавних транспортних засобів є те, що значна кількість відмов виявляється, але не усувається в процесі експлуатації суден. Ця характеристика морських транспортних засобів суттєво змінює умови рішення задач технічного обслуговування вантажних суден, різко відрізняючи їх від умов рішення аналогічних задач для технічних виробів, що працюють безперебійно.

Класичним прикладом таких виробів є наземні енергетичні комплекси, у яких відпрацьовані рішення багатьох експлуатаційних задач, що вирішуються у рамках загальної теорії надійності складних систем. Відтак, при формулюванні задач експлуатації вантажних суден варто також розглядати ергономічні аспекти. З огляду на численність виконавців робіт та колективів людей, які займаються підготовкою вантажних суден до плавання і технічним обслуговуванням в процесі плавання, організації їхньої роботи слід приділяти особливу увагу. Таким чином, науковий підхід до створення методичного забезпечення для ІКС з технічного обслуговування вантажних суден дозволяє досягти більш оптимальних результатів у галузі судноплавства.

Однією з ключових передумов для рішення завдань технічного обслуговування вантажних суден є припущення про недостатність початкової інформації, яка не лише обмежує можливість вирішення задачі в детермінованій постановці, але й ускладнює формулювання імовірнісної задачі. В ІКС, пов'язаних з технічним обслуговуванням суден, слід використовувати статистичні оцінки параметрів систем на основі обмеженого обсягу вхідних даних, а також застосовувати цифрові двійники для детального моделювання та аналізу судових систем [14].

Статистичні оцінки параметрів моделей, що використовуються в ІКС, повинні отримуватися з даних про попередню експлуатацію суден. Протягом усього періоду експлуатації параметри моделі мають зазнавати уточнень, оскільки судноплавні об'єкти регулярно модернізуються, а персонал, що експлуатує їх, постійно вдосконалює свої навички. Уточнення параметрів моделей для рішення завдань технічного обслуговування має базуватися на неперервному зборі відповідних даних та їхньому систематичному аналізі, а також на використанні цифрових двійників для детального моделювання та оптимізації судових систем [20].

Такий науковий підхід до розробки та впровадження ІКС для технічного обслуговування вантажних суден забезпечує адекватне оцінювання та контроль стану технічних систем суден, а також підвищує ефективність експлуатації та безпеку плавання.

Алгоритми, реалізовані в ІКС [19], пов'язані з технічним обслуговуванням суден, повинні надавати рекомендації щодо часу наступного технічного обслуговування, його програми, наявних ресурсів судна в цілому та окремих його агрегатів і вузлів, дані для забезпечення суден запасними частинами, інструментами та іншим обладнанням, а також рекомендації (у вигляді, наприклад, технологічних графіків) з організації роботи технічного персоналу на судні.

Сукупність характеристик, які відображають ефективність системи технічного обслуговування суден, як було показано, є ієрархічною системою. Вона включає основні характеристики, що займають вищий ієрархічний рівень, оскільки вони визначають кінцеві результати застосування судна за призначенням, та характеристики підпорядкованих рівнів, що забезпечують основні характеристики.

Оцінку характеристик підпорядкованих рівнів у системі технічного обслуговування суден також проводять за числовими показниками. Їхня номенклатура значно ширша. Зазначені показники оцінки основних характеристик розраховують за показниками характеристик підпорядкованого рівня. Вибір і оцінка показників усіх характеристик, які визначають ефективність систем технічного обслуговування суден, повинна базуватись на аналізі оптимальної моделі системи технічного обслуговування [11, 12]. Тому в науковому дослідженні [17] розглядаються завдання визначення оптимальної множини параметрів ефективності систем технічного обслуговування суден та їх комплектуючих, їхнього аналізу і прогнозування з метою побудови інформаційно-консультативної системи підтримки процесу управління індивідуальними системами технічного обслуговування вантажних суден.

Впровадження в експлуатацію суден із розгалуженою системою бортового контролю, які дозволяють з високою вірогідністю виявляти відмови та пошкодження і тим самим дають змогу в реальному масштабі часу здійснювати формування обсягу чергового виду технічного обслуговування, вимагають розробки методів оперативного управління ходом технологічного графіку технічного обслуговування судна, оцінки показників аналізу ефективності цих технологічних графіків як складових частин ефективності всієї системи технічного обслуговування судна.

З метою контролю за діяльністю судноплавних компаній в галузі технічного обслуговування суден, сертифікації засобів морського транспорту, виявлення впливу різних експлуатаційних факторів на ефективність їхніх систем технічного обслуговування, необхідне постійне накопичення інформації про технічний стан суднової техніки та характеристики виконаних робіт на ній, з метою формування рішень, спрямованих на підтримку заданого рівня технічної придатності суден до технічного використання [20].

Усе це вимагає постійної розробки і впровадження в судноплавних компаніях відповідних заходів з удосконалення як самої суднової техніки, так і їхніх систем технічного обслуговування. З метою оцінки впливу впроваджених заходів потрібен постійний контроль і аналіз їхньої економічної ефективності та економічної ефективності систем технічного обслуговування суден, який би базувався на сучасних методах прийняття рішень у сфері судноплавства.

В результаті виконаних досліджень розроблена структурно-функціональна модель ІКС з технічного обслуговування вантажних суден, яка лягла в основу розробленого і впровадженого комплексу програм і інформаційних систем [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Цей комплекс дозволяє реалізувати: Принцип безперервного відстеження динаміки зміни показників ефективності системи технічного обслуговування конкретного судна; Методи виявлення ранніх стадій погіршення процесу технічного обслуговування вантажних суден; Прогнозування рівня технічної придатності судна до використання за призначенням; Оцінювання ефективності заходів, направлених на підтримку і підвищення рівня ефективності систем технічного обслуговування вантажних суден, зокрема технічної придатності до використання за призначенням; Контроль рівня ефективності системи технічного обслуговування конкретного судна з метою мінімізації витрат на його технічне обслуговування.

Розроблено математичне забезпечення ІКС для судноплавства, яке базується на модифікованих методах з метою зниження трудомісткості обчислювальних процедур обробки інформації. Проведені дослідження дозволили обґрунтувати і розробити метод розрахунку показників якості систем технічного обслуговування вантажних суден та їхніх комплектуючих, призначені для оцінки і аналізу динаміки зміни процесу технічного обслуговування в конкретній судноплавній компанії.

Запропонована методика оцінки ефективності заходів, які впроваджуються з метою підтримання або підвищення рівня безпеки і регулярності плавання в галузі технічного обслуговування вантажних суден, дозволяє забезпечити належний рівень якості обслуговування та безпеки пасажирів і екіпажу.

Висновки. Враховуючи викладене, можна зробити висновок, що для успішного розвитку судноплавної галузі в Україні потрібно забезпечити гармонійне співіснування технологій, науки, освіти та державної підтримки. Це сприятиме досягненню сталого розвитку сфери водного транспорту та зміцненню позицій українського судноплавства на світовому ринку перевезень.

В статті висвітлено основні етапи розвитку систем технічного обслуговування вантажних суден і надана класифікація показників їхньої ефективності, які зараз застосовують в практиці управління виробничим процесом в судноплавних компаніях.

Розглянута методика узгодження основних показників ефективності систем технічного обслуговування та вдосконалена методика вибору раціональної повноти контролю технічного стану функціональних систем вантажних суден.

Проведений аналіз стану питання з оцінки і управління ефективністю систем технічного обслуговування вантажних суден і їх технічних засобів показав доцільність досліджень в напрямку пошуку розробки загальної методики управління цими процесами з метою побудови підґрунтя для більш детального вивчення процесів, які відбуваються під час технічного обслуговування вантажних суден та створення методології формування в судноплавних компаніях інтелектуально консультативних систем з технічного обслуговування.

Застосування науково-обґрунтованих підходів до аналізу систем технічного обслуговування та технічної експлуатації вантажних суден може допомогти виявити причини зниження ефективності флоту, а також розробити ефективні

стратегії для їх подолання. Таким чином, інтеграція наукових методів у практику управління системами технічного обслуговування вантажних суден може сприяти підвищенню як рівня безпеки судноплавства так і ефективності морського транспорту та сталому розвитку судноплавних компаній.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lazakis, I., Turan, O., & Aksu, S. (2010). Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy. *Ships and Offshore Structures*, 5(4), 337–357. <https://doi.org/10.1080/17445302.2010.480899>
2. Alhouli, Y. (2011). Development of Ship Maintenance Performance Measurement Framework to Assess the Decision Making Process to Optimise in Ship Maintenance Planning. In *[Thesis]. Manchester, UK: The University of Manchester; 2011.* <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.532215>
3. Golovan, A., Honcharuk, I., Deli, O., Kostenko, O., & Nykyforov, Y. (2021). System of Water Vehicle Power Plant Remote Condition Monitoring. *IOP Conference Series*, 1199(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1199/1/012049>
4. Roccazzella, F., Gambetti, P., & Vrins, F. (2022). Correction to: Optimal and robust combination of forecasts via constrained optimization and shrinkage. *International Journal of Forecasting*. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2022.03.011>
5. Davies, J., Truong-Ba, H., Pardalos, P. M., & Will, G. (2021). Optimal inspections and maintenance planning for anti-corrosion coating failure on ships using non-homogeneous Poisson Processes. *Ocean Engineering*, 238, 109695. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109695>
6. Jeyaraj, A., & Zadeh, A. (2020). Evolution of information systems research: Insights from topic modeling. *Information & Management*, 57(4), 103207. <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103207>
7. Bourgeois, D. T. (2014). *Information Systems for Business and Beyond*.
8. Ichimura, Y., Dalaklis, D., Kitada, M., & Christodoulou, A. (2022). Shipping in the era of digitalization: Mapping the future strategic plans of major maritime commercial actors. *Digital Business*, 2(1), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100022>
9. Golovan, A., Gritsuk, I., Rudenko, S., Saravas, V., Shakhov, A., & Shumylo, O. (2019). Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel. In *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. <https://doi.org/10.1109/mees.2019.8896595>
10. Liu, L., Shibasaki, R., Zhang, Y., Kosuge, N., Zhang, M., & Hu, Y. (2023). Data-driven framework for extracting global maritime shipping networks by machine learning. *Ocean Engineering*, 269, 113494. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113494>
11. Lazakis, I., & Ölçer, A. I. (2016). Selection of the best maintenance approach in the maritime industry under fuzzy multiple attributive group

- decision-making environment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 230(2), 297–309. <https://doi.org/10.1177/1475090215569819>
12. Vujanovic, D., Momčilović, V., Bojovic, N. J., & Papić, V. (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP. *Expert Systems With Applications*, 39(12), 10552–10563. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.159>
 13. Головань, А. (2020). Розробка і дослідження комплексу технічних засобів управління експлуатаційною ефективністю морських транспортних засобів: автоматичний збір і обробка інформації в інтелектуальній системі (0122U200855). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/bcc80ca42569ba921b95b38af1cd260d>
 14. Головань, А. (2020). Розроблення програмного забезпечення інформаційно-аналітичної системи контролю і прогнозування рівня надійності суднових технічних систем і комплексів вантажного судна на основі цифрових двійників (0123U102142). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/8cc95840fc313e7bd53c2ef64e18000a>
 15. Головань, А. (2021). Розроблення автоматизованої системи розпізнавання несправностей та інформаційного забезпечення процесу технічної експлуатації суднових технічних комплексів вантажного судна (0123U102178). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/af9bf74085869b45562e6b17295b2fd8>
 16. Головань, А. (2021). Розробка структури, складових і призначення інформаційно-аналітичної системи оцінювання експлуатаційної ефективності морських транспортних засобів (0122U200854). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/9e73ea40b5915e219761480d26a22af3>
 17. Головань, А. (2021). Розроблення автоматизованої інформаційної системи обґрунтування раціональної програми і управління технічним обслуговуванням вантажних суден (0123U102204). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/abcc2282dd939e459a0a1ea7bed177d8>
 18. Головань, А. (2022). Розроблення комплексної автоматизованої системи контролю і прогнозування показників надійності засобів морського транспорту (0123U102241). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/534c26605e7cb1c98b9aa898e2995d4e>
 19. Головань, А. (2022). Розроблення комплексної системи інформаційного забезпечення процесу технічної експлуатації суднових технічних систем: автоматизований пошук несправностей і підтримка прийняття рішень (0123U102286). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/b531e7a6bfb28fc3204f9bbaa5d14e1f>
 20. Головань, А. (2023). Розроблення систем інформаційного забезпечення підтримки технічної придатності суден торгового флоту України на основі цифрових двійників і аналізу даних в реальному часі (0123U102159). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/d1025734d23e9a0005f89ffa7dc9a215>

REFERENCES

1. Lazakis, I., Turan, O., & Aksu, S. (2010). Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy. *Ships and Offshore Structures*, 5(4), 337–357. <https://doi.org/10.1080/17445302.2010.480899>
2. Alhouli, Y. (2011). Development of Ship Maintenance Performance Measurement Framework to Assess the Decision Making Process to Optimise in Ship Maintenance Planning. In *[Thesis]. Manchester, UK: The University of Manchester; 2011*. <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.532215>
3. Golovan, A., Honcharuk, I., Deli, O., Kostenko, O., & Nykyforov, Y. (2021). System of Water Vehicle Power Plant Remote Condition Monitoring. *IOP Conference Series*, 1199(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1199/1/012049>
4. Roccazzella, F., Gambetti, P., & Vrins, F. (2022). Correction to: Optimal and robust combination of forecasts via constrained optimization and shrinkage. *International Journal of Forecasting*. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2022.03.011>
5. Davies, J., Truong-Ba, H., Pardalos, P. M., & Will, G. (2021). Optimal inspections and maintenance planning for anti-corrosion coating failure on ships using non-homogeneous Poisson Processes. *Ocean Engineering*, 238, 109695. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109695>
6. Jeyaraj, A., & Zadeh, A. (2020). Evolution of information systems research: Insights from topic modeling. *Information & Management*, 57(4), 103207. <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103207>
7. Bourgeois, D. T. (2014). *Information Systems for Business and Beyond*.
8. Ichimura, Y., Dalaklis, D., Kitada, M., & Christodoulou, A. (2022). Shipping in the era of digitalization: Mapping the future strategic plans of major maritime commercial actors. *Digital Business*, 2(1), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100022>
9. Golovan, A., Gritsuk, I., Rudenko, S., Saravas, V., Shakhov, A., & Shumylo, O. (2019). Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel. In *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. <https://doi.org/10.1109/mees.2019.8896595>
10. Liu, L., Shibasaki, R., Zhang, Y., Kosuge, N., Zhang, M., & Hu, Y. (2023). Data-driven framework for extracting global maritime shipping networks by machine learning. *Ocean Engineering*, 269, 113494. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113494>
11. Lazakis, I., & Ölçer, A. I. (2016). Selection of the best maintenance approach in the maritime industry under fuzzy multiple attributive group decision-making environment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 230(2), 297–309. <https://doi.org/10.1177/1475090215569819>
12. Vujanovic, D., Momčilović, V., Bojovic, N. J., & Papić, V. (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by

- application of DEMATEL and ANP. *Expert Systems With Applications*, 39(12), 10552–10563. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.159>
13. Golovan, A. (2020). Development and research of the technical means complex of sea-going vessels operational efficiency managing: automatic collection and processing of information in an intelligent system [Rozrobka i doslidzhennia kompleksu tekhnichnykh zasobiv upravlinnia ekspluatatsiinoiu efektyvnistiu morskykh transportnykh zasobiv: avtomatychnyi zbir i obrobka informatsii v intelektualnii systemi] (0122U200855). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/bcc80ca42569ba921b95b38af1cd260d> [in Ukrainian]
 14. Golovan, A. (2020). Development of software for an information-analytical system for monitoring and forecasting the level of reliability of shipboard technical systems and cargo ship complexes based on digital twins [Rozroblennia prohramnoho zabezpechennia informatsiino-analitychnoi systemy kontrolia i prohnozuvannia rivnia nadiinosti sudnovykh tekhnichnykh system i kompleksiv vantazhnoho sudna na osnovi tsyfrovyykh dviinykiv] (0123U102142). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/8cc95840fc313e7bd53c2ef64e18000a> [in Ukrainian]
 15. Golovan, A. (2021). Development of an automated system for fault detection and information support of the process of technical operation of shipboard technical complexes of a cargo ship [Rozroblennia avtomatyzovanoi systemy rozpoznavannia nespravnosti ta informatsiinoho zabezpechennia protsesu tekhnichnoi ekspluatatsii sudnovykh tekhnichnykh kompleksiv vantazhnoho sudna] (0123U102178). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/af9bf74085869b45562e6b17295b2fd8> [in Ukrainian]
 16. Golovan, A. (2021). Development of the structure, components, and purpose of the information-analytical system for evaluating the operational efficiency of sea-going vessels [Rozrobka struktury, skladovykh i pryznachennia informatsiino-analitychnoi systemy otsiniuvannia ekspluatatsiinoi efektyvnosti morskykh transportnykh zasobiv] (0122U200854). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/9e73ea40b5915e219761480d26a22af3> [in Ukrainian]
 17. Golovan, A. (2021). Development of an automated information system for justification of a rational program and management of cargo ship maintenance [Rozroblennia avtomatyzovanoi informatsiinoi systemy obgruntuvannia ratsionalnoi prohramy i upravlinnia tekhnichnym obsluhovuvanniam vantazhnykh suden] (0123U102204). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/abcc2282dd939e459a0a1ea7bed177d8> [in Ukrainian]
 18. Golovan, A. (2022). Development of a comprehensive automated system for monitoring and forecasting the reliability of maritime transport [Rozroblennia kompleksnoi avtomatyzovanoi systemy kontrolia i prohnozuvannia pokaznykiv nadiinosti zasobiv morskoho transportu] (0123U102241). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/534c26605e7cb1c98b9aa898e2995d4e> [in Ukrainian]

19. Golovan, A. (2022). Development of a comprehensive system of information support for the process of technical operation of shipboard technical systems: automated fault detection and decision support [Rozroblennia kompleksnoi systemy informatsiinoho zabezpechennia protsesu tekhnichnoi ekspluatatsii sudnovykh tekhnichnykh system: avtomatyzovanyi poshuk nespravnostei i pidtrymka pryiniattia rishen] (0123U102286). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/b531e7a6bfb28fc3204f9bbaa5d14e1f> [in Ukrainian]
20. Golovan, A. (2023). Development of information support systems for maintaining the technical serviceability of Ukrainian merchant ships based on digital twins and real-time data analysis [Rozroblennia system informatsiinoho zabezpechennia pidtrymky tekhnichnoi prydatnosti suden torhovoho flotu Ukrainy na osnovi tsyfrovyykh dviinykiv i analizu danykh v realnomu chasi] (0123U102159). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/d1025734d23e9a0005f89ffa7dc9a215> [in Ukrainian]

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗОВАНИХ ШВАРТОВИХ ОПЕРАЦІЙ

І.П. Гончарук¹, А.І. Головань²

¹к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

²к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

Анотація

У статті розглядаються автоматизовані швартовні системи, новітні технології для підвищення безпеки персоналу та суден. Останніми роками прогресивний розвиток автоматизованих швартовних систем все більше забезпечує покращення безпеки на морі, яке було визнано на 102-й сесії Комітету з безпеки на морі Міжнародної морської організації (ІМО). Ці системи розроблені для зменшення ризиків, пов'язаних з традиційними методами швартування, та сприяють забезпеченню безпеки персоналу та суден під час швартовних операцій. Автоматизовані швартовні системи використовують сучасні технології, такі як сенсори, навігаційне обладнання, інтелектуальний аналіз даних та автоматичне керування, щоб оптимізувати процес швартування та забезпечити високу ступінь безпеки. Однією з переваг автоматизованих систем є зменшення ризику травм та смертей серед персоналу, оскільки вони дозволяють зменшити потребу в ручній праці під час швартовних операцій. Крім того, автоматизовані системи сприяють попередженню пошкоджень суден та портових споруд завдяки покращеному контролю над процесом швартування. Це може включати в себе забезпечення оптимального розміщення суден, контроль за силами натягу канатів та швидке виявлення можливих проблем, що можуть виникнути під час швартовних операцій. Важливим аспектом реалізації автоматизованих швартовних систем є розробка ефективних стандартів безпеки та протоколів, що враховують специфіку різних типів суден та портових споруд. Особливий акцент може бути зроблений на інтеграцію цих систем у загальну інфраструктуру судноплавства та портів з метою створення єдиної системи керування та надійної безпеки. **Мета** статті полягає в аналізі й оцінці сучасних автоматизованих систем швартування та їх впливу на безпеку персоналу, суден та портових споруд. **Результати.** Визначено можливі напрями подальшого розвитку та удосконалення цих систем для забезпечення більш високого рівня безпеки під час швартовних операцій. **Висновки.** Таким чином, сучасні автоматизовані швартовні системи сприяють забезпеченню безпеки під час швартовних операцій та підтримці сталого розвитку морського транспорту. Їх успішна реалізація може зменшити ризики, пов'язані з традиційними методами швартування, та покращити безпеку персоналу, суден та навколишнього середовища.

Ключові слова: автоматизовані швартовні системи, безпека на морі, сучасні підходи, швартовні операції, портові споруди, технології, сенсори, навігаційне обладнання, інтелектуальний аналіз даних, автоматичне керування, стандарти безпеки, інтеграція, ризики, сталий розвиток морського транспорту.

MODERN APPROACHES TO ENSURING SAFETY DURING AUTOMATED MOORING OPERATIONS

I.P. Honcharuk¹, A.I. Golovan²

¹Ph.D (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

²Ph.D (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

Summary

The article discusses automated mooring systems, the latest technologies to improve the safety of personnel and vessels. In recent years, the progressive development of automated mooring systems has increasingly provided improvements in maritime safety, which was recognized at the 102nd session of the International Maritime Organization (IMO) Maritime Safety Committee. These systems are designed to reduce the risks associated with traditional mooring methods and help ensure the safety of personnel and vessels during mooring operations. Automated mooring systems use modern technologies such as sensors, navigation equipment, intelligent data analysis and automatic control to optimize the mooring process and ensure a high degree of safety. One of the benefits of automated systems is a reduction in the risk of injury and death among personnel, as they reduce the need for manual labor during mooring operations. In addition, automated systems help to prevent damage to ships and port facilities through improved control over the mooring process. This may include ensuring optimal vessel positioning, monitoring rope tension forces, and quickly identifying potential problems that may arise during mooring operations. An important aspect of the implementation of automated mooring systems is the development of effective safety standards and protocols that take into account the specifics of different types of vessels and port facilities. Particular emphasis may be placed on integrating these systems into the overall shipping and port infrastructure to create a unified management system and reliable security. The **purpose** of the article is to analyze and evaluate modern automated mooring systems and their impact on the safety of personnel, vessels and port facilities. **Results.** Identify possible areas for further development and improvement of these systems to ensure a higher level of safety during mooring operations. **Conclusions.** Thus, modern automated mooring systems contribute to ensuring safety during mooring operations and supporting the sustainable development of maritime transport. Their successful implementation can reduce the risks associated with traditional mooring methods and improve the safety of personnel, vessels and the environment.

Key words: automated mooring systems, maritime safety, modern approaches, mooring operations, port facilities, technologies, sensors, navigation equipment, data mining, automatic control, safety standards, integration, risks, sustainable development of maritime transport.

Вступ. Морський транспорт є одним з ключових секторів світової економіки, який забезпечує більшість міжнародних перевезень товарів. З розвитком глобалізації та зростанням обсягів морського транспортування актуальність забезпечення безпеки на морі стає все важливішою. Однією з найбільш ризикових та травмонезбезпечних операцій у портах є швартування суден, яке традиційно здійснюється вручну та може призвести до численних нещасних випадків та аварій.

Постановка проблеми. У зв'язку з цим, науковий та технічний прогрес сприяє розробці сучасних підходів до автоматизації швартових операцій, які мають на меті зменшення ризиків та підвищення безпеки персоналу, суден та портових споруд.

Ця наукова стаття присвячена дослідженню сучасних підходів до забезпечення безпеки під час автоматизованих швартових операцій. Метою статті є аналіз та оцінка сучасних технологій та методів, що використовуються в автоматизованих швартовних системах, а також визначення перспектив подальшого розвитку та удосконалення цих систем для покращення безпеки під час швартовних операцій. У ході дослідження будуть розглянуті різні аспекти автоматизації швартових операцій, включаючи аналіз сучасних технологій, розгляд їх переваг та недоліків, а також виявлення можливих викликів та напрямів подальших досліджень у даній сфері.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій за тематикою "Сучасні підходи до забезпечення безпеки під час автоматизованих швартових операцій" демонструється активне зростання інтересу до вказаної проблематики. Останні дослідження та публікації відображають різні аспекти розвитку автоматизованих систем швартування, включаючи технічні рішення, практичні застосування та аналіз їх ефективності. Одним з ключових напрямів досліджень у цій сфері є розробка та впровадження нових технологій та компонентів, що можуть покращити процес швартування, забезпечуючи більш високий рівень безпеки та ефективності [1]. Зокрема, досліджуються застосування сенсорів та систем моніторингу для відстеження руху суден, автоматичні системи керування для виконання швартових операцій, інтелектуальні алгоритми для аналізу даних та виявлення аномалій, а також розробка нових матеріалів для виготовлення канатів та тросів [2, 3]. Дослідники також активно вивчають практичне застосування автоматизованих швартовних систем в різних портах та морських терміналах. Відзначається, що впровадження таких систем має позитивний вплив на зменшення кількості травм та аварій, а також на покращення експлуатаційних показників портів та терміналів. Окремим напрямком досліджень є аналіз проблем, пов'язаних з інтеграцією автоматизованих швартовних систем у існуючу інфраструктуру портів.

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає в аналізі й оцінці сучасних автоматизованих систем швартування та їх впливу на безпеку персоналу, суден та портових споруд.

Виклад основного матеріалу. Швартування суден за допомогою канатів або тросів є однією з небагатьох операцій, що здійснюються на суднах та в порту, яка не зазнала суттєвих змін протягом століть. Незважаючи на незначні покращення, операція залишається дуже небезпечною, що призводить до неприпустимої кількості травм і смертей щороку [4]. Крім того, це також представляє значний ризик для самих суден, оскільки, незважаючи на те, що його вивчали та контролювали, звичайне швартування не має ситуаційної обізнаності, щоб забезпечити

попередження у разі виникнення небезпечної ситуації. Автоматизовані швартовні системи усувають усі ризики для персоналу та знижують ризик для судна майже до нуля, усуваючи персонал від ризикованих завдань і забезпечуючи повну ситуаційну обізнаність про швартування та стан навколишнього середовища. За останні роки багато аспектів роботи порту були вдосконалені завдяки автоматизації. Ці вдосконалення підвищили пропускну здатність порту та наочність операцій. Однак у більшості портів швартування продовжує залишатися трудомістким і небезпечним завданням. Дійсно, швартовні операції та необхідне поводження з канатами є одним з небагатьох завдань, що залишилися в сучасній промисловості, що регулярно наражає персонал на небезпеку для життя та здоров'я. Крім того, звичайне швартування не забезпечує зворотного зв'язку з портом або судном, щодо роботи або цілісності швартування. Автоматизована система швартування, яка не використовує канати, здатна викоринити ризики, пов'язані з обробкою канатів для всього персоналу на борту та на суші. Відсутність травм і ризиків, що робить швартування значно безпечнішим для персоналу та скорочує час.

Крім того, ці системи здатні з високою точністю відстежувати умови навколишнього середовища та процесу швартування, а також надавати детальний зворотний зв'язок у реальному часі, щодо продуктивності та цілісності швартування. Дані, збережені протягом тривалого часу, можна використовувати для порівняння з поточними умовами, щоб передбачити потенційні майбутні події та забезпечити завчасне попередження порту та судну.

Під час аналізу та оцінки сучасних автоматизованих систем швартування та їх впливу на безпеку персоналу, суден та портових споруд були виявлені ряд важливих аспектів. Ці системи включають в себе сенсори, автоматичне керування, робототехнічні пристрої та алгоритми інтелектуального аналізу даних, які спільно забезпечують підвищення безпеки та ефективності швартовних операцій.

Сучасні автоматизовані системи швартування суден мають значний вплив на безпеку персоналу. Їх впровадження допомагає зменшити ризик травмування та покращує загальну безпеку роботи в порту. Ось деякі існуючі автоматизовані системи швартування та їх вплив на безпеку персоналу:

Вакуумні швартовні системи (рис. 1): Ці системи використовують вакуумний принцип для утримання судна біля причалу. Вони забезпечують швидке та ефективно з'єднання судна з причалом, зменшуючи час та ризики, пов'язані з традиційними методами швартування. Як приклад [5] система MoorMaster™ значно підвищує безпеку та операційну ефективність, оптимізує взаємодію судна з берегом і в багатьох випадках дозволяє портам заощаджувати на інфраструктурі. Завдяки цьому персонал має менше можливостей травмуватися під час операцій.



Рис. 1. MoorMaster™ система автоматизованого швартування [6]

Роботизовані пристрої для кріплення канатів (рис. 2): Застосування роботів [7] для кріплення канатів дозволяє відійти від потреби вручну працювати з канатами та іншими швартовними пристроями. Роботи можуть швидко та точно виконувати операції, знижуючи ризик травм для працівників порту.



Рис. 2. Автоматизована система швартування [8]

Автоматизовані системи моніторингу та керування (рис. 3): Ці системи [9] використовують розумний аналіз даних для виявлення та попередження потенційних ризиків, що можуть виникнути під час швартовних операцій. Вони забезпечують операторам порту інформацію про рух суден, швидкість, траєкторію та можливі небезпечні ситуації, дозволяючи їм приймати своєчасні рішення для забезпечення безпеки персоналу.



Рис. 3. Cavotec автоматизовані швартовні операції та суднові зарядки [10]

Автоматичні системи зміни канатів: Ці системи дозволяють автоматично замінювати та намотувати канати без участі персоналу, зменшуючи ризики, пов'язані з ручним керуванням канатами. Автоматичні системи зміни канатів підвищують безпеку та ефективність процесу швартування.

Безпілотні судна для швартування: Деякі порти впроваджують безпілотні судна (дрони), що використовуються для встановлення швартовних канатів між судном та причалом [11]. Використання дронів для цієї операції забезпечує безпеку

персоналу, оскільки вони не потрапляють у небезпечні ситуації, пов'язані з ручним керуванням канатами.

Електронні системи забезпечення безпеки (рис. 4): Сучасні електронні системи безпеки, такі як системи відеоспостереження та датчики руху, допомагають відстежувати ситуацію на причалі та судні під час швартовних операцій. Вони дозволяють операторам порту швидко реагувати на можливі небезпечні ситуації та забезпечувати безпеку працівників [12].



Рис. 4. Комп'ютерна візуалізація флоту роботизованих суден «Армада» компанії Ocean Infinity [13]

Ключові аспекти, що впливають на успішність автоматизованих швартових систем:

1. Технологічний рівень: Успішність автоматизованих швартових систем залежить від технологічного рівня системи, включаючи якість сенсорів, точність алгоритмів керування та наявність передових роботизованих пристроїв [14].

2. Інтеграція з існуючою інфраструктурою: Ефективність автоматизованих швартових систем залежить від того, наскільки вони інтегровані з існуючою портовою інфраструктурою, включаючи системи зв'язку, навігацію та контроль трафіку.

3. Освіта та підготовка персоналу: Успішність автоматизованих систем забезпечується за умов належної підготовки персоналу, що включає освіту щодо роботи з новими технологіями та безпечними практиками роботи.

4. Надійність та працездатність системи: Автоматизовані швартові системи повинні бути надійними та стійкими до різних умов роботи, таких як погодні умови, зміни в русі суден та інші непередбачувані ситуації.

5. Модульність та масштабованість: Успішні системи повинні бути модульними та масштабованими, що дозволяє легко адаптувати їх до різних розмірів суден, типів причалів та портових умов.

6. Економічна ефективність: Впровадження автоматизованих швартових систем повинно бути економічно виправданим, пропонуючи оптимальне співвідношення витрат та користі від підвищення безпеки та ефективності операцій.

7. Регулятивна підтримка: Успішність автоматизованих швартових систем залежить від регулятивної підтримки та стандартів, встановлених на міжнародному та національному рівні. Правильно встановлені регулятивні рамки сприяють широкому впровадженню автоматизованих систем та забезпечують їх безпеку та ефективність.

8. Безпека та захист даних: Автоматизовані швартові системи збирають, обробляють та передають великі обсяги даних. Успішність цих систем вимагає високого рівня захисту даних та інформаційної безпеки для запобігання можливим кібератакам та іншим загрозам.

9. Моніторинг та аналіз результатів: Забезпечення успішної роботи автоматизованих швартових систем передбачає необхідність систематичного моніторингу та аналізу їх результатів. Це дозволяє виявляти слабкі місця, вносити поліпшення та забезпечувати постійне вдосконалення системи.

10. Співпраця між стейкхолдерами: Успішність автоматизованих швартових систем залежить від ефективної співпраці між усіма зацікавленими сторонами, включаючи судновласників, операторів портів, розробників технологій та персоналу. Така співпраця сприяє впровадженню найкращих практик та створенню безпечного та ефективного середовища для проведення автоматизованих швартових операцій.

Автоматизовані системи швартування значно зменшують ризики для персоналу порту, оскільки вони мінімізують потребу в ручному керуванні канатами, забезпечують більшу ситуаційну обізнаність та дозволяють ефективно відстежувати та контролювати швартовні операції. Завдяки цим системам безпека персоналу під час швартовних операцій значно покращується, що сприяє створенню більш безпечного та продуктивного робочого середовища в портах.

Висновки. Таким чином, автоматизовані системи швартування відіграють важливу роль у підвищенні безпеки на морі. Сучасні технології, такі як сенсори, навігаційне обладнання, інтелектуальний аналіз даних та автоматичне керування, дозволяють оптимізувати процес швартування та зменшувати ризики для персоналу, суден та портових споруд.

Дослідження виявило ключові аспекти, що впливають на успішність автоматизованих швартових систем, включаючи стандарти безпеки, протоколи та інтеграцію з існуючою інфраструктурою. На основі отриманих результатів рекомендується розробляти та впроваджувати нові алгоритми керування, проводити експериментальні випробування та визначати напрями подальшого розвитку технологій.

Загалом, сучасні автоматизовані швартовні системи сприяють забезпеченню безпеки під час швартовних операцій та підтримці сталого розвитку морського транспорту. Їх успішна реалізація може зменшити ризики, пов'язані з традиційними методами швартування, та покращити безпеку персоналу, суден та навколишнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Chung, M., Kim, S. J., Lee, K., & Shin, H. D. (2020). Detection of damaged mooring line based on deep neural networks. *Ocean Engineering*, 209, 107522. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107522>

2. Mazurek, P. (2023). A Comprehensive Review of Steel Wire Rope Degradation Mechanisms and Recent Damage Detection Methods. *Sustainability*, 15(6), 5441. <https://doi.org/10.3390/su15065441>
3. Abdulkarem, M., Samsudin, K., Rokhani, F. Z., & Rasid, M. F. A. (2020). Wireless sensor network for structural health monitoring: A contemporary review of technologies, challenges, and future direction. *Structural Health Monitoring-an International Journal*, 19(3), 693–735. <https://doi.org/10.1177/1475921719854528>
4. Animah, I., & Shafiee, M. (2017). Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.030>
5. Aqdam, H. J., Ettefagh, M. M., & Hassannejad, R. (2018). Health monitoring of mooring lines in floating structures using artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 164, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.06.056>
6. Automated Mooring | Cavotec SA. (2023). Retrieved from <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring>
7. Arredondo, A., Altuzarra, J. G. C., Mena, A. F., & Fernández, J. C. (2018). Stress Intensity Factors in Fitness-for-Service Assessment of Cracks in Mooring Chains. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-77496>
8. Automated mooring system. (2023). Retrieved from <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>
9. Babaleye, A. O., Khorasanchi, M., & Kurt, R. E. (2018). Dynamic Risk Assessment of Decommissioning Offshore Jacket Structures. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-78635>
10. Cavotec wins additional automated mooring and vessel e-charging orders worth EUR 6.5M. (2020, November 20). Retrieved from <https://www.mynewsdesk.com/cavotec/pressreleases/cavotec-wins-additional-automated-mooring-and-vessel-e-charging-orders-worth-eur-6-dot-5m-3052629>
11. Bashir, I., Walsh, J., Thies, P. R., Weller, S., Blondel, P., & Johanning, L. (2017). Underwater acoustic emission monitoring – Experimental investigations and acoustic signature recognition of synthetic mooring ropes. *Applied Acoustics*, 121, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.033>
12. Basteskår, M., Engen, M., Kanstad, T., & Fosså, K. T. (2019). A review of literature and code requirements for the crack width limitations for design of concrete structures in serviceability limit states. *Structural Concrete*, 20(2), 678–688. <https://doi.org/10.1002/suco.201800183>
13. Wright, B. (2021). Ocean Infinity Ramps Up Autonomous Vessel Operations. *JPT*. Retrieved from <https://jpt.spe.org/ocean-infinity-ramps-up-autonomous-vessel-operations>

14. Bayik, B., Omenzetter, P., Van Der A, D. A., & Pavlovskaja, E. (2018). Comparison of damage sensitivities of autoregressive coefficients and natural frequencies for structural health monitoring of a top tensioned riser. *9th European Workshop on Structural Health Monitoring, EWSHM 2018*.

REFERENCES

1. Chung, M., Kim, S. J., Lee, K., & Shin, H. D. (2020). Detection of damaged mooring line based on deep neural networks. *Ocean Engineering*, 209, 107522. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107522>
2. Mazurek, P. (2023). A Comprehensive Review of Steel Wire Rope Degradation Mechanisms and Recent Damage Detection Methods. *Sustainability*, 15(6), 5441. <https://doi.org/10.3390/su15065441>
3. Abdulkarem, M., Samsudin, K., Rokhani, F. Z., & Rasid, M. F. A. (2020). Wireless sensor network for structural health monitoring: A contemporary review of technologies, challenges, and future direction. *Structural Health Monitoring-an International Journal*, 19(3), 693–735. <https://doi.org/10.1177/1475921719854528>
4. Animah, I., & Shafiee, M. (2017). Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.030>
5. Aqdam, H. J., Etefagh, M. M., & Hassannejad, R. (2018). Health monitoring of mooring lines in floating structures using artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 164, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.06.056>
6. *Automated Mooring | Cavotec SA*. (2023). Retrieved from <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring>
7. Arredondo, A., Altuzarra, J. G. C., Mena, A. F., & Fernández, J. C. (2018). Stress Intensity Factors in Fitness-for-Service Assessment of Cracks in Mooring Chains. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-77496>
8. Automated mooring system. (2023). Retrieved from <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>
9. Babaleye, A. O., Khorasanchi, M., & Kurt, R. E. (2018). Dynamic Risk Assessment of Decommissioning Offshore Jacket Structures. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-78635>
10. Cavotec wins additional automated mooring and vessel e-charging orders worth EUR 6.5M. (2020, November 20). Retrieved from <https://www.mynewsdesk.com/cavotec/pressreleases/cavotec-wins-additional-automated-mooring-and-vessel-e-charging-orders-worth-eur-6-dot-5m-3052629>
11. Bashir, I., Walsh, J., Thies, P. R., Weller, S., Blondel, P., & Johanning, L. (2017). Underwater acoustic emission monitoring – Experimental investigations and acoustic signature recognition of synthetic mooring

- ropes. *Applied Acoustics*, 121, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.033>
12. Basteskår, M., Engen, M., Kanstad, T., & Fosså, K. T. (2019). A review of literature and code requirements for the crack width limitations for design of concrete structures in serviceability limit states. *Structural Concrete*, 20(2), 678–688. <https://doi.org/10.1002/suco.201800183>
13. Wright, B. (2021). Ocean Infinity Ramps Up Autonomous Vessel Operations. *JPT*. Retrieved from <https://jpt.spe.org/ocean-infinity-ramps-up-autonomous-vessel-operations>
14. Bayik, B., Omenzetter, P., Van Der A, D. A., & Pavlovskaia, E. (2018). Comparison of damage sensitivities of autoregressive coefficients and natural frequencies for structural health monitoring of a top tensioned riser. *9th European Workshop on Structural Health Monitoring, EWSHM 2018*.

ENERGY EFFICIENCY ON SHIPS. STRATEGIC APPROACH

Ye.V. Kalinichenko¹, G.G. Tomchakovsky²

¹Candidate of Technical Science, Docent, Master Mariner,
Head of Navigation and Control of the Ship Department,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-2898-7313

²Master Mariner, Senior Lecturer,
Navigation and Control of the Ship Department,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-9799-4368

Summary

Introduction. The shipping industry is a critical component of the global economy, with around 90% of the world's trade being transported by ships. However, the industry also has a significant environmental impact, contributing to around 2.5% of global greenhouse gas emissions. As such, there is a growing need to improve the energy efficiency of ships to reduce their environmental impact and comply with increasingly stringent regulations. **Purpose.** This article will explore the various technologies and strategies available to improve energy efficiency on ships and provide a scientific analysis of their effectiveness. **Results.** Wind propulsion technologies, such as rotor sails or kite sails, can be used to reduce fuel consumption and emissions in the shipping industry. These technologies harness the power of wind to propel the ship, reducing the need for fossil fuels. While wind propulsion technologies are still relatively new, they have shown promising results in terms of reducing fuel consumption and emissions. Energy management systems can also be used to optimize the operation of a ship's engines and equipment and improve energy efficiency. Energy management systems can also help reduce maintenance costs and extend the lifespan of the ship's equipment. Hybrid propulsion systems, which combine two or more power sources, can also help improve the energy efficiency of ships. This can reduce fuel consumption and emissions, especially during low-load conditions. Hybrid propulsion systems can also help improve the overall performance and reliability of the ship's power system. **Conclusions.** Improving the energy efficiency of ships is an important step in reducing the shipping industry's impact on the environment. There are various strategies and technologies that can be employed to achieve this goal, including hull coatings, waste heat recovery, energy management systems, hybrid propulsion systems, and wind propulsion. While each strategy has its advantages and limitations, their combined use can help improve the overall energy efficiency of ships and reduce their impact on the environment.

Key words: energy efficiency of ships, vessels fuel consumption, wind propulsion technologies.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ НА МОРСЬКИХ СУДНАХ.
СТРАТЕГІЧНИЙ ПІДХІД

Є.В. Калініченко¹, Г.Г. Томчаковський²

¹к.т.н., доцент, КДП, завідувач кафедри навігації і керування судном,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-2898-7313

²КДП, старший викладач кафедри навігації і керування судном,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-9799-4368

Анотація

Вступ. Індустрія судноплавства є критично важливою складовою світової економіки, оскільки близько 90% світової торгівлі транспортується суднами. Однак галузь також має значний вплив на навколишнє середовище, спричиняючи приблизно 2,5% глобальних викидів парникових газів. Таким чином, зростає потреба покращити енергоефективність суден, щоб зменшити їхній вплив на навколишнє середовище та відповідати дедалі суворішим нормам. **Призначення.** У цій статті розглядатимуться різноманітні технології та стратегії, доступні для підвищення енергоефективності на суднах, і буде проведено науковий аналіз їхньої ефективності. **Результати.** Технології вітрової тяги, такі як роторні вітрила або повітряні змії, можна використовувати для зменшення споживання палива та викидів у судноплавній галузі. Ці технології використовують силу вітру для руху судна, зменшуючи потребу у викопному паливі. Хоча вітряні рушійні технології все ще є відносно новими, вони продемонстрували багатообіцяючі результати щодо зменшення споживання палива та викидів. Системи енергоменеджменту також можна використовувати для оптимізації роботи суднових двигунів і обладнання та підвищення енергоефективності. Системи керування енергією також можуть допомогти зменшити витрати на технічне обслуговування та подовжити термін служби суднового обладнання. Гібридні силові установки, які поєднують два або більше джерел енергії, також можуть допомогти підвищити енергоефективність суден. Це може зменшити споживання палива та викиди, особливо в умовах низького навантаження. Гібридні силові установки також можуть допомогти підвищити загальну продуктивність і надійність енергетичної системи судна. **Висновки.** підвищення енергоефективності суден є важливим кроком у зменшенні впливу судноплавної галузі на навколишнє середовище. Існують різні стратегії та технології, які можна застосувати для досягнення цієї мети, включаючи покриття корпусу, рекуперацію відпрацьованого тепла, системи управління енергією, гібридні системи силової установки та вітрову тягу. Хоча кожна стратегія має свої переваги та обмеження, їх спільне використання може допомогти підвищити загальну енергоефективність суден і зменшити їхній вплив на навколишнє середовище.

Ключові слова: енергоефективність суден, споживання палива суднами, вітрові рушійні технології.

Introduction. The shipping industry is a critical component of the global economy, with around 90% of the world's trade being transported by ships. However, the industry also has a significant environmental impact, contributing to around 2.5% of global greenhouse gas emissions. As such, there is a growing need to improve the energy efficiency of ships to reduce their environmental impact and comply with increasingly stringent regulations.

Improving energy efficiency on ships can also have significant economic benefits by reducing fuel consumption and operating costs. For example, a 2018 report by the International Maritime Organization (IMO) found that implementing energy efficiency measures could result in fuel savings of up to 75%, with corresponding reductions in emissions and operating costs.

Statement of the problem. Given the growing interest in improving energy efficiency on ships, there have been significant developments in technologies and strategies to achieve this goal. These range from advanced propulsion systems to hull coatings, waste heat recovery, and energy management systems. However, there is a need for further scientific analysis to assess the effectiveness of these technologies and strategies in different ship types and operating conditions, as well as to identify new solutions for improving energy efficiency in the shipping industry.

Therefore, this article will explore the various technologies and strategies available to improve energy efficiency on ships, and provide a scientific analysis of their effectiveness.

Background (Analysis of recent research and publications). The shipping industry is a significant contributor to global greenhouse gas emissions, accounting for around 2% of global emissions (around 4% in EU) in 2019. The primary source of emissions from ships is the burning of fossil fuels, which power the large diesel engines that propel the vessel through water (the shipping emission output varies on ships' types and their routes).

However, not all of the energy produced by the engine is used to move the ship. A significant amount of energy is lost through inefficiencies in the engine and transmission systems, as well as through drag caused by the ship's hull and propellers. Therefore, improving energy efficiency on ships can lead to significant reductions in fuel consumption and emissions.

The need to improve energy efficiency on ships is becoming increasingly urgent due to global efforts to address climate change. The International Maritime Organization (IMO), a United Nations agency responsible for regulating shipping, has set targets to reduce greenhouse gas emissions from the shipping industry. These include a target to reduce the carbon intensity of international shipping by at least 40% by 2030, compared to 2008 levels, and to reduce total greenhouse gas emissions from international shipping by at least 50% by 2050, compared to 2008 levels.

Improving energy efficiency on ships can also have significant economic benefits. Fuel costs can account for up to 60% of a ship's operating costs, and reducing fuel consumption can result in substantial savings, plus as per post-pandemic and war/post-war circumstances fossil fuel price will continue to grow (despite fuel spread and availability).

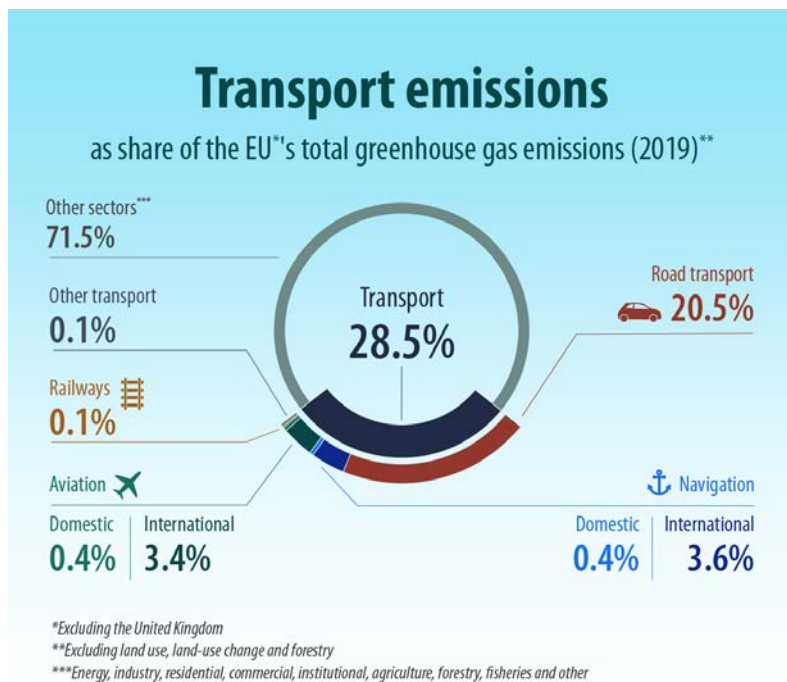


Fig. 1. Greenhouse gas emissions in EU, 2019 (info by EU Parliament) [1]

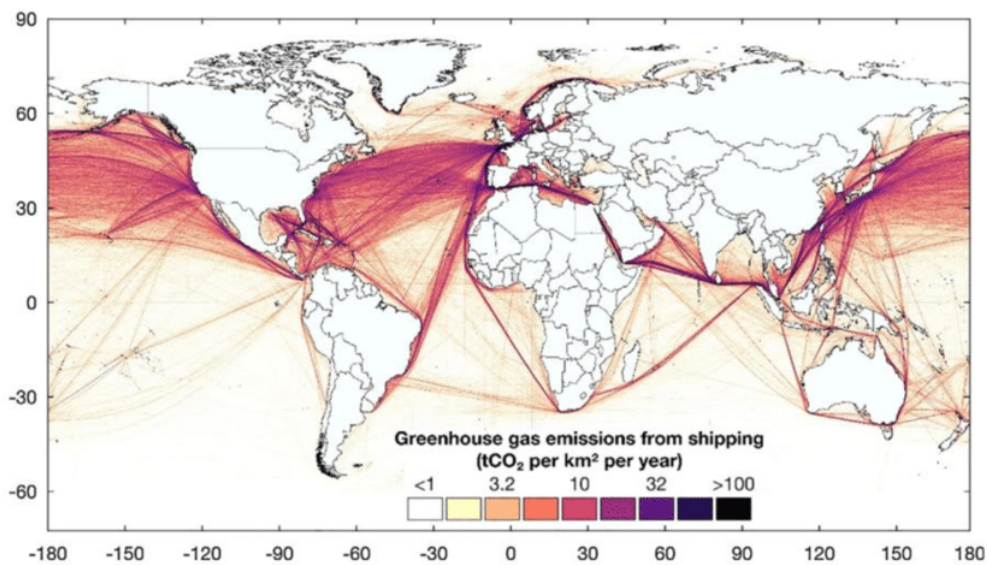


Fig. 2. Global distribution of gas emissions from shipping
(as per routes/traffic density, AIS) [2]

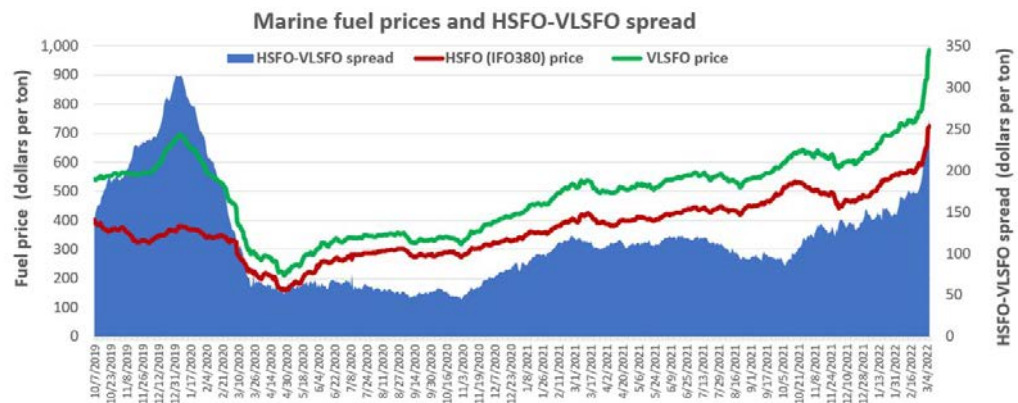


Fig. 3. HSFO/VLSFO prices worldwide, 2019-2022 (chart by “American Shipper” based on data from Ship & Bunker) [3]

In addition, improving energy efficiency can help shipping companies to comply with regulations and enhance their reputation as environmentally responsible organizations.

Purpose. Therefore, there is a growing need to identify and implement technologies and strategies to improve energy efficiency on ships. These can range from simple measures such as optimizing vessel speed and route planning to more advanced solutions such as hybrid or electric propulsion, hull coatings, waste heat recovery, and energy management systems. However, the effectiveness of these technologies and strategies can vary depending on a range of factors, including the ship's size and design, operating conditions, and maintenance practices. Therefore, it is important to carefully evaluate the potential benefits and costs of each technology or strategy on a case-by-case basis.

Technologies and strategies. There are several technologies and strategies that can be used to improve energy efficiency on ships, including but not limited to:

1. Hull coatings [4]:

Hull coatings can be used to reduce drag and improve the flow of water around the ship's hull, thereby reducing fuel consumption. For example, a silicone-based coating can reduce frictional resistance by up to 20%, while a super-hydrophobic coating can reduce drag by up to 30% [10].

Efficiency Calculation: A study conducted by the IMO estimated that a silicone-based hull coating could result in fuel savings of up to 5%, depending on the ship's size and operating conditions.

2. Waste heat recovery [5]:

Waste heat recovery systems can capture and reuse heat generated by the ship's engine, reducing the amount of fuel needed to generate the same amount of power. For example, a waste heat recovery system can recover up to 40% of the energy from the engine's exhaust gas [11].

Efficiency Calculation: A study conducted by the European Commission estimated that a waste heat recovery system could result in fuel savings of up to 10%, depending on the ship's size and operating conditions.

3. Energy management systems [6]:

Energy management systems can be used to optimize the operation of the ship's engines and equipment, reducing energy waste and improving efficiency. These systems

can monitor and control fuel consumption, adjust engine speed and power, and optimize equipment performance.

Efficiency Calculation: A study conducted by the IMO estimated that an energy management system could result in fuel savings of up to 15%, depending on the ship's size and operating conditions.

ISO 50001 is a voluntary international standard. It applies to organisations of any size, and provides requirements for establishing, managing and improving their energy consumption and efficiency.

ISO 50001 is designed to be compatible and harmonised with other system standards, such as ISO 14001 for environmental management systems and ISO 9001 for quality management systems. It is therefore ideal for integrating into existing management systems and processes such as environmental, and health and safety.

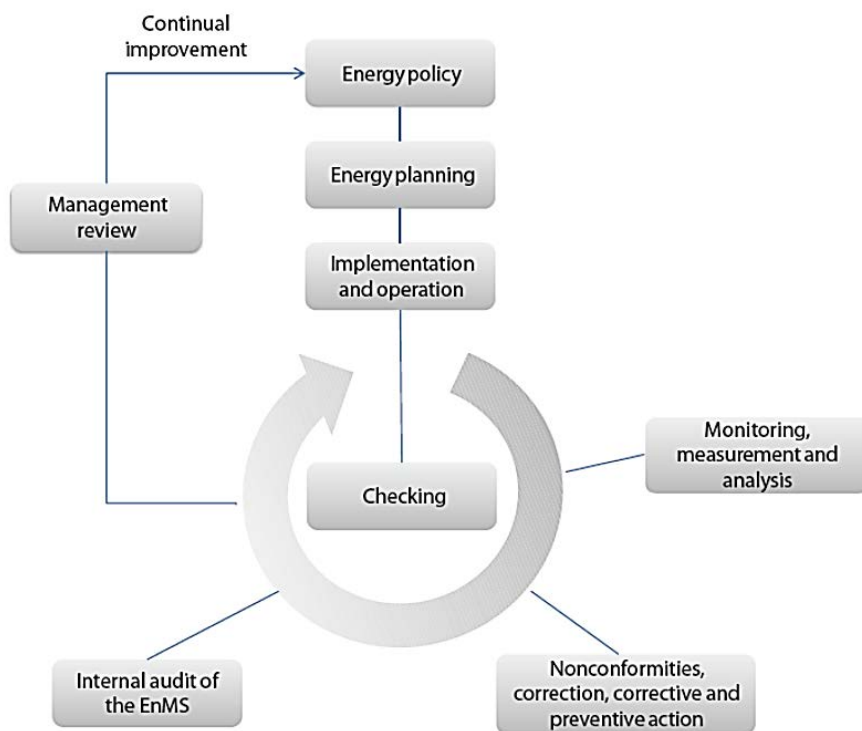


Fig. 4. ISO 50001 standard's principles for energy management systems on ships, IMO [6]

ISO 50001 assists facilities in evaluating and prioritizing the implementation of new energy-efficient technologies and in improving energy efficiency, energy use and consumption. It also creates transparency and facilitates communication on the management of energy resources. It promotes energy management best practices and behaviors, and provides a framework for promoting energy efficiency throughout the supply chain and facilitates energy management improvements for greenhouse gas emission reduction projects.

Certification to the standard can contribute to:

– Improvement of energy performance, including energy efficiency, use and energy consumption.

- Reducing environmental impact, including greenhouse gas emissions without affecting operations and simultaneously increasing profitability.
- Continual improvement of the energy management systems.
- Ensuring measurement, documentation, reporting and benchmarking of energy consumption.
- Credible market communication about energy performance efforts.

Therefore, abovementioned principles can be applied in developing various strategies for energy efficiency on ships directly, as these are something that navigators can control and maintain on the operational level.

4. Hybrid propulsion:

Hybrid propulsion systems use a combination of conventional and electric power to reduce fuel consumption and emissions. For example, a ship equipped with a hybrid propulsion system can switch between diesel and electric power depending on the operating conditions, such as when entering and leaving ports.

Efficiency Calculation: A study conducted by the European Commission estimated that a hybrid propulsion system could result in fuel savings of up to 30%, depending on the ship's size and operating conditions [7].

5. Wind propulsion [8]:

Wind propulsion systems can be used to harness the power of wind to reduce fuel consumption. These systems can range from simple sails to more advanced solutions such as rotor sails or kites [9].

Efficiency Calculation: A study conducted by the University of Delaware estimated that a rotor sail system could result in fuel savings of up to 10%, depending on the ship's size and operating conditions.

Scientific analysis. Several studies have been conducted to assess the effectiveness of these technologies and strategies in improving energy efficiency on ships. For example, a study published in the Journal of Marine Science and Engineering found that using advanced propulsion systems and hull coatings could reduce fuel consumption by up to 35% and 12%, respectively. Similarly, a study published in the Journal of Cleaner Production found that waste heat recovery systems could improve energy efficiency by up to 20%.

Hull coatings can help reduce the drag on a ship's hull, thereby reducing fuel consumption and emissions. The use of silicone-based fouling release coatings has been found to be particularly effective in reducing drag and improving energy efficiency. However, the effectiveness of hull coatings depends on the specific design and operating conditions of the ship, and some hull coatings may not be effective in all situations.

Waste heat recovery is another strategy that can improve the energy efficiency of ships. Heat recovery systems can be used to recover waste heat from the ship's engine and other equipment, and convert it into useful energy. This energy can then be used to power the ship's systems, thereby reducing the need for fossil fuels. There are various waste heat recovery technologies available, including steam turbines, organic Rankine cycles, and thermoelectric generators.

Energy management systems can also be used to optimize the operation of a ship's engines and equipment, and improve energy efficiency. These systems can monitor and control the ship's energy consumption, and provide real-time data to the crew to help

them make more informed decisions about energy use. Energy management systems can also help reduce maintenance costs and extend the lifespan of the ship's equipment.

Hybrid propulsion systems, which combine two or more power sources, can also help improve the energy efficiency of ships. For example, a hybrid propulsion system may combine a diesel engine with an electric motor, allowing the ship to operate on either power source as needed. This can reduce fuel consumption and emissions, especially during low-load conditions. Hybrid propulsion systems can also help improve the overall performance and reliability of the ship's power system.

Finally, wind propulsion technologies, such as rotor sails or kite sails, can be used to reduce fuel consumption and emissions in the shipping industry. These technologies harness the power of wind to propel the ship, reducing the need for fossil fuels. While wind propulsion technologies are still relatively new, they have shown promising results in terms of reducing fuel consumption and emissions.

Conclusion. In conclusion, improving the energy efficiency of ships is an important step in reducing the shipping industry's impact on the environment. There are various strategies and technologies that can be employed to achieve this goal, including hull coatings, waste heat recovery, energy management systems, hybrid propulsion systems, and wind propulsion. While each strategy has its advantages and limitations, their combined use can help improve the overall energy efficiency of ships and reduce their impact on the environment.

REFERENCES

1. EU Parliament. "Emissions from planes and ships: facts and figures (infographic)." Available at <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20191129STO67756/emissions-from-planes-and-ships-facts-and-figures-infographic>
2. Tuswan Tuswan, "Current research outlook on solar-assisted new energy ships: representative applications and fuel & GHG emission benefits", The 3rd Maritime Safety International Conference (MASTIC) 2022
3. Greg Miller, "Marine fuel prices overview", 2022, available at <https://www.freightwaves.com/news/russian-invasion-propels-price-of-ship-fuel-to-historic-high>
4. International Maritime Organization. "The Potential for Hull and Propeller Performance Monitoring and Retrofit to Improve Ship Energy Efficiency." Available at <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/The%20potential%20for%20hull%20and%20propeller%20performance%20monitoring%20and%20retrofit%20to%20improve%20ship%20energy%20efficiency.pdf>
5. University of Strathclyde. "A Review of Waste Heat Recovery Technologies for Marine Applications." Available at <https://pureportal.strath.ac.uk/files/32631509/Fulltext.pdf>
6. International Maritime Organization. "Energy Management System for Ship Energy Efficiency." Available at <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Energy%20Management%20System%20for%20Ship%20Energy%20Efficiency.pdf>

7. European Commission. "Hybrid Propulsion System for Shipping." Available at https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/transport/shipping/docs/study_hybrid_propulsion_system_for_shipping_en.pdf
8. International Windship Association. "Wind Propulsion Technologies for Shipping." Available at <https://wind-ship.org/wp-content/uploads/2019/11/Wind-Propulsion-Technologies-for-Shipping.pdf>
9. University of Delaware. "Cleaner Shipping: Health and Environmental Impacts of Port-Related Shipping Emissions." Available at <https://www.udel.edu/content/dam/udelImages/cbe/research/epa/epaFinalReport.pdf>
10. University of Southampton. "On the Potential of a Silicone-Based Fouling Release Coating to Enhance the Energy Efficiency of Ships." Available at <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.08.029>
11. Korea Association of Machinery Industry. "Heat Recovery System from Main Engine Exhaust Gas for Cargo Ships." Available at <https://www.osti.gov/servlets/purl/1287502>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ НА ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА

О.М. Шумило

к.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1954

Анотація

Модернізація є одним з напрямів підвищення конкурентоспроможності судноплавних компаній, зокрема тих, які провадять морський круїзний бізнес. Для морських круїзних суден, життєвий цикл яких складає понад тридцять років, характерно проведення робіт з модернізації, одним з особливих напрямків якої є збільшення довжини судна за рахунок виготовлення додаткової вставки корпусу. При реалізації цього проєкту отримуємо судно з власними оновленими (відміними від судна-прототипу) технічними, експлуатаційними, економічними характеристиками, що потребує додаткових досліджень морехідних якостей і енергозабезпечення.

Життєвий цикл пасажирського флоту, на відміну від флоту торговельного, характеризується багато більшою вартістю і тривалістю, тому і стратегія модернізації його повинна мати особливі підходи і напрямки.

У зв'язку з чим роботі запропоновано удосконалену структуру напрямків проведення модернізації пасажирських суден, які зосереджуються на реновації корпусу, конверсії, переобладнанні суднових інженерних систем і комплексів та внутрішньосуднової архітектури.

Оцінка морехідних якостей, зокрема ходовості, модернізованого судна вимагає попереднього проведення аналізу факторів, які впливають на розрахункове визначення водотоннажності, осадки, коефіцієнтів повноти суден з додаванням циліндричної вставки. Удосконалено метод визначення безрозмірних коефіцієнтів повноти, який полягає в забезпеченні мінімальної висоти надводного борту у відповідності до вимог Міжнародної конвенції про вантажну марку. Виконано кількісну оцінку впливу подовження суден на їх геометричні характеристики на прикладі суден-кандидатів на проведення розмірної модернізації, що дасть можливість проводити уточненні розрахунки ходовості.

Ключові слова: пасажирське судно, розмірна модернізація, циліндрична вставка, геометричні характеристики корпусу.

IMPACT OF DIMENSIONAL MODERNIZATION ON THE GEOMETRIC
CHARACTERISTICS OF A PASSENGER SHIP

O.M. Shumylo

PhD in Engineering, Professor at the Department of Ship Power Plants
and Technical Operation,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1954

Summary

Modernization is one of the ways to increase the competitiveness of shipping companies, in particular those that conduct sea cruise business. For marine cruise ships, the life cycle of which is more than thirty years, it is typical to carry out modernization works, one of the special directions of which is to increase the length of the ship due to the addition of an additional hull insert. When implementing this project, we get a ship with its own updated (different from the prototype ship) technical, operational, and economic characteristics, which requires additional research into seaworthiness and energy supply.

The life cycle of the passenger fleet, unlike the commercial fleet, is characterized by a much higher cost and duration, therefore the strategy of its modernization should have special approaches and directions. The work proposes an improved structure of directions for carrying out the modernization of passenger ships, which focus on hull renovation, conversion, conversion of ship engineering systems and complexes, and in-ship architecture. An analysis of the factors influencing the calculation of the tonnage, draft, and fullness coefficients of ships with the addition of a cylindrical insert was carried out. The method of determining dimensionless coefficients of completeness has been improved, which consists in ensuring the minimum height of the freeboard in accordance with the requirements of the International Convention on Cargo Marking. A quantitative assessment of the impact of lengthening ships on their geometric characteristics was performed using the example of candidate ships for dimensional modernization.

Key words: *passenger ship, dimensional modernization, cylindrical insert, geometric characteristics of the hull.*

Постановка проблеми і огляд літератури. Сучасний етап розвитку галузі морських круїзних перевезень демонструє сталий розвиток. Вона впевнено долає наслідки, заподіяні епідемією вірусу SARS-CoV-2, і поступово досягає на показників перевезення пасажирів до 2019 року, динаміка зростання яких досягла більше ніж 22,2 млн. пасажирів на рік. Даний тренд зростання попиту згідно прогнозам експертного середовища буде залишатися і в найближчому майбутньому. Очевидне рішення судновласників, яке випливає з цього, – спорудження нових лайнерів, що призводить до завантаження суднобудівних фірм, найбільші з яких STX Europe, Mitsubishi Heavy Industries, Mayer Werft і Fincantieri – завантажені, і мають замовлення на роки вперед. Крім того, швидкому задоволенню попиту перешкоджає висока вартість спорудження цих суден і досить значна, в порівнянні з транспортними суднами, тривалість виробництва – в середньому 1,5 роки.

Альтернативні стратегічні рішення щодо задоволення попиту – придбання бувшого у використанні судна або оренда суден у інших компаній (фрахт), що може

викликати ускладнення, обумовленні зростанням цього ринку – зменшенням відповідних пропозицій.

Серед системних рішень щодо розвитку круїзних компаній є модернізація свого флоту, яка зменшує рівень морального і фізичного старіння суден, є потужним інструментом збільшення її конкурентоспроможності. Так вона має переваги спорудження нових суден – покращення техніко-економічних і техніко-експлуатаційних характеристик, і відповідним чином зменшує недоліки – високу вартість і тривалість виробництва. Вартість модернізації пасажирських суден може досягати від 10% до 30% від початкової вартості виготовлення судна даного проекту [1, 2], при цьому пасажиромісткість збільшується на 15%...20%.

Мета дослідження. Метою дослідження є удосконалення методу визначення геометричних характеристик пасажирських суден при їх розмірній модернізації.

Досягнення мети базується на послідовному розгляді наступних задач:

- 1) визначення основних напрямів модернізації пасажирських суден і її структури;
- 2) дослідження впливу розміру циліндричної вставки на геометричні характеристики судна абсолютні і відносні;
- 3) кількісна оцінка зміни водотоннажності, осадки, коефіцієнтів повноти в залежності від нової довжини судна, що залежить від додаткової вставки корпусу.

Дослідження особливостей впливу розмірної модернізації і переобладнання на визначення елементів і характеристик пасажирського судна. На сьогоднішній час існує низка визначень і тлумачень терміну модернізація, які дають сутнісну і разом з тим узагальнену характеристику цього процесу. На нашу думку, вони не віддзеркалюють унікальності і особливості судноплавної індустрії, і пропонуємо таку трактовку – модернізація системний процес вдосконалення, покращення конкурентоспроможності пасажирських суден з забезпеченням екологічних, безпекових норм і правил, регламентованих міжнародним морським і національним законодавством шляхом застосування науково-дослідних, конструкторських, технологічних, фінансово-економічних заходів і процедур.

Модернізація суден шляхом збільшення їх розмірів мала давню практику застосування в торговому судноплаванні, оскільки враховуючи вагому вартість будівництва суден, вона виступає як ефективний інструмент конкурентоспроможності судноплавної компанії. Не зважаючи на збільшення кількості нових суден, термінів їх окупності, в світовому масштабі зберігається сталий попит на їх модернізацію. До речі слід відмітити, що провідні українські суднобудівні і судноремонтні підприємства мають відповідний досвід у виконанні таких робіт, тільки за останні три роки було модернізовано: на суднобудівному заводі «Океан» (м. Миколаїв) суховантажне судно проекту 17620 типу «Буг»; на суднобудівному і судноремонтному підприємстві «Дунайсудноремонт» (м. Ізмаїл) балкери «Stavr», «St. Constantine», багатопільові судна проекту RSD041 і «Dremora 3» за проектами Морського інженерного бюро (м. Одеса).

Однозначної трактовки щодо структури об'єму поняття «модернізація суден» поки що не сформульовано. Різні дослідники вкладали в нього окремих зміст і визначали модернізацію судна як: розмірну модернізацію і переобладнання (проф. Гундобін А., проф. Фінкель Г.), конверсію, що проводиться трьома напрямками (проф. Єгоров Г.О.), переобладнання, реновацію і модернізацію

СЕУ (проф. Лазарев О.М.). Разом з тим для життєвого циклу пасажирських суден, враховуючи їх високу вартість, характерно періодичне проведення модернізацій різного об'єму і складності, що потребує додаткового аналізу структури модернізаційних робіт [3–13]. Структурно етапи модернізації пасажирських суден пропонується подати у вигляді відповідної схеми (рис. 1), яка змістовно охоплює найбільші групи робіт.



Рис. 1. Структура основних напрямків при проведенні модернізації пасажирського судна

Розглянемо кожний напрямок модернізації згідно рис.1. Реновація (від лат. *renovation* – оновлення) в морській індустрії застосовується як процес реконструкції, покращення, оновлення корпусу без внесення змін в його структуру. Здійснювати даний процес було запропоновано на початку 90-х років минулого сторіччя кваліфікаційним товариством Норвежським БюроVeritas (Det Norske Veritas) і англійським Регістром Ллойда (Lloyd's Register). Підсумковими результатами реновації є отримання відповідного сертифікату класифікаційного товариства – *hull renovation*, що засвідчує рівні реновації 1SS, 2SS і 3SS. Ці рівні вказують на відповідність стану корпусу після п'яти, десяти та п'ятнадцяти років експлуатації відповідно. Враховуючи незначну ступінь пошкодження металоконструкцій корпусів пасажирських суден в результаті експлуатації, реновація для них проводиться обмежено на відміну від корпусів вантажних суден.

Конверсія (від лат. *conversion* – перетворення, заміна) в практиці суднобудування і судноремонту передбачає модифікацію конструкції корпусу, його елементів і структури, яка здійснюється з метою зміни призначення судна, збільшення розмірів судна, будівництва нових суден з залученням частини старих односерійних. В результаті конверсії отримуємо судно з новими техніко-експлуатаційними і техніко-економічними характеристиками.

Переобладнання судових інженерних систем і комплексів, полягає в заміні морального і фізично застарілого обладнання, яке не відповідає сучасним економічним, екологічним технічним критеріям.

Переобладнання внутрішньо-судової архітектури – приміщень, зон відпочинку, розваг, сервісу, харчування, кают, здійснюється достатньо регулярно протягом життєвого циклу пасажирського судна, який 25 і більше років.

Основну уваги серед перехованих етапів заслуговує конверсія, що забезпечує збільшення розмірів судна, в літературі для такого вид конверсії розповсюджена назва розмірна модернізація. Збільшення розмірів суден здійснюється одномірним двомірним, тримірним зростанням розмірів корпусу.

Одномірне збільшення корпусів здійснюються за наступними технічними рішеннями:

- додаванням циліндричної вставки в районі мідель-шпангоута, (наприклад круїзні лайнери: «MSC Armonia» (58625 GT, 2001 року будівництва), «MSC Sinfonia» і «MSC Lyrica» (59058 GT, 2003 року будівництва), «MSC Opera» (59058 GT, 2004 року будівництва);
- заміна кормової частини іншою зі збільшеним розміром (пасажирське судно «Astoria»-«Stockholm» 12165 GT, 1948 року будівництва);
- заміна носової частини;
- збільшення висоти судна, що досягається додатковим нарощуванням верхніх палуб.

При двомірному збільшенні корпусів технологія конверсії передбачає сукупність операцій зі збільшення довжини і висоти судна, що досягається шляхом додавання: циліндричної вставки в районі мідель-шпангоута, заміною носової та/або кормової частини, палуби (декількох) палуб надбудови корпусу (круїзне судно «Costa neoRomantica 53049 GT, 1993 року будівництва). Двомірне збільшення здійснити теоретично також можливо, якщо, крім довжини збільшити і ширину корпусу, але, враховуючи складність конструкції пасажирських лайнерів, такі проекти практично не реалізуються. Аналогічного висновку можна прийти, розглядаючи роботи по тримірному збільшенню судна – довжини, ширини, висоти.

Незважаючи на величезний досвід науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, який накопичено в світовій і вітчизняній практиці проектування суден, при проведенні розмірної модернізації судна зі змінами, що вносяться в конструкцію корпусу, відбувається відповідний вплив на його геометричні параметри і співвідношення, і тому виникає необхідність провести їх додаткові дослідження і розрахунки.

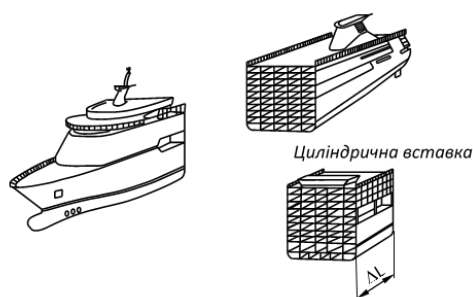


Рис. 2. Вставка додаткової секції в районі мідель-шпангоуту пасажирського судна

Розглянемо найпоширеніший вид розмірної модернізації, що характеризується найнижчою собівартістю робіт – додавання циліндричної вставки в області мідель-шпангоута рис.1, і визначимо нову довжину судна

$$L = L_0 + \Delta L, \quad (1)$$

де L_0 – початкова довжина судна,

ΔL – довжина додаткової секції (циліндричної вставки).

Міжнародна Конвенція з вантажної марки 1966 р. (International Convention on Load line 1966) [14], яка у внормовує значення мінімальної висоти борта в залежності від довжини судна. Ці значення подаються в конвенції в табличному вигляді – Free board table, на підставі якої отримуємо графічне представлення функції $F = F(L)$

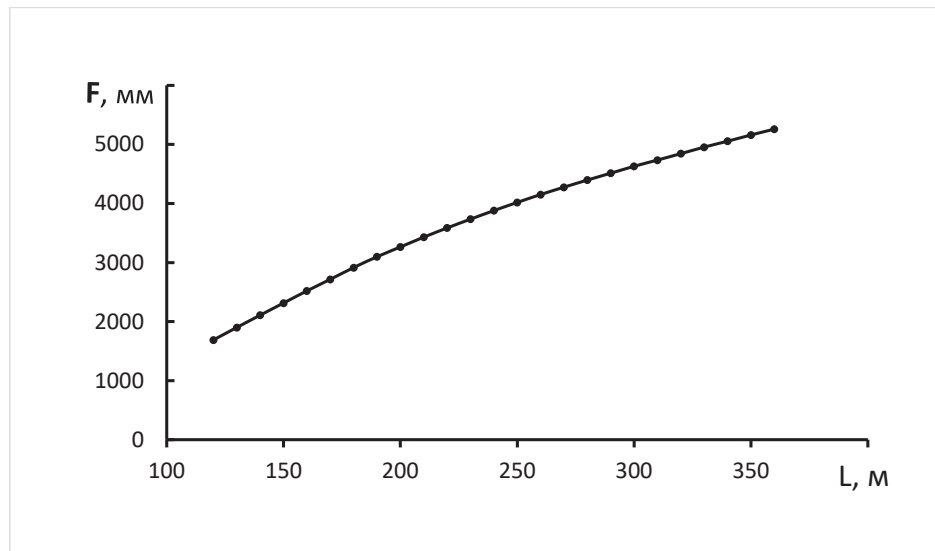


Рис. 3. Графік залежності висоти F надводного борту від довжини судна L

Хоча цей графік являє собою нелінійну функцію, окремі ділянки якої в межах фізично обґрунтованої величини збільшення корпусу $L = L - L_0$, можуть бути апроксимовані лінійною функцією. Користуючись рівнянням прямої, що проходить через одну точку виду $y - y_0 = k(x - x_0)$, запишемо

$$F - F_0 = k_F (L - L_0) = k_F L, \quad (2)$$

де F_0 – висота надводного борту до подовження судна,

F – висота надводного борту після подовження судна.

k_F – кутовий коефіцієнт прямої, який має такий фізичний зміст: характеризує відносне збільшення висоти величини F при збільшенні довжини судна на 1 м, тобто

$$k_F = \frac{F - F_0}{L - L_0} \quad (3)$$

У зв'язку з лінійною апроксимацією кривої (рис. 3) на ділянці подовження судна $L - L_0$ з урахуванням формули (3), отримаємо залежність що дозволяє визначати значення коефіцієнта k_F в залежності від довжини судна

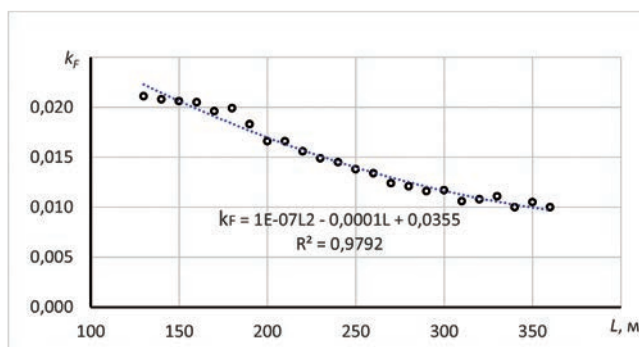


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта k_F від довжини судна L

Очевидно, що зі збільшенням висоти надводного борту F осадка зменшується, на величину T , тобто нова осадка збільшеного судна

$$T = T_0 - \Delta T = T_0 - k_F L, \quad (4)$$

де T_0 – осадка судна до подовження.

Враховуючи сідлова їсть судна значення коефіцієнту k_F , отриманого за рис. 4, рекомендується збільшити в 1, 003 рази [3].

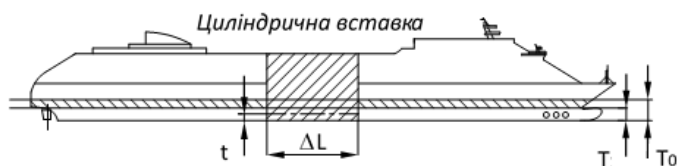


Рис. 5. Зменшення осадки судна при подовженні судна за допомогою циліндричної вставки

Додаткова циліндрична вставка дозволяє збільшити початкову водотоннажність судна, але разом з тим завдяки виникненню додаткової плавучості зменшується осадка T , що призводить до зменшення загальної водотоннажності збільшеного судна, таким чином отримуємо вираз для об'ємної водотоннажності

$$V = V_0 + V_{L_0 \rightarrow L} - V_{T_0 \rightarrow T}, \quad (5)$$

де V_0 – початкова водотоннажність судна,

$V_{L_0 \rightarrow L}$ – об'єм циліндричної вставки, що подовжує судно, при новій осадці T ,

$V_{T_0 \rightarrow T}$ – зміна (втрата) об'єму судна за рахунок збільшення надводного борта (зменшення осадки).

Перший об'єм визначаємо за очевидним рівнянням

$$V_{L_0 \rightarrow L} = \beta_T B T \Delta L, \quad (6)$$

де β_T – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута при осадці T ;

B – ширина судна;

ΔL – довжина вставки.

З урахуванням виразу (4) рівняння (6) запишеться у вигляді

$$V_{L_0 \rightarrow L} = \beta_T B (T_0 - k_F L) \Delta L = \beta_T B T_0 \Delta L - \beta_T B k_F L^2, \quad (7)$$

Другий об'єм $V_{T_0 \rightarrow T}$ підраховується за залежністю

$$V_{T_0 \rightarrow T} = \left(\frac{A_0 + A}{2} \right) k_F \Delta L, \quad (8)$$

де A_0 – початкова площа конструктивної ватерлінії при початковій осадці T_0 ,
 A – площа конструктивної ватерлінії при новій осадці T .

Таким чином, рівняння (5) буде перетворено до виду

$$V = V_0 + \beta_T B T_0 \Delta L - \beta_T B k_F L^2 - \left(\frac{A_0 + A}{2} \right) k_F \Delta L, \quad (9)$$

з чого випливає, що функція $V = f(\Delta L)$ є квадратичною.

На рис. 6 показані результати розрахунку об'ємної водотоннажності трьох круїзних лайнерів: «Eurodam», «MSC Opera», «AIDA mar», «Celebrity Reflection» при збільшенні довжини судна $L = L_0 + \Delta L$ за рахунок циліндричної вставки (рис. 2 і рис. 5). Відносне збільшення водотоннажності суден у порівнянні з початковою складає: для «MSC Opera» 4,9%, «Eurodam» 7,8%, «AIDA mar» 9,4%, «Celebrity Reflection» 6,5%. Водотоннажність суден при подовженні збільшується за законом параболі.

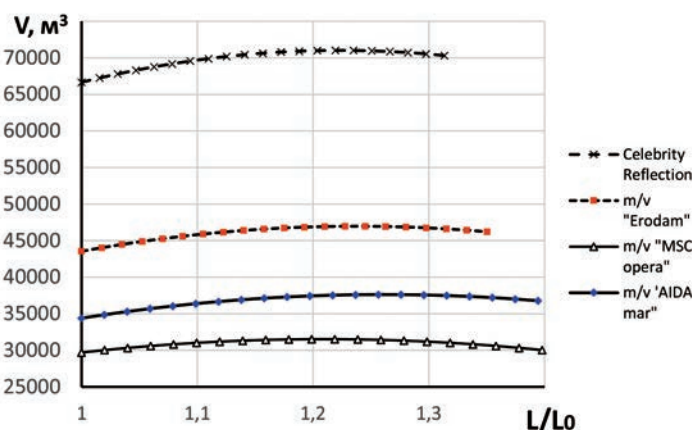


Рис. 6. Графік залежності об'ємної водотоннажності V від відносної довжини L/L_0 ($(L_0 + \Delta L) / L_0$) суден:

«MSC Opera» (номер IMO: 9250464, 2006, GT59058, $L_0=251,2$ м, $T_0=6,6$ м);

«Eurodam» (номер IMO: 9378448, 2008, GT 86273, $L_0=285$ м, $T_0=7,9$ м);

«AIDA mar» (номер IMO: 9490052, 2012, GT 71304, $L_0=253$ м, $T_0=7,3$ м);

«Celebrity Reflection» (номер IMO: 9506459, 2012, GT125363, $L_0=319$ м, $T_0=8,6$ м)

Величини зміни осадки суден в залежності від довжини судна (розміру вставки) показані на рис. 7, з якого випливає, що осадка суден при збільшенні довжин суден до 40% змінюється лінійно наступним чином для: «MSC Opera» – на 24,2%, «AIDA mar» – на 21,2%, «Eurodam» – 20,2%, «Celebrity Reflection» – 18,6%.

Проведемо оцінку впливу подовження судна на безрозмірні коефіцієнти повноти. Коефіцієнт загальної повноти судна, що визначається за відомою формулою до подовження

$$\delta_0 = \frac{D_0 10^3}{\rho B_0 L_0 T_0},$$

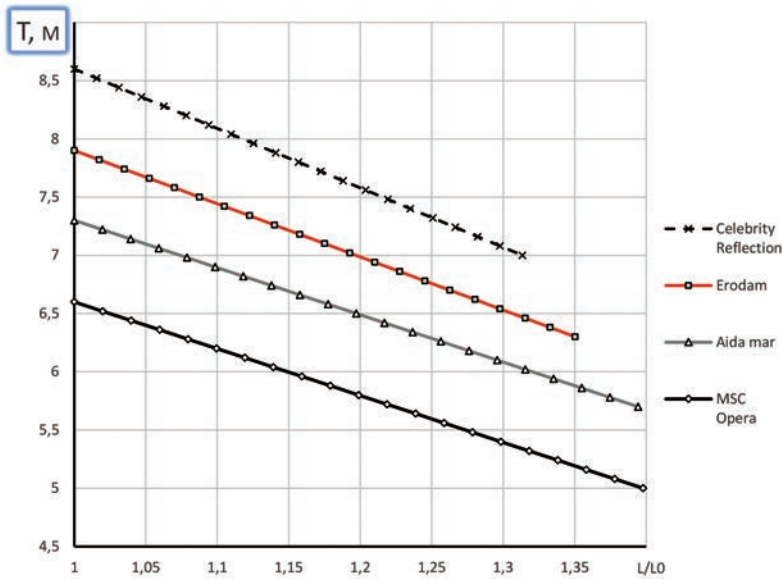


Рис. 7. Графік залежності осадки T від відносної довжини L/L_0 ($(L_0 + \Delta L) / L_0$) при подовженні суден

і після подовження

$$\delta = \frac{D10^3}{\rho B_0 L T},$$

де D_0, D – водотоннажність (вагова) до і після подовження судна, т;

ρ – густина морської води, т/м³;

B_0 – ширина судна, м;

L_0, L – довжина судна до і після подовження, м;

T_0, T – осадка судна до і після подовження, м.

Зміну коефіцієнта загальної повноти можна представити у вигляді

$$\delta = \delta_0 + \Delta\delta, \quad (10)$$

де $\Delta\delta$ – поправка, що враховує зміну коефіцієнту повноти внаслідок зміни довжини судна, яку можливо розрахувати з урахувань викладених попередньо думок

$$\Delta\delta = \delta - \delta_0 = \frac{10^3}{\rho B_0} \left(\frac{D}{LT} - \frac{D_0}{L_0 T_0} \right). \quad (11)$$

Цей вираз переписеться у вигляді, спираючись на формулу (4)

$$\begin{aligned} \Delta\delta &= \frac{10^3}{\rho B_0} \left(\frac{D}{(L_0 + \Delta L)T} - \frac{D_0}{L_0 T_0} \right) = \frac{10^3}{\rho B_0} \left(\frac{D}{(L_0 + \Delta L)(T_0 - k_F L)} - \frac{D_0}{L_0 T_0} \right) = \\ &= \frac{10^3}{\rho B_0 L_0} \left(\frac{D}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{D_0}{T_0} \right) \end{aligned}$$

Тоді рівняння (10) приводиться до вигляду

$$\delta = \delta_0 + \Delta\delta = \delta_0 + \frac{10^3}{\rho B_0 L_0} \left(\frac{D}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{D_0}{T_0} \right).$$

Виражаючи водотоннажність D через об'ємну водотоннажність $V - D = V\rho / 10^3$, а її – через залежність (9) з останньої рівності отримаємо

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_0 + \frac{1}{B_0 L_0} \left(\frac{V}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{V_0}{T_0} \right) = \\ &= \delta_0 + \frac{1}{B_0 L_0} \left(\frac{V_0 + \beta_T B T_0 \Delta L - \beta_T B k_F L^2 - \left(\frac{A_0 + A}{2} \right) k_F \Delta L}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{V_0}{T_0} \right). \end{aligned} \quad (12)$$

Визначення інших безрозмірних коефіцієнтів повноти будемо проводити з застосуванням кореляційних залежностей, що застосовуються в відомому методі Холтропа (J. Holtrop) і Менена (G.G.J. Mennen) визначення буксирувального опору судна [7-11]. Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута визначається за виразом

$$\beta = 0,977 + 0,085(\delta - 0,6) = 0,085\delta + 0,946,$$

який з урахування (12) прийме вигляд

$$\begin{aligned} \beta &= 0,085 \left[\delta_0 + \frac{1}{B_0 L_0} \left(\frac{V_0 + \beta_T B T_0 \Delta L - \beta_T B k_F L^2 - \left(\frac{A_0 + A}{2} \right) k_F \Delta L}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{V_0}{T_0} \right) \right] + 0,946 \end{aligned}$$

Коефіцієнт повноти площі ватерлінії розраховується згідно формулою

$$\alpha = 0,706 + 0,825(\delta - 0,6) = 0,825\delta - 0,211$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,825 \left[\delta_0 + \frac{1}{B_0 L_0} \left(\frac{V_0 + \beta_T B T_0 \Delta L - \beta_T B k_F L^2 - \left(\frac{A_0 + A}{2} \right) k_F \Delta L}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{V_0}{T_0} \right) \right] - 0,211 \end{aligned}$$

Через розраховані коефіцієнти δ і β можна розрахувати коефіцієнт повздовжньої повноти $\varphi = \frac{\delta}{\beta}$, тобто

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\delta_0 + \frac{1}{B_0 L_0} \left(\frac{V_0 + \beta_T B T_0 \Delta L - \beta_T B k_F L^2 - \left(\frac{A_0 + A}{2} \right) k_F \Delta L}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{V_0}{T_0} \right)}{0,085 \left[\delta_0 + \frac{1}{B_0 L_0} \left(\frac{V_0 + \beta_T B T_0 \Delta L - \beta_T B k_F L^2 - \left(\frac{A_0 + A}{2} \right) k_F \Delta L}{(1 + \Delta L / L_0)(T_0 - k_F L)} - \frac{V_0}{T_0} \right) \right] + 0,946} \end{aligned}$$

Результати розрахунку вказаних коефіцієнтів показані на рис. 8 – рис. 11, для розглянутих типів суден, що пропонується модернізувати шляхом одновимірного збільшення довжини L/L_0 $(1+\Delta L)/L_0$ з додаванням циліндричної вставки. Значення коефіцієнтів δ , β , α , φ змінюються за параболічною функцією, відхилення розрахункових величин від початкових значень δ_0 , β_0 , α_0 , φ_0 складало:

«MSC Opera» – на 5,3%,
«AIDA mar» – на 4,7%,
«Eurodam» – 3,2%,
«Celebrity Reflection» – 2,3%.

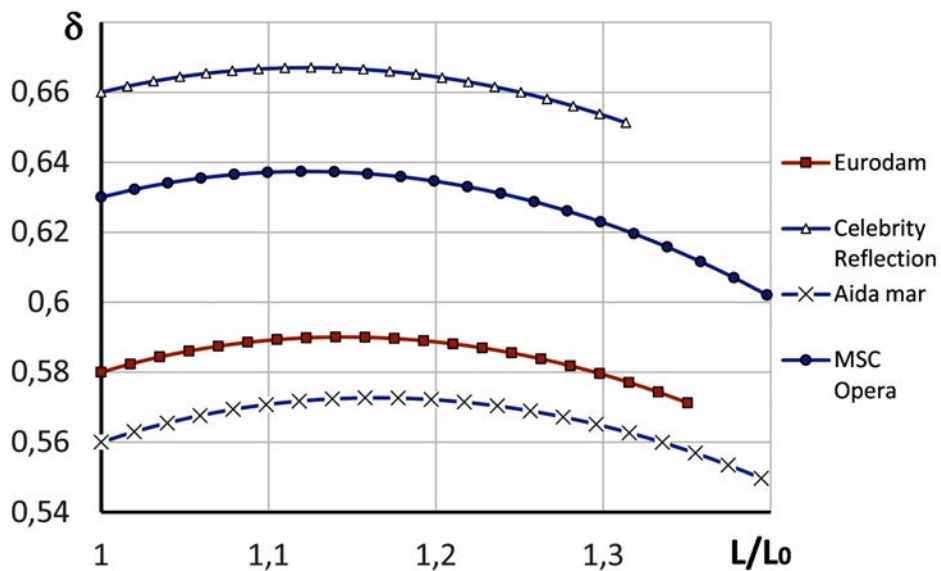


Рис. 8. Графік зміни коефіцієнта загальної повноти в залежності від зміни довжини судна

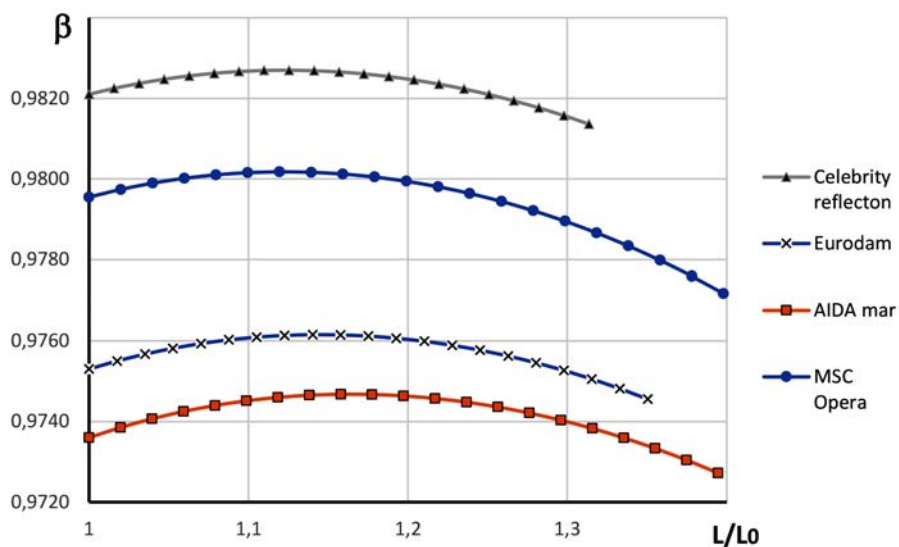


Рис. 9. Графік зміни коефіцієнта повноти мідель-шпангоута в залежності від зміни довжини судна

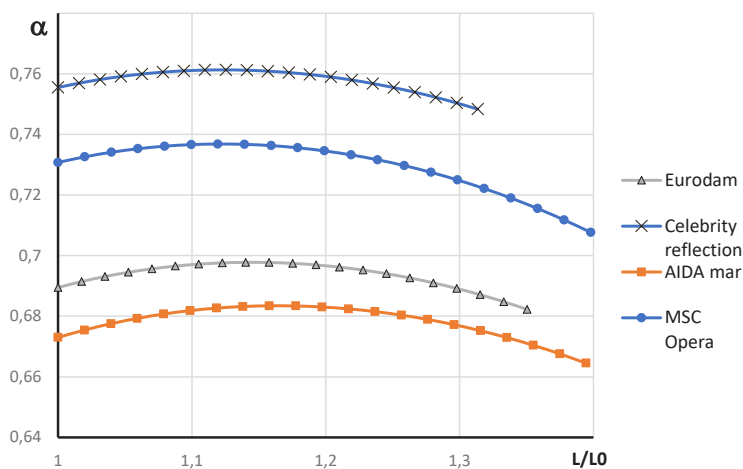


Рис. 10. Графік зміни коефіцієнта повноти площі ватерлінії в залежності від зміни довжини судна

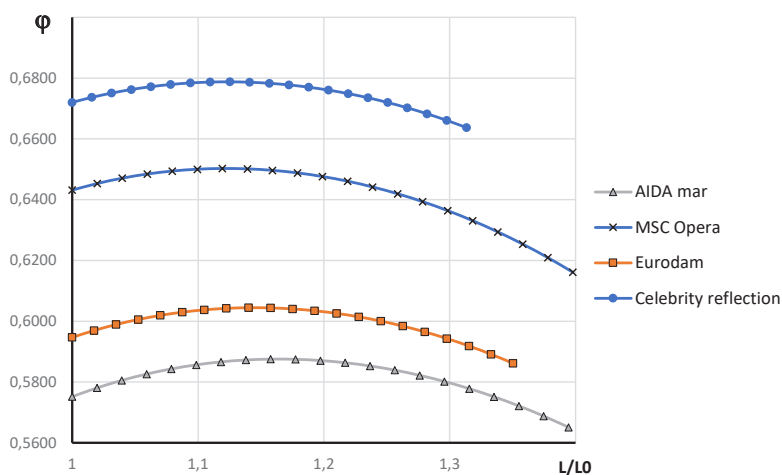


Рис. 11. Графік зміни коефіцієнта повздовжньої повноти в залежності від зміни довжини судна

Висновки. Підвищення конкурентоспроможності пасажирських суден є одною з головних задач судноплавних компаній на ринку морських круїзів, попит на які останні три десятиліття демонструє стале зростання. Компанії мають низку стратегічних напрямків, інструментів для утримання своїх позицій на ринку і задоволення збільшуваного попиту на круїзи – інженерно-технічних, економічних, маркетингових, організаційних.

Одним з таких інструментів є модернізація суден, яка полягає в зменшенні їх морального і фізичного зношування, і наблизенні техніко-експлуатаційних характеристик сучасним вимогам круїзного ринку.

В роботі запропоновано створити нову структуру основних напрямків модернізації, яка включає реновацію корпусу, конверсію, переобладнання інженерних

систем і комплексів, переобладнання внутрішньосуднової архітектури; досліджено вплив розмірної одномірної модернізації, виходячи з вимог Міжнародної конвенції про вантажну марку 1966, на геометричні характеристики судна – водотоннажність, осадку, висоту мінімального борта, безрозмірних коефіцієнтів повноти, що впливають на оцінку морехідних якостей, зокрема ходовості, і техніко-експлуатаційних характеристик, шляхом удосконалення розрахункових і розрахунково-експериментальних методів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шумило, О. (2022). Визначення оптимальних розмірів подовження пасажирських суден у процесі їх модернізації. *Розвиток транспорту*, (1(12)), 85-104. <https://doi.org/10.33082/td.2022.1-12.08>.
2. Шумило, О. (2023). Оптимізація розмірної модернізації пасажирських суден з урахуванням енергоефективності. *Розвиток транспорту*, (4(15)), 58-77. <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.06>.
3. (2019). *Cruise Ship Repairs and Refits (Feature 3)* // *Shiprepair & Maintenance*. London (UK): Royal Institute of Naval Architects, 28-35.
4. Egorov, G.V., Ilytskyi, I.A. (2016). Design study of icebreaking ferry for Sakhalin island // *Proc. of the 13th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS 2016)*. Copenhagen, Denmark, 8 p.
5. Payne S.M. (2019). *Designing Passenger Ships* // Keynote lecture of the Intern. Conf. «Design & Operation of Passenger Ships». London, Royal Institution of Naval Architects, 68 slides (ppt format presentation).
6. Kim, H.K., Ban, Y.H., (2000), “The tendency of International Convention on the Passenger ship”, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*. Vol 37. No.4, pp. 32-46
7. Lee, G.H., Kim, J.H., Jang, H.S., Chun, H.H. (2004), “Development of Medium Size High Speed Ro-Pax Vessel”, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*. Vol 41. No.1, pp 64-69.
8. Choi, S.H., Kim, J.J., Lee, G.H., Kim, S.E., Ahn, S.M. (2003), “Hydrodynamic Development of 154m class ro-ro passenger ferry”, *FAST 2003*, pp 93-100.
9. Delta Marine Report, 2008, “Performance record of conversion”, PP 1-2
10. Delta Marine Report, 2005, *Carnival Conquest Cruise ship - Proposal for Hill appendage Modification in order to reduce fuel consumption*.
11. IMO Circular letter 1891, 1995, *Regional agreement concerning specific stability requirements for ro-ro passenger ship*.
12. SOLAS Conference, 1995, *For the application of specific stability requirement to ro-ro passenger ship*.
13. M. Mohammad Nurul, S. Dony and WM Dananjaya (2018), "Construction strength analysis of landing craft tank conversion to passenger ship using finite element method," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 924, Pp. 2-9.

14. International Convention on Load Lines. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Load-Lines.aspx>
15. Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., 'A statistical power prediction method', International Shipbuilding Progress, Vol. 25, October 1978 – P. 223-256.
16. Holtrop, J. A statistical analysis of performance test result // International Shipbuilding Progress. 1977. Vol. 24, No 3. P. 23-28.
17. Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., 'An approximate power prediction method//, International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 335. P. 166-170.

REFERENCES

1. Shumylo, O. (2022). Determining the optimal length of passenger ships in the process of their modernization [Vyznachennyi optymalnykh rozmiriv podovzhennyi pasazyrskyi suden v procesi modernizatsiy]. Rozvytok transportu, (1(12)), 85-104. <https://doi.org/10.33082/td.2022.1-12.08> [in Ukrainian].
2. Shumylo, O. (2023). Optimization of dimensional modernization of passenger ships taking into account energy efficiency [Optymizatsiya rozmirnoyi modernizatsiyi pasazyrskykh suden z urakhuvannyam enerhoefektyvnosti]. Rozvytok transportu, (4(15)), 58-77. <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.06>. [in Ukrainian].
3. (2019). Cruise Ship Repairs and Refits (Feature 3) // Shiprepair & Maintenance. London (UK): Royal Institute of Naval Architects, 28-35.
4. Egorov, G.V., Ilnytskiy, I.A. (2016). Design study of icebreaking ferry for Sakhalin island // Proc. of the 13th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS 2016). Copenhagen, Denmark, 8 p.
5. Payne S.M. (2019). Designing Passenger Ships // Keynote lecture of the Intern. Conf. «Design & Operation of Passenger Ships». London, Royal Institution of Naval Architects, 68 slides (ppt format presentation).
6. Kim, H.K., Ban, Y.H., (2000). “The tendency of International Convention on the Passenger ship”, Journal of the Society of Naval Architects of Korea. Vol 37. No. 4, pp. 32-46
7. Lee, G.H., Kim, J.H., Jang, H.S., Chun, H.H. (2004). “Development of Medium Size High Speed Ro-Pax Vessel”, Journal of the Society of Naval Architects of Korea. Vol 41. No.1, pp. 64-69.
8. Choi, S.H., Kim, J.J., Lee, G.H., Kim, S.E., Ahn, S.M. (2003). “Hydrodynamic Development of 154m class ro-ro passenger ferry”, FAST 2003, pp. 93-100.
9. Delta Marine Report, (2008). “Performance record of conversion”, pp. 1-2
10. Delta Marine Report, (2005). Carnival Conquest Cruise ship - Proposal for Hull appendage Modification in order to reduce fuel consumption.
11. IMO Circular letter 1891, 1995, Regional agreement concerning specific stability requirements for ro-ro passenger ship.
12. SOLAS Conference, (1995). For the application of specific stability requirement to ro-ro passenger ship.

13. M. Mohammad Nurul, S. Dony and WM Dananjaya (2018). "Construction strength analysis of landing craft tank conversion to passenger ship using finite element method," Journal of Physics: Conference Series, vol. 924, pp. 2-9.
14. International Convention on Load Lines. Retrieved from: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Load-Lines.aspx>
15. Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., 'A statistical power prediction method', International Shipbuilding Progress, Vol. 25, October 1978. pp. 223-256.
16. Holtrop, J. (1977). A statistical analysis of performance test result. International Shipbuilding Progress. Vol. 24, No 3. pp. 23-28.
17. Holtrop, J. and Mennen, G.G.J., 'An approximate power prediction method, International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 335. pp. 166-170.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 621.9.048.6

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.08>

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗМІНОВУВАЛЬНОГО МІННО-ПОШУКОВОГО КОМПЛЕКСУ

І.С. Афтаназів¹, Л.І. Шевчук², О.І. Строган³, Л.Р. Струтинська⁴

¹д.т.н., професор кафедри нарисної геометрії та графіки,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

²д.т.н., професор кафедри технології органічних речовин,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

³к.т.н., ст. викладач кафедри нарисної геометрії та графіки,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1790-6736

⁴к.е.н., доцент кафедри менеджменту персоналу та адміністрування,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0401-5475

Анотація

Розглянуто актуальне для Європи на період активного розгортання на її території воєнних протистоянь питання розмінування морських рейдів та портів. Представлено результати дослідження, спрямованого на вдосконалення методів пошуку та пошукового устаткування для виявлення морських мін.

Запропоновано розширити пошукові можливості мінно-пошукових розміновувальних комплексів із транспортованою катером-тралівником гірляндю понтонів-імітаторів сигналів кораблів. Для цього гірлянду понтонів-імітаторів пропонується доповнити додатковим пошуковим плавучим блоком, оснащеним гідроакустичною пошуковою апаратурою. Поряд із підвищенням ймовірності виявлення мін, що не зреагували на сигнали імітаторів, це дозволяє підвищити точність встановлення координат якірних та донних мін. З'ясовано, що оптимальною траєкторією пошукових переміщень катера-тралівника із гірляндю понтонів-імітаторів сигналів є траєкторія руху по спіралі Архімеда. Встановлено, що найдієвіший із варіантів знешкодження виявлених плавучих мін це їх підірвання боєзарядами, скинутими із літального безпілотної ліквідатора.

Досліджено, що для уточнення координат розташування плавучих, якірних та донних мін доцільною і найефективнішою для застосування є методика кінематичного проектування. Розроблено алгоритм використання кінематичного проектування для пошуку мін, який передбачає формування базової площини та призначення у товщі морських глибин "картинної" площини проєкцій, на котру проектуватимуться проєктуючі промені. У якості об'єкту проектування тут

застосовано розшукувану міну. Встановлено, що застосування для пошуку мін методики кінематичного проектування на розмінювальних комплексах із транспортованою катером-тралівником гірляндою понтонів-імітаторів сигналів кораблів дозволяє не тільки здійснювати розвідувальні роботи без участі в пошуках людей, а і підвищити продуктивність та швидкість пошукових робіт.

Ключові слова: морська міна, розмінування, катер-тралівник, додатковий пошуковий блок, понтони-імітатори сигналів, кінематичне проектування, координати, пошук.

IMPROVEMENT OF THE MINE EXPLOSION AND EXPLORATION COMPLEX

I.S. Aftanaziv¹, L.I. Shevchuk², O.I. Strohan³, L.R. Strutynska⁴

¹Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department Geometry and Engineering Graphics,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

²Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Organic Products Technology,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

³Candidate of Technical Sciences,
Assistant of the Department Geometry and Engineering Graphics,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1790-6736

⁴Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department Human Resource Management and Administration,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0401-5475

Summary

The issue of demining sea raids and ports, which is relevant for Europe during the period of active deployment of military confrontations on its territory, is considered. The results of a study aimed at improving search methods and search equipment for the detection of sea mines are presented.

It is proposed to expand the search capabilities of mine-search and demining complexes with a garland of pontoons imitating ship signals transported by a trawler boat. For this, it is proposed to supplement the garland of imitation pontoons with an additional search floating unit equipped with hydroacoustic search equipment. Along with increasing the probability of detecting mines that did not respond to simulator signals, it allows to increase the accuracy of setting the coordinates of anchor and bottom mines. It was found that the optimal trajectory of search movements of a trawler boat with a garland of signal-imitating pontoons is the trajectory of movement along the Archimedean spiral. It has been established that the most effective option for neutralizing detected floating mines is their detonation with warheads dropped from a liquidator flying drone.

It has been investigated that the method of kinematic design is appropriate and most effective for specifying the coordinates of the location of floating, anchor and bottom mines. An algorithm for the use of kinematic projection for the search for mines has been developed, which involves the formation of a base plane and the designation of a "picture" plane of projections on which the projecting rays will be projected in the depth

of the sea. A wanted mine is used as a design object here. It has been established that the use of kinematic design techniques for mine search on demining complexes with a garland of pontoons imitating ship signals, transported by a trawler boat, allows not only to carry out reconnaissance work without participation in the search for people, but also to increase the productivity and speed of search work.

Key words: *sea mine, demining, trawler boat, additional search unit, signal simulator pontoons, kinematic design, coordinates, search.*

Вступ. Інженерна думка та фантазія перетворили здавалось би невибагливий та простий смертоносний виріб, яким є традиційна морська міна, на витвір мистецтва. Теперішні певні різновиди морських мін, наприклад, самотранспортована донна міна–торпеда Mk.67 SLMM (виробництво США), можуть самотужки допливати до завчасно заданих їм координатами місць мінування. Чи будучи скинутими із літаків самотужки пролітати до 100 кілометрів та м'яко приводнитися і залягти на дно в очікуванні своєї жертви (модель Quickstrike-ER) [1]. Або перебуваючи на морському дні в режимі тривалого очікування у необхідний момент прореагувати, наприклад, на характерний шумовий фон корабля чи підводного човна, стартувати і торпедувати цей плавучий засіб (модель Mark 60 Captor виробництва США або аналогічна модель протичовнової міни-торпеди ПМК-2 виробництва Росії). Міни-пастки, спроможність до цифрової обробки складних командних сигналів, нечутливі до електромагнітних випромінювань пластикові корпуси та надпотужні сучасні вибухові речовини, маскування під морські валуни та донне каміння – це прояви інженерного мистецтва оздоблення та оснащення морських мін. Усе це притаманні сучасним мінам тонкощі інженерної думки їх творців, спрямовані на не лише маскування мін від несвоєчасного їх виявлення, а і на невідворотність їх смертоносного вибуху в наперед обумовлених ситуації чи часі.

Тому сучасні засоби розмінування зорієнтовані на зведення до мінімуму можливості контакту з мінами людей. Розмінування, переважно, зводиться до дистанційного знешкодження мін за допомогою катерів-тралівників та дистанційно керованих підводних торпед чи спеціальних роботів-ліквідаторів мін їх самопідриванням.

Аналіз літературних джерел. Найефективнішими для розмінування значних площ морської акваторії як у минулому, так і на даний час являються морські самохідні трали. Це, переважно, катери, корпуси яких спеціально адаптовані до того, щоб витримувати навантаження від вибухів мін [2]. Історія використання катерів-тралівників для знешкодження плаваючих та якірних мін сягає понад століття. Започаткування їх використання практично співпадає із періодом початку активного мінування морських водойм. Сучасний катер-тралівник – це, переважно, розбірний понтонний катер зі швидкістю руху 6–10 вузлів, який можна швидко перетранспортувати літаком в потрібну точку світу. Прикладом сучасних катерів-тралівників являються шведський SAM-3 і американський SAM-05. Однак у сьогоденні навіть такий давній метод розмінування зазнає модернізації та вдосконалення. Переважно ці вдосконалення полягають у оснащенні тралівників безпілотними плаваючими та літальними апаратами для пошуків мін, до того ж оснащених зарядами із дистанційним керуванням для їх підривання.

Для пошуку та знешкодження самонавідних мін найчастіше на катер-тралівник встановлюють різноманітні імітатори шумів, вібрацій та магнітних полів, що роблять його схожим для мін на типовий корабель. У роботі [1] відзначено, що оснащена рядом понтонів-імітаторів сигналів та шумових двигунів така «гірлянда» спроможна доволі активно збурювати різноманітні самонавідні міни, провокуючи їх спливання на поверхню для ураження уявної цілі. Ті ж міни, що спливали на поверхню моря, доволі легко захопити тралом та знешкодити. Або ж дистанційно підірвати, наприклад, дроном-ліквідатором із підвісним дистанційно керованим боєзарядом.

Поряд з тим не втрачають своєї актуальності наукові пошуки в руслі вдосконалення існуючих та створення новітніх більш прогресивних методів пошуку мін. Так автори робіт [3, 4, 5] схиляються до переконання, що найефективнішим було б використання для пошуків морських мін літальних апаратів. Розширити їх технологічні можливості, на переконання авторів роботи [5], могли б методики, що базуються не тільки на можливостях пошукової апаратури, а і на застосуванні математичного апарату та практично невичерпних спроможностей сучасної обчислювальної техніки [3, 4, 5].

Автори робіт [6, 7] відзначають, що певні перспективи у цьому контексті спостерігаються в спроможності долучити до пошукових методів визначення координат морських мін методик сучасної нарисної геометрії, а саме її складової, що відома під назвою «кінематичне проектування». Під «кінематичним проектуванням (відображенням)» розуміють проектування, при якому всі його складові елементи, а саме центр проектування, фокальні фігури проектуючих комплексів та конгруенцій, об'єкти проектування (прообрази) та носій проекцій («картинна площина») можуть здійснювати взаємозалежні просторові переміщення у просторі і часі [8, 9, 10].

Тому метою даного дослідження є розширення технологічних можливостей катерів-тралівників при пошуках та знешкодженні ними мін шляхом підвищення точності визначення координат просторового розташування мін засобами кінематичного проектування.

Об'єктом даного дослідження є способи ефективного пошуку мін в морських глибинах та у водах великих прісноводних водойм.

Предмет дослідження – методика визначення та розрахунків координат просторового розташування мін в акваторіях морських глибин.

Мета роботи – розробка методики пошуку і визначення координат морських мін різних типів та просторово-глибинного розташування.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні *завдання дослідження*:

- розробка методики визначення координат просторово-глибинного розташування морських мін засобами кінематичного проектування;
- створення принципової схеми оптимальних переміщень пошукового катера-тралівника із пришвартованими до нього понтонами-імітаторами сигналів та блоком пошукової гідроакустичної апаратури;
- створення алгоритму програмного забезпечення для розробки програми розрахунку і узгодження даних пошукових плавучих засобів для визначення точних координат місця розташування міни.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш яскравим прикладом успішного використання кінематичного проектування для відслідковування траєкторій та координат просторових переміщень рухомих об'єктів є успішні дослідження геометрів НУ «Львівська політехніка» по визначенню координат безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [11, 12]. У результаті цих досліджень створена теоретична база математичного апарату розрахунку засобами кінематичного проектування координат та траєкторій просторових переміщень ворожих диверсійно-розвідувальних БПЛА. Експериментальна перевірка підтвердила високу ефективність та точність визначення просторових координат рухомих об'єктів засобами кінематичного проектування [13, 14].

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 відображена оптимальна траєкторія пошукових переміщень катера-тралівника із пришвартованими до нього понтонами-імітаторами акустичних, електромагнітних та шумових сигналів, ланцюг яких доповнено розташованим в кінці плавучим пошуковим блоком із гідроакустичною пошуковою апаратурою.

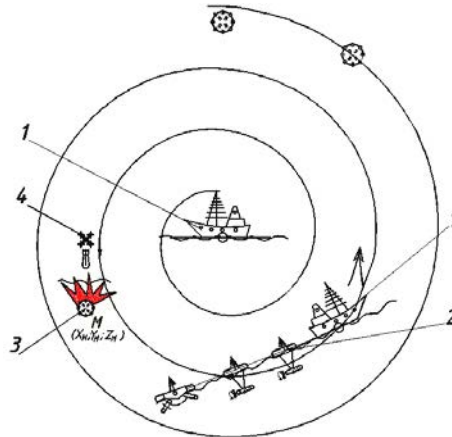


Рис. 1. Траєкторія просторових переміщень пошукового катера-тралівника із гірляндою понтонів-імітаторів сигналів по спіралі Архімеда

У випадку виявлення будь-яким із пошукових гідроакустичних апаратів плаваючої міни 3 переміщення пошукового судна по спіралі Архімеда продовжують. Але по відповідній команді із командного пункту катера-тралівника 1 для ідентифікації плаваючої міни 3 спрямовують оснащений відеокамерою та боезарядом безпілотний літальний апарат типу дрона-ліквідатора 4 середньої вантажопідємності. Якщо виявлений на поверхні моря предмет все ж таки виявиться плаваючою міною 3, її знешкоджують. Саме для цього і використовують дрон-ліквідатор 4 із дистанційно керованим боезарядом (рис. 1).

У випадку виявленні пошуковою апаратурою якірної чи донної міни обхід території по спіралі Архімеда призупиняють. По відповідній команді із командного пункту катера-тралівника 1 та допоміжний плавучий пошуковий блок 3 із гідроакустичною апаратурою розташовують більш-менш рівновіддалено по два боки від виявленої міни 7. Ідентифікують виявлений предмет і якщо це виявиться

міною - приступають до її знешкодження. Для цього, перш за все, використовуючи відповідну програму, уточнюють координати розташування даної міни. Спеціальною обчислювальною програмою вмикають алгоритм послідовності уточнення координат міни засобами кінематичного проектування.

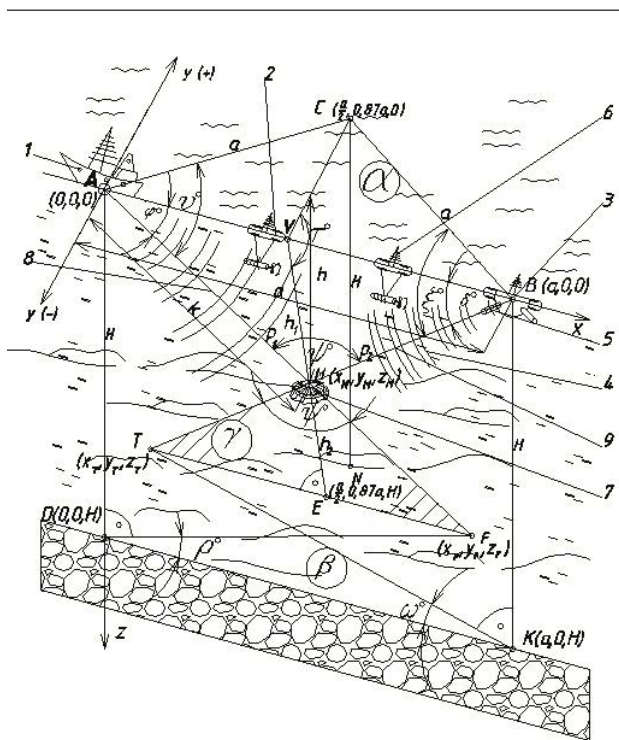


Рис. 2. Принципова схема використання кінематичного проектування для пошуку та визначення координат донних мін

Специфічні особливості пропонованого способу пошуку катером-тралівником морських мін із використанням пристроїв-імітаторів та додаткового блоку із пошуковою гідроакустичною апаратурою відображено на рис. 2. Катер-тралівник 1 із пришвартованими до нього понтонами 2, на яких встановлені імітатори акустичних, магнітних та електромагнітних сигналів, а також заключним у гірлянді понтонів плавучим блоком 3, здійснює переходи по пошуковій ділянці морської поверхні. Виявлені катером-тралівником плавучі та якірні міни ліквіднуються, наприклад, безпілотним плавучими роботами-камікадзе (на рис. 2 не відображено). Аналогічно знешкоджуються і самонавідні міни-торпеди, що зреагували на сигнали встановлених на понтонах 2 пристроїв-імітаторів та спливли з морського дна для ураження уявних цілей. Ті ж, переважно донні, міни що не зреагували на сигнали імітаторів, розшуковуються за допомогою встановленої на катері-тралівнику 1 та плавучому блоку 3 гідроакустичної апаратури. Випромінюючі та сприймаючі акустичні сигнали 4 антени 5 цієї пошукової апаратури занурені у воду. Катер-тралівник 1 і пошуковий плавучий блок 3 знаходяться у постійному радіозв'язку між собою, забезпечуваному антенами 6, для обміну інформацією

про виявлені міни. При виявленні пошуковою апаратурою катера-тралівника I чи плавучого блоку 3 міни 7 інформація про це поступає на обчислювальний центр (на рис. 2 не відображено) і командний склад катера-тралівника приступає до її знешкодження. Перш за все, уточнюють координати міни 7 , використовуючи методику кінематичного проектування. Для цього на моніторі обчислювальної техніки, де уявно відображено антени 5 пошукової гідроакустичної апаратури катера-тралівника I та пошукового плавучого блоку 3 , запроваджують трьохвісну ортогональну Декартову систему координат. Початок координат цієї системи (точка A) призначають на антені 5 катера-тралівника I . Вісь x цієї системи координат спрямовують її додатнім напрямком від пошукової антени 5 катера-тралівника I до пошукової антени плавучого блоку 3 . Вісь z спрямовують з початку координат (точка A) перпендикулярно поверхні моря в напрямку морського дна, а вісь y спрямовують перпендикулярно осям x та z вздовж поверхні моря. Спрямовані на виявлену міну 7 гідроакустичні сигнали 4 замінюють на екрані монітора на проєктуючі промені p_1 та p_2 . Проєктуючий промінь p_1 на рис.2 позначено позицією 8 і він проведений від пошукової антени катера-тралівника I через виявлену міну 7 (точка M на рис. 2) вглиб морського дна. Проєктуючий промінь p_2 на рис. 2 позначено позицією 9 і він проведений від пошукової антени плавучого блоку 3 через виявлену міну 7 (точка M на рис. 2) вглиб морського дна. Користуючись азимутом визначають кути нахилу проєктуючих променів p_1 та p_2 до осі x , відповідно $\phi^\circ = p_1 \wedge x$ та $\delta^\circ = p_2 \wedge x$, та кути їх нахилу до поверхні моря, відповідно $\nu^\circ = p_1 \wedge \alpha$ та $\zeta^\circ = p_2 \wedge \alpha$, де $\alpha = x \cap y$ – площина поверхні моря. У площині поверхні моря $\alpha(x; y)$ задають допоміжну точку C , яка рівновіддалена на віддаль a від катера-тралівника I (точка A) та пошукового блоку 3 (точка B), де $a=AB$ – віддаль між пошуковими антенами. Три точки A , B та C формують у площині поверхні моря рівносторонній трикутник $\Delta ABC \subset \alpha$, який задає базову площину α . Два проєктуючих промені $p_1 = AM$ та $p_2 = BM$, що перетинаються між собою в точці M розташування міни 7 , формують площину $\gamma^\circ = p_1 \cap p_2$, яка нахилена під кутом $\tau^\circ = \alpha \wedge \gamma$ до площини поверхні моря.

Опустивши з точок вершин трикутника ΔABC перпендикуляри вглиб моря, довжина H яких в 1,5–2 рази перевищує глибину моря в місці розташування міни 7 , у товщі морського дна задають допоміжну «картинну» площину $\beta(\Delta DKN)$. Базова площина $\alpha(\Delta ABC)$ паралельна «картинній» площині $\beta(\Delta DKN)$, віддалена від неї на $H = |\alpha\beta| = AD = BK = CN$.

На наступному етапі аналітичним або проєкційним рішенням шукають координати точок перетину проєктуючих променів p_1 та p_2 із «картинною» площиною $\beta(\Delta DKN)$. При аналогічному рішенні у запровадженій системі координат, володіючи координатами точок $A(O, O, O)$ та $B(a, o, o)$ та знаючи кути нахилу проєктуючих променів до осі x та базової площини $\alpha(\Delta ABC)$, задають рівняння проєктуючих променів p_1 та p_2 , а також рівняння «картинної» площини $\beta(\Delta DKN)$ як рівняння площини, заданої трьома точками, а саме $D(O, O, H)$, $K(a, o, h)$, $N\left(\frac{a}{2}; 0, 87; H\right)$. Спільним рішенням системи рівняння прямої та рівняння площини знаходять координати точки їх перетину як такі, що задовольняють обидва ці рівняння.

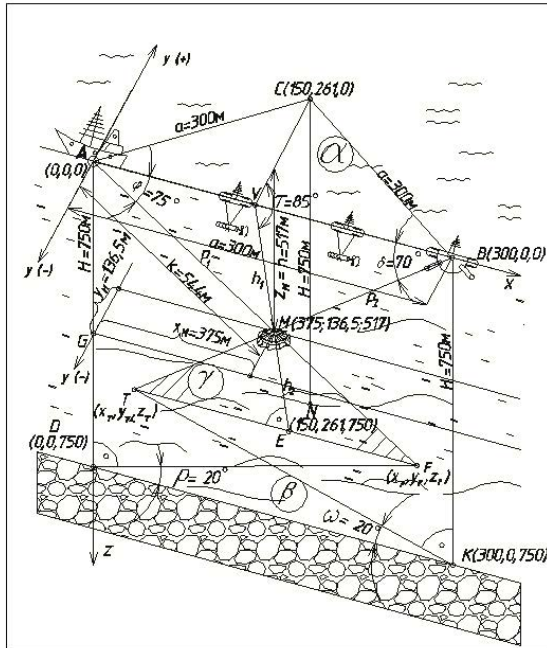


Рис. 3. Приклад розрахункової схеми застосування кінематичного проектування для пошуку та визначення координат донних мін

При проекційному рішенні розглядають прямокутний трикутник ΔADF , у якому відомі катет $AD = H$ та прилеглий кут ϕ° нахилу гіпотенузи $AF = p_1$ до цього катета. У цьому трикутнику точка $F = p_1 \cap \beta$ – це точка перетину, проектуючого променя p_1 із картинною площиною $\beta(\Delta DKN)$.

Із ΔADF проектуючий промінь $p_1 = AF = \frac{H}{\cos \phi}$, а довжина його проекції на «картинну» площину $\beta(\Delta DKN)$ $DF = AD \operatorname{ctg} \phi = H \cdot \operatorname{ctg} \phi$.

Тоді точка F перетину проектуючого променя p_1 із «картинною» площиною матиме координати

$F(x_F; y_F; z_F)$, де $x_F = H \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \cos \rho$, $y_F = H \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \sin \rho$, $z_F = H$, а кут $\rho^\circ = \angle DF \wedge \Pi(x; z)$.

Тут ρ° – кут між площиною прямокутного трикутника ΔADF із гіпотенузою $AF = p_1$ та площиною проєкцій прийнятої системи координат $\Pi(x; z)$, що утворена перетином осей x та z .

Аналогічно із прямокутного ΔBKT проектуючий промінь $p_2 = BT = \frac{H}{\cos \delta}$, а довжина його проєкцій на «картинну» площину $\beta(\Delta DKN)$ $KT = BK \cdot \operatorname{ctg} \delta = H \cdot \operatorname{ctg} \delta$.

Тоді точка T перетину проектуючого променя p_2 із «картинною» площиною β матиме координати

$T(x_T, y_T, z_T)$, де $x_T = a - H \cdot \operatorname{ctg} \delta \cdot \cos \omega$; $y_T = y_F$; $z_T = z_F = H$.

За відомих координат початку та кінця відрізка TF між двома точками перетину проектуючими променями p_1 та p_2 «картинної площини» β визнають його довжину

$$b = TF = \sqrt{(x_T - x_F)^2 + (y_T - y_F)^2}.$$

У даному випадку при $y_T = y_F$ довжина відрізка $b = TF = |x_T - x_F|$.

На заключному етапі уточнюють координати розташування міни. Розглянуто два подібні трикутники $\triangle ABM$ та $\triangle FTM$, що мають спільну вершину в точці M де розташована міна 7. У цих трикутниках паралельні між собою дві відповідні основи $AB//TF$, однакові кути при спільній вершині в точці M , сторони одного трикутника є продовженням сторін іншого, що підтверджує їх подібність. Сума висот h_1 та h_2 цих трикутників, проведених від спільної вершини у точці M , рівна віддалі між паралельними між собою основами цих трикутників тобто

$$h_1 + h_2 = L = \frac{H}{\sin \tau},$$

де τ° – кут між утвореною пересіченими променями p_1 та p_2 площиною $\gamma(p_1 \cap p_2)$ та базовою площиною $\alpha(x, y)$;

h_1 – висота $\triangle ABM$;

h_2 – висота $\triangle TMF$.

Із подібності трикутників $\triangle ABM$ та $\triangle TMF$ $\frac{h_1}{AB} = \frac{h_2}{FT}$, або при підстановці числових значень $\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{b}$.

Із розв'язку системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{b}, \\ h_1 + h_2 = L. \end{cases}$$

висота трикутника $\triangle ABM$

$$h_1 = \frac{L \cdot a}{a + b},$$

де a та b – основи подібних трикутників $\triangle ABM$ та $\triangle TMF$, що протилежні їх спільній вершині в точці M ;

$L = h_1 + h_2 = \frac{H}{\sin \tau}$ – віддаль між основами a та b подібних трикутників;

H – віддаль між базовою $\alpha(\triangle ABC)$ та «картинною» $\beta(\triangle DKN)$ площинами.

Віддаль $k = AM$ від катера-тралівника I до міни 7 визначається як гіпотенуза прямокутного трикутника $\triangle AMV$

$$k = AM = \frac{h_1}{\sin \phi} = \frac{h}{\sin \tau \cdot \sin \phi},$$

де глибина занурення міни

$$h = \frac{H \cdot a}{a + b}$$

Тоді координати міни у запровадженій системі координат:

$$x_M = \frac{H \cdot a}{a + b} \cdot \frac{\cos \phi \cdot \text{ctg} \rho}{\sin \tau} = h \cdot \frac{\cos \phi \cdot \text{ctg} \rho}{\sin \tau};$$

$$y_M = \frac{h \cdot \cos \phi}{\sin \tau} = \frac{H \cdot a}{a + b} \cdot \frac{\cos \phi}{\sin \tau},$$

$$z_M = h = \frac{H \cdot a}{a + b}$$

Схема прикладу реалізації запропонованого способу пошуку мін відображена на рис. 3. Основні числові дані параметрів кінематичного проектування, що використовуються для визначення координат міни, приведено у таблиці 1.

Основними вихідними даними, які повинні бути зафіксованими на моніторах командного пункту та введені у відповідну розрахункову програму, у даному випадку являються:

- віддаль a між катером-тралівником 1 та плавучим пошуковим блоком 2 ;
- кути ϕ° та δ° нахилу проєкуючих променів p_1 та p_2 , що відображають напрями пошукових сигналів до виявленої міни;
- кут τ° нахилу площини, утвореної проєкуючими променями p_1 та p_2 , до площини поверхні моря;
- віддаль H між базовою площиною $\alpha(\Delta ABC)$ та запровадженою «картинною» площиною $\beta(\Delta DKN)$;
- кут ρ° нахилу площини, утвореної проєкуючим променем p_1 та його проєкцією на «картинну» площину, до площини проєкцій $^2P(x;z)$.

Числові дані цих параметрів відображено для даного прикладу в таблиці 1.

Таблиця 1

Вхідні дані для визначення координат міни

№ з/п	Назва параметра	Позначення параметра	Числове значення параметра, м
1	Віддаль між катером-тралівником та плавучим пошуковим блоком	a	300
2	Віддаль від поверхні водойми до «картинної» площини	H	750
3	Кут нахилу між проєкуючим променем p_1 та віссю x	ϕ	75°
4	Кут нахилу між проєкуючим променем p_2 та віссю x	δ	70°
5	Кут нахилу площини проєкуючих променів $\gamma(p_1; p_2)$ до поверхні водойми	τ	85°
6	Кут нахилу площини проєкуючого променя p_1 та його проєкції на «картинну» площину до площини проєкцій $^2P(x;z)$	ρ	20°
7	Кут нахилу площини проєкуючого променя p_2 та його проєкції на «картинну» площину до площини проєкцій $^2P(x;z)$	ω	25°

Користуючись табличними даними та вище приведеними математичними залежностями, визначають основні параметри розташування виявленої міни у товщі води чи на дні водойми.

До цих параметрів належать:

- глибина занурення міни відносно поверхні водойми

$$h = \frac{H \cdot a}{a + d} = \frac{750 \cdot 300}{300 + 135,3} = 517,3 \text{ м};$$

- тут $H=750 \text{ м}$ та $a=300 \text{ м}$ - задані величини, а b - довжина відрізка FT у «картинній» площині $\beta(\Delta DKN)$ між точками її перетину проєкуючими променями p_1 та p_2 , тобто

$$b = |FT| = |x_F - x_T| = 190,3 - 55 = 135,3 \text{ м},$$

$$\text{де } x_F = H \cdot \text{ctg} \varphi \cdot \cos \rho = 750 \cdot \text{ctg} 75^\circ \cdot \text{cjs} 20^\circ = 190,3_M ;$$

$$x_T = a - H \text{ctg} \delta \cdot \cos \omega = 300 - 750 \cdot \text{ctg} 70^\circ \cdot \cos 25^\circ = 55_M ;$$

– віддаль від катера-тралівника l до міни 7

$$k = \frac{h}{\sin \tau \cdot \sin \varphi} = \frac{517}{\sin 85^\circ \cdot \sin 75^\circ} = 544_M ;$$

– координати міни

$$x_M = h \frac{\cos \varphi \cdot \text{ctg} \rho}{\sin \tau} = 517 \cdot \frac{\cos 75^\circ \cdot \text{ctg} 20^\circ}{\sin 85^\circ} = 375_M ;$$

$$y_M = h \frac{\cos \varphi}{\sin \tau} = 517 \cdot \frac{\cos 75^\circ}{\sin 85^\circ} = 136,5_M ;$$

$$z_M = h = 517_M$$

Цих даних цілком достатньо для однозначного визначення місця розташування міни, а відповідно і для її знешкодження, наприклад, за допомогою безпілотного плавучого робота-камікадзе. Введені у його пошукову систему координати міни достатні для його наведення на міну із подальшим самопідриванням робота-камікадзе. Це спонукатиме або детонізацію вибухової суміші міни, або ушкодженню її корпусу та складових деталей. Як наслідок – міну буде знешкоджено.

Обговорення результатів дослідження. Є дві незаперечні переваги, які властиві методиці застосування кінематичного проектування для пошуку мін. Перш за все, це можливість усунення людей від знешкодження мін. Це дуже важливо, бо процес розмінування не тільки довготривалий, а і вкрай небезпечний для команди катерів-тралівників та водолазів.

Іншою вагомою перевагою даного методу розмінування є відносно висока продуктивність та швидкість його пошукових робіт [10]. Широка смуга охоплення двома комплектами пошукової апаратури території, переміщення по спіралі Архімеда – усе це сприяє ефективним пошуковим роботам. До того ж це усуває наявність не обстежених ділянок, що доволі часто трапляється при зворотно-поступальних переміщеннях пошукових суден.

Ну і як позитивний аспект можна відзначити зменшені як мінімум у півтора рази повторні пошукові переміщення катера-тралівника, а відповідно, і пропорційно зменшені витрати палива для роботи його привідних двигунів. Його переміщення дублюються допоміжним пошуковим блоком, який не споживає палива.

На жаль, враховуючи воєнні події на території України, авторам статті не вдалося здійснити натурні випробування запропонованої схеми розмінування. Автори сподіваються здійснити це у майбутньому в мирний час і запрошують до співпраці усіх зацікавлених у результатах даного дослідження осіб та організацій.

Висновки:

1. Суть запропонованого методу полягає у застосуванні для пошуку якірних та донних мін катером-тралівником із пришвартованою до нього гірляндою понтонів-імітаторів кораблів додаткового плавучого пошукового блоку оснащеного відповідною пошуковою апаратурою. Результати пошуків мін тоді зведуться

до розрахунків координат виявлених мін засобами кінематичного проектування. Це відчутно підвищує ефективність та точність пошуків мін.

2. Серед когорти можливих траєкторій переміщень катера-тралівника із додатково пришвартованим до нього пошуковим блоком при пошуках морських мін рекомендовано, як оптимальну траєкторію пошукових переміщень, по спіралі Архімеда із міжвитковим кроком, пропорційним радіусу ефективної дії їх пошукової апаратури.

3. Не зважаючи на недоліки методу пошуку якірних та донних мін із застосуванням засобів кінематичного проектування, що полягають у його підвищеній чутливості до метеорологічних погодних умов, а особливо, до вітрового навантаження на легкі понтони-імітатори, все ж даний метод має перспективу широкого практичного застосування. Обумовлюється це тим, що перш за все, при його використанні усувається небезпека контакту людей із вибухонебезпечною міною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонов Р. БПЛА допоможуть виявити нездетонувавші боєприпаси // Мілітарний : портал. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhuvyuvlyaty-nezdetonuvavshi-boyergrupasy/> (дата звернення: 18.08.2022).
2. Фурман І. І. Застосування морської мінної зброї в локальних війнах та збройних конфліктах у післявоєнний період (1950–2003 рр.) *Труди академії*. – К.: НАОУ, № 50, 2005, – С. 344–349.
3. Лаврівський М. З., Тур Н. Є. Використання безпілотних літальних апаратів в моніторингу надзвичайних ситуацій у лісовій місцевості. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 258. С. 353–359.
4. Кучеренко Ю. Ф., Науменко М. В., Кузнецова М. Ю. Аналіз досвіду застосування безпілотних літальних апаратів та визначення напрямку їх подальшого розвитку при веденні мережецентричних операцій. *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 1. С. 25–30. doi:10.30748/soivt.2018.53.03
5. Kucherenko Yu.F., Nosyk A.M. Development of unmanned aerial vehicles ways of usage *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал*. 2017. №1 (26). С. 30-34. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.06>
6. Кінематичне проєціювання як засіб управління технікою в автоматизованих землеробних комплексах / І. Г. Свідрак, Л. І. Шевчук, О. І. Строган, Л. Р. Струтинська, І. В. Строган. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 5. Т. 31. С. 102–107.
7. Афтаназів І. С., Строган О. І., Струтинська Л. Р., Строган І. В. Застосування кінематичного проєціювання в автоматизованих землеробних комплексах. *Problems of science and practice, tasks and ways to solve them : abstracts of XI International scientific and practical conference, Warsaw, Poland, March 22–25, 2022*. Warsaw, 2022. P. 351–355.
8. Визначення просторових координат точок панорамного знімання / І. Г. Свідрак, О. Р. Баранецька, В. І. Топчій, А. О. Шевчук, Н. С. Галкіна. *Збірник наукових праць МДПУ ім. Б. Хмельницького*. Мелітополь, 2014. Вип. 2. С. 136–140.

9. Шульц Р. В., Войтенко С. П., Крельштейн П. Д., Маліна І. А. До питання розрахунку точності визначення координат точок під час аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів. *Інженерна геодезія*. 2015. Вип. 62. С. 124–136.
10. Svidrak I. G., Aftanaziv I. S., Shevchuk L. I., Strogan O. I. Determination of coordinates of unmanned aircrafts by means of kinematic projection. *Mathematical Modeling and Computing*. 2022. Vol. 9, № 2. P. 459–469. doi: <https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.459>
11. Свідрак І. Г., Афтаназів І. С., Строган О. І., Шевчук А. О. Кінематичне проєціювання в сучасних технологіях. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія "Харчові технології"*. 2021. Т. 23, № 96. С. 67–75. doi: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9612>
12. Афтаназів І. С., Свідрак І. Г., Строган О. І. Визначення координат безпілотних літальних апаратів. *Сучасні дослідження у світовій науці : матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 15–17 травня, 2022 р.)*. Львів, 2022. С. 380–388.
13. Янчук Р. М., Трохимець С. М. Створення картографічної основи для розробки генеральних планів населених пунктів за матеріалами аерознімання з непрофесійних БПЛА. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2017. Вип. 1. С. 32–39.
14. Глотов В., Фис М., Пашетник О. Розробка методики підвищення точності визначення просторових координат точок об'єктів при аерозніманні з БПЛА *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Львів, 2020. Вип. 92. С. 45–54. doi: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.045>

REFERENCES

1. Antonov, R. (2022) UAVs will help detect unexploded ordnance [BPLA dopomozhut vyavyty nezdetonuvavshi boieprypasy]. *Militaryni: portal*. Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhut-vyavylyaty-nezdetonuvavshi-boieprypasy/> [in Ukrainian].
2. Furman I. I. Zastosuvannja mors'koi' minnoi' zbroi' v lokal'nyh vijnah ta zbrojnyh konfliktah u pisljavojenyj period (1950–2003 rr.) *Trudy akademii*. – K.: NAOU, № 50, 2005, – S. 344–349. [in Ukrainian].
3. Lavrivskyi, M.Z. & Tur, N.Ye. (2015). The use of unmanned aerial vehicles in monitoring emergency situations in forest areas [Vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ v monitorynhu nadzvychainykh sytuatsii u lisovii mistsevosti]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 258, 353–359. [in Ukrainian].
4. Kucherenko, Yu.F., Naumenko, M.V. & Kuznietsova M.Iu. (2018). Analysis of the experience of using unmanned aerial vehicles and determining the direction of their further development in conducting network-centric operations [Analiz dosvidu zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ ta vyznachennia napriamku yikh podalshoho rozvytku pry provedenni

- merzhetsetrychnykh operatsii]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 1, 25–30. doi:10.30748/soivt.2018.53.03 [in Ukrainian].
5. Kucherenko Yu.F., Nosyk A.M. Development of unmanned aerial vehicles ways of usage *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал*. 2017. №1 (26). С. 30-34. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.06> [in Ukrainian].
 6. Svidrak, I.H., Shevchuk, L.I., Strohan, O.I., Strutynska, L.R. & Strohan, I.V. (2021). Kinematic projection as a means of controlling equipment in automated agricultural complexes [Kinematychno proetsiuvannia yak zasib upravlinnia tekhnikoju v avtomatyzovanykh zemlerobnykh kompleksakh]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 31(5), 102–107. [in Ukrainian].
 7. Aftanaziv, I.S., Strohan, O.I., Strutynska, L.R. & Strohan, I.V. (2022). Application of kinematic projection in automated agricultural complexes [Zastosuvannia kinematychnoho proetsiuvannia v avtomatyzovanykh zemlerobnykh kompleksakh]. *Problems of science and practice, tasks and ways to solve them*, abstracts of XI International scientific and practical conference, Warsaw, Poland, March 22–25, 2022. Warsaw [in Ukrainian].
 8. Svidrak, I.H., Baranetska, O.R., Topchii, V.I., Shevchuk, A.O. & Halkina, N.S. (2014). Determination of spatial coordinates of points of panoramic shooting [Vyznachennia prostorovykh koordynat tochok panoramnoho znimannia]. *Zbirnyk naukovykh prats MDPU im. B. Khmelnytskoho*, 2, 136–140. [in Ukrainian].
 9. Shults, R.V., Voitenko, S.P., Krelshstein, P.D. & Malina, I.A. (2015). To the question of calculating the accuracy of determining the coordinates of points during aerial photography from unmanned aerial vehicles [Do pytannia rozrakhunku tochnosti vyznachennia koordynat tochok pid chas aerofotoznimannia z bezpilotnykh litalnykh aparativ]. *Inzhenerna heodeziia*, 62, 124–136. [in Ukrainian].
 10. Svidrak, I.G., Aftanaziv, I.S., Shevchuk, L.I. & Strohan, O.I. (2022). Determination of coordinates of unmanned aircrafts by means of kinematic projection. *Mathematical Modeling and Computing*, 9(2), 459–469. doi: <https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.459> [in English].
 11. Svidrak, I.H., Aftanaziv, I.S., Strohan, O.I. & Shevchuk, A.O. (2021). Kinematic projection in modern technologies [Kinematychno proetsiuvannia v suchasnykh tekhnolohiiakh]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhytskoho. Seriiia "Kharchovi tekhnolohii"*, 23(96), 67–75. doi: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9612> [in Ukrainian].
 12. Aftanaziv, I.S., Svidrak, I.H. & Strohan, O.I. (2022). Determining the coordinates of unmanned aerial vehicles [Vyznachennia koordynat bezpilotnykh litalnykh aparativ]. *Suchasni doslidzhennia u svitovii nautsi, materialy II Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii* (Lviv, 15–17 travnia, 2022). Lviv [in Ukrainian].
 13. Yanchuk, R.M. & Trokhymets, S.M. (2017). Creation of a cartographic basis for the development of general plans of settlements based on

- the materials of aerial photography from non-professional UAVs [Stvorennia kartohrafichnoi osnovy dlia rozrobky heneralnykh planiv naselenykh punktiv za materialamy aeroxnimannia z neprofesiinykh BPLA]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*, 1, 32–39. [in Ukrainian].
14. Hlotov, V., Fys, M. & Pashchetnyk, O. (2020). Development of a technique for increasing the accuracy of determining the spatial coordinates of object points during aerial photography from a UAV [Pashchetnyk Rozrobka metodyky pidvyshchennia tochnosti vyznachennia prostorovykh koordynat tochok obiektiv pry aeroxnimanni z BPLA]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 92, 45–54. oi:<https://doi.org/10.23939/istecap2020.92.045-54> [in Ukrainian].

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФЛЕКСИТАНКІВ

О.Д. Вишневська¹, Д.О. Вишневський², С.П. Онищенко³

¹к.т.н., доцент, доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-1021-3176

²к.т.н., доцент, доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1270-713X

³д.е.н., професор, професор кафедри «Експлуатація флоту
і технологія морських перевезень»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

Анотація

Вступ. Зростання світового ринку контейнерних мультимодальних перевезень у призвело до розвитку різноманітних пакувальних технологій, що забезпечують ефективну експлуатацію контейнерів для широкого спектру вантажів. Однією з таких технологій для перевезення наливних вантажів є флекситанк, що надає можливість перевезення даних вантажів в стандартних контейнерах. Незважаючи на те, що практична більшість перевезень у флекситанках пов'язана з рослинними оліями, проте дана технологія дозволяє перевозити і дизпаливо, що може бути альтернативою традиційним технологіям перевезення дизпалива в періоди, коли це необхідно. Таким чином, з урахуванням можливостей поширення напрямків використання флекситанків, актуальними є питання організації доставки вантажів з використанням даної технології. **Результати.** В роботі розглянуті основні організаційні питання перевезення наливних вантажів у флекситанках. Надано огляд основних джерел регулювання процесу контейнерних перевезень флекситанків на рівні міжнародних морських та торгівельних організацій; на рівні науково-дослідницьких закладів та на практичному рівні, силами компаній транспортного сектору та підприємств, чия система забезпечення товарами передбачає застосування контейнерного обладнання. Показано як перехід до використання флекситанків змінив схеми перевезення вантажів у контейнерах та призвів до появи нових суб'єктів ринку – постачальників флекситанків та додаткового обладнання. Описано роль страхування та ризики, що виникають у перевезеннях наливного вантажу. Зроблено аналіз критеріїв, на основі яких формуються схеми перевезень та розглянуто дві основні схеми, що широко використовуються для українського експорту наливних вантажів у контейнерах. **Висновки.** Надані результати є основою для формування на практиці у діяльності транспортно-експедиторських компаній схем доставки вантажів у флекситанках для різних комерційних умов та розподілу відповідальності між сторонами. Результати базуються на узагальнені сучасного досвіду з урахуванням існуючих можливостей ринку транспорту послуг.

Ключові слова: організація доставки, схеми доставки, наливні вантажі, комерційні умови доставки.

ORGANIZATIONAL FEATURES OF CARGO DELIVERY USING FLEXITANKS

O.D. Vyshnevska¹, D.O. Vyshnevskiy², S.P. Onyshchenko³

¹ PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Fleet Operation and Maritime Transportation Technology, Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-1021-3176

² PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Fleet Operation and Maritime Transportation Technology, Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-1270-713X

³ Doctor of Economics, Professor, Professor at the Department of Fleet Operation and Maritime Transportation Technology, Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

Summary

Introduction. The growth of the global container multimodal transportation market has led to the development of various packaging technologies that ensure the efficient operation of containers for a wide range of cargo. One of such technologies for the transportation of bulk cargo is the flexitank, which provides the possibility of transporting these cargoes in standard containers. Despite the fact that the practical majority of transportation in flexitanks is related to vegetable oils, this technology allows the transportation of diesel fuel as well, which can be an alternative to traditional technologies of transportation of diesel fuel in periods when it is necessary. Thus, taking into account the possibilities of expanding the use of flexitanks, the issue of organizing the delivery of goods using this technology is relevant. **Results.** The paper considers the main organizational issues of bulk cargo transportation in flexitanks. An overview of the main sources of regulation of the container transportation process of flexitanks at the level of international maritime and trade organizations is provided; at the level of scientific and research institutions and at the practical level, by companies of the transport sector and enterprises whose system of supply of goods involves the use of container equipment. It is shown how the transition to the use of flexitanks changed the patterns of cargo transportation in containers and led to the emergence of new market entities – suppliers of flexitanks and additional equipment. The role of insurance and the risks arising in bulk cargo transportation are described. An analysis of the criteria on the basis of which transportation schemes are formed was made, and two main schemes widely used for Ukrainian export of bulk cargo in containers were considered. **Conclusions.** The presented results are the basis for forming in practice in the activities of transport and forwarding companies cargo delivery schemes in flexitanks for various commercial conditions and the responsibilities between the parties. The results are based on the generalized modern experience taking into account the existing opportunities of the transport services market.

Key words: organization of delivery, delivery schemes, liquid cargo, commercial terms of delivery.

Вступ. Зростання світового ринку контейнерних мультимодальних перевезень у призвело до розвитку різноманітних пакувальних технологій, що забезпечують

ефективну експлуатацію контейнерів для широкого спектру вантажів. Однією з таких технологій для перевезення наливних вантажів є флекситанк, що надає можливість перевезення даних вантажів в стандартних контейнерах. Флекситанки використовуються для перевезення наливних вантажів більше 20 років. Однак різке підвищення об'єму перевезень з використанням такої тари виникло у 2006 році у зв'язку з появою одноразових флекситанків [1].

Щорічний приріст ринку перевезень у флекситанках оцінюється у 15–20% [2]. Від 15% до 20% об'єму усіх перевезень здійснюються з Південної Америки, де особливо виділяються перевезення вина та фруктових соків. Загальний вигляд флекситанку у контейнері наведено на рис. 1. На сьогоднішній день організація перевезень наливних вантажів у флекситанках увійшла в стандартний набір послуг, що пропонуються на українському ринку транспортно-експедиційних послуг. З України у контейнерах із використанням флекситанків вивозиться: масло соняшникове, соєве, рапсове; вино; концентрати соків.



Рис. 1. Флекситанк у контейнері [відкриті джерела Інтернет]

Крім того, в Україну імпортуються вантажі хімічної промисловості у флекситанках: рідкі компоненти цементу; гліцерин.

Незважаючи на те, що практична більшість перевезень у флекситанках пов'язана з рослинними оліями, проте дана технологія дозволяє перевозити і дизпаливо, що може бути альтернативою традиційним технологіям перевезення дизпалива в періоди, коли це необхідно (наприклад, така ситуація мала місце навесні 2022 року, коли потрібно було організувати абсолютно нову логістику імпорту дизпалива до України). Відзначимо, що перевезення дизпалива у флекситанках дозволено в Австралії та країнах Південноафриканського співтовариства розвитку (SADC). Виробництвом та постачанням таких ємностей займаються компанії FTS Flexitanks systems (ІАР), Musthane (Франція), Wiefferink (Нідерланди) та інші [3].

Таким чином, з урахуванням можливостей поширення напрямків використання флекситанків, актуальними є питання організації доставки вантажів з використанням даної технології.

Постановка проблеми. Питання організації доставки вантажів з використанням різних технологічних рішень є актуальними протягом останніх років, прикладами таких досліджень є [4–8]. Зростання актуальності даних проблем пояснюється змінами на товарних ринках, впровадженням інноваційних рішень, спрямованих на подальшу універсалізацію контейнерних перевезень та розширення спектру

вантажів, які підпадають під контейнеризацію [9]. Звичайно, що у центрі уваги багатьох досліджень (наприклад, [10–14]), організація ефективної доставки вантажів у контейнерах

Зважаючи на відносно недавнє поширення флекситанків для перевезення наливних вантажів у контейнерах, літературні джерела що описують технологію перевезення зводяться до трьох категорій ([15–20]):

1) загальні рекомендації вантажовласникам та операторам флекситанків по технології їх використання;

2) тести, дослідження технічних характеристик пари флекситанк-контейнер;

3) керівництва з експлуатації флекситанків, що видаються їх виробниками.

Загальні рекомендації з перевезення вантажів у флекситанках викладені в Коді практики для флекситанків “Code of Practice for Flexitanks” [1, 17], розробленого Асоціацією власників контейнерів (Container owner Association, далі COA). Тут представлені: вимоги щодо відбору контейнерів, придатних для перевезення флекситанків, їх маркування; технологія випробування пари контейнер-флекситанк для перевезень залізницею; розподіл відповідальності між учасниками процесу перевезення і дії в разі пошкодження вантажу, контейнера або флекситанка. Код не є обов'язковим і носить рекомендаційний характер. Критерії відбору обладнання та технологія використання флекситанків для перевезення також викладена в Рекомендаціях Клубу взаємного страхування Великобританії за технологією перевезення вантажів у флекситанках “Carefully to Carry. Flexitanks” [15].

Дослідження фізичних характеристик взаємодії пари контейнер-флекситанк представлені в наступних джерелах:

- Проект PAS 1008 [11] – Специфікація виробничого процесу і тестування флекситанків, розробляється Асоціацією власників контейнерів спільно з Британським інститутом стандартів (Національний орган стандартизації Великобританії) для сертифікації виробників флекситанків. Він встановлює вимоги до матеріалів, клапанів, технології виробництва та наданні інформації, а також описує метод перевірки герметичності клапанів та придатності флекситанка для використання в залізничних перевезеннях.

- Доповідь про дослідження флекситанків [16], проведена німецьким класифікаційним товариством Germanischer Lloyd SE (далі за текстом – GL) на замовлення німецької Асоціації страхування Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft E.V. (далі за текстом – GDV EV). Наведено результати розрахунку гранично-допустимого завантаження флекситанка в контейнері в залежності від рівня поперечного прискорення для рідини густиною 1 т/куб.м для варіантів лінійної та параболічної апроксимації розподілу тиску рідини на бічну стінку контейнера. Представлені графіки гранично допустимого завантаження контейнера в разі його розміщення на палубі і в подпалубному просторі при рівні поперечного прискорення згідно з правилами GL для випадків високої і низької метацентричної висоти судна.

Тести на придатність пари флекситанк / контейнер для залізничних перевезень:

- COA Flexitank/Container Combination Standard Rail Impact Test Report [18], проводиться на випробувальному комплексі Горлиць німецькою експертною організацією Technische Überwachungs-Verein SÜD (далі за текстом – TUV SUD);

- Rail Impact Test и Rail Vibration Test, що проводяться Асоціацією Американських Залізниць (Association of American Railroad, далі за текстом – AAR) у Пуебло, Колорадо.

- Керівництва з експлуатації флекситанків надають рекомендації з вибору контейнера, перевірки його стану, установці підстилочного і кріпильного матеріалу, кріпленні, завантаженні, маркуванні і зливі флекситанка [2, 3, 4].

Тем не менш, питання саме організації та побудові схем доставки вантажів з використанням флекситанків практично не розглядаються.

Ціль статті. Метою даної статті є ідентифікація основних схем доставки експортного наливного вантажу у флекситанках на основі узагальнення існуючої практики роботи експедиторських компаній.

Основні цілі та умови, що зумовлюють вибір схеми перевезення наливного вантажу за допомогою флекситанків

Метою замовника перевезення будь-якого вантажу є досягнення максимальної якості перевезення при мінімальних витратах. Тут і далі у даному вважаємо виробника вантажу одночасно вантажовідправником а також замовником перевезення.

Якість перевезення об'єктивно можна оцінити за допомогою наступних критеріїв:

- строк перевезення (може бути обмежений умовами торговельного контракту, фізико-хімічними властивостями вантажу),

- безпека перевезення вантажу (ризик його пошкодження або нестачі).

Строк перевезення впливає на вибір маршруту, а також перевізника на його морській та сухопутній ділянках. Перевізник на морській ділянці – контейнерна лінія – обирається за строком рейсу у опублікованому розкладі та кількістю портів перевалки, адже при перевантаженні контейнеру із вантажем з одного судна на інше є ризик затримки вантажу у транзитному порту. Перевізник на сухопутній ділянці – автотранспортне підприємство або оператор залізничних вагонів обирається за строком перевезення по сухопутній ділянці та часом на операції з прийому вантажу у порту відправлення та видачею у порту призначення.

Безпека перевезення вантажу зумовлює вибір типу пакування, виду транспорту, маршруту з огляду на наявність необхідності перевантаження із одного транспортного засобу на інший та конкретного перевізника з огляду на технічний стан транспортного обладнання.

Витрати на перевезення наливного вантажу обмежуються різницею між собівартістю його виробництва та закупівельною ціною за торговельним контактом, якщо контракт укладений на умовах групи “С” або “D” (умови Інкотермс) або ціною продажу, якщо контракт укладений на умовах групи “E” або “F”. В загальному випадку, економічна доцільність перевезення конкретного вантажу за конкретним маршрутом однозначно визначається порівнянням собівартості перевезення та різницею між ринковими вартостями вантажу у країні відправлення та країні призначення.

Витрати на перевезення вантажу складаються як з витрат на саме транспортування, так і на підготовку вантажу до перевезення, перевантаження у процесі доставки, а також документальне оформлення процесу доставки згідно чинного законодавства країн, через територію яких перевозиться вантаж. Розмір витрат залежить як від обраної схеми перевезення, так і від розміру партії (а саме

відповідності між розміром партії з одного боку та вантажопідйомністю та вантажомісткістю транспортних засобів з іншого) і є вирішальним критерієм як у задачі визначення доцільності самого перевезення, так вибору його схеми.

Умовами, що визначають вибір схеми перевезення, є технічні потужності відправника та отримувача вантажу, а також географічний напрямок перевезення та транспортна інфраструктура. Технічне обладнання, що буде використано відправником для заливки вантажу зумовлює вибір пакування для перевезення (флекситанк, єврокуб, каністра, бочка і т.п.).

Географічний напрямок перевезення – місцезнаходження відправника, отримувача вантажу, митних терміналів, на яких проходить оформлення міжнародного перевезення та пунктів пропуску через державний кордон визначають варіанти можливих маршрутів перевезення.

Наявність та пропускну спроможність транспортної інфраструктури накладають обмеження на спектр можливих маршрутів та типи транспортних засобів, що будуть використані на сухопутних ділянках маршруту. Наприклад, відсутність технічних потужностей для роботи з великотоннажними контейнерами на залізничних станціях у районі місцезнаходження відправника виключає можливість подачі контейнерів під завантаження на залізничних платформах.

Найбільш поширені транспортні умови торгівельних контрактів на постачання наливних вантажів у флекситанках.

Розглянемо основні етапи процесу перевезення. Тут і надалі будемо вважати що торгівельний контракт укладено напряму між виробником вантажу та кінцевим покупцем.

Підготовчі етапи:

1. акредитація відправника як суб'єкта зовнішньоекономічної діяльності у митних органах;
2. реєстрація у Державній ветеринарній та/або фіто санітарній службах, якщо експортується вантаж, що підпадає під відповідну форму контролю;
3. проведення аналізів, експертиз, отримання лабораторних висновків щодо якості вантажу за вимогою торгівельного контракту або законодавства країни відправлення/прибуття;
4. укладання договорів з постачальниками транспортних послуг – перевізником або експедитором, митним брокером, за потребою виробником або дистриб'ютером флекситанків.

Етапи оформлення вантажної партії:

5. оформлення заявки на перевезення з перевізником або експедитором;
6. розміщення букінгу;
7. подача транспортного засобу на завод відправника;
8. завантаження вантажу у транспортний засіб;
9. проходження сертифікації вантажу у контейнері у Державній ветеринарній та/або фіто санітарній службах (при необхідності);
10. перевезення вантажу на митний термінал;
11. митне оформлення вантажу у контейнері у режим експорту;
12. перевезення вантажу у порт відправлення;
13. портове експедирування контейнеру;

14. завантаження на борт судна;
15. відправлення контейнеру з вантажем до порту призначення;
16. видання пакету коносаментів;
17. передача пакету товаротранспортних документів отримувачу вантажу;
18. прибуття контейнеру з вантажем до порту призначення;
19. вивантаження з борту судна;
20. портове експедирування та проходження фіто санітарного та/або ветеринарного контролю з боку державних органів країни призначення (за необхідністю);
21. перевезення контейнеру на митний термінал;
22. митне оформлення вантажу у режим імпорту;
23. перевезення вантажу на склад отримувача;
24. вивантаження.

Заключні етапи:

25. утилізація флекситанку та сепарації;
26. повернення контейнеру під контроль контейнерної лінії.

Розподіл відповідальності за виконання кожного з етапів перевезення визначається за транспортними умовами, на яких укладено торгівельний контракт.

На ринку українського експорту наливних вантажів поширено 4 види таких умов – FCA, FOB, CIF, CFR за Інкотермс-2020. Розглянемо основи вибору кожного з варіантів окремо.

FCA (як правило завод виробника, де проходить залив вантажу у транспортний засіб) використовуються в разі, коли відправник не хоче або не має можливості організувати процес перевезення вантажу. В такому разі він відповідає тільки за етапи 1, 2, 3, 8, 9, 11.

У порівнянні із альтернативою – умовами Exworks, використання умов FCA є доцільнішим з-за складності проходження державного контролю, що здійснюється фітосанітарною, ветеринарною та митною службами. По-перше, відправник, що постійно займається експортом своєї продукції, має більший досвід та відпрацьовану схему роботи з такими службами. По-друге, виключається фінансова відповідність покупця за додаткові витрати, що можуть виникнути при затримці вантажу для додаткових форм контролю при виникненні питання щодо відповідності якості вантажу державним вимогам.

Умови **FOB** використовуються як правило для формування комерційної пропозиції по експорту продукції і можуть змінюватися на інші умови Інкотермс у процесі погодження фінальної версії торгівельного контракту. Перевагою умов FOB є зручність для покупця, який може порівняти ціни на аналогічний товар у країні відправлення. За таких умов відправник відповідає за виконання етапів 1–17.

Умови **CIF** та **CFR** використовуються у випадках, коли відправник має намір самостійно організувати перевезення вантажу до покупця. Перевагами таких умов перед умовами груп “E” та “F” є:

- контроль відправника за строком доставки вантажу та безпекою перевезення (з огляду на ризик нестачі або псування вантажу);
- контроль за фінансовими витратами на організацію перевезення (у разі якщо відправник має сумніви щодо обґрунтованої покупцем ціни перевезення, що вираховується з ціни товару при використанні умов груп “E” та “F”).

Перевагами умови CIF та CFR перед умовами групи “D” є:

- відсутність відповідності відправника за правильність та своєчасність проведення етапів перевезення у країні отримувача (зазвичай отримувач, що постійно займається імпортом товарів, має більший досвід та більш налагоджену співпрацю з місцевими перевізниками, брокерами та органами державного контролю);
- відсутність фінансових ризиків по покриттю додаткових витрат, що можуть виникнути на етапах документального оформлення та доставки вантажу у країні призначення (не пов’язані з якістю вантажу та правильністю та достатністю вантажосупровідних документів).

Основні схеми доставки наливних вантажів у флекситанках. В усіх перевезеннях, в яких використовуються флекситанки, окрім стандартних учасників (стороні торгівельного контакту; підрядники, що виконують окремі етапи перевезення, державні контролюючі органи, портові державні та приватні підприємства, страхові компанії) приймають участь постачальники флекситанків та додаткового обладнання:

- виробник флекситанків;
- дистриб’ютор флекситанків;
- постачальник сепараційних матеріалів (потрібний у двох випадках: 1) для флекситанків Vuescherhoff, оскільки інші виробники поставляють сепараційні матеріали у наборі з флекситанком; 2) при зміцненні бокових стінок контейнеру металевими балками);
- спеціаліст з встановлення флекситанків (зазвичай цю роботу проводить дистриб’ютор флекситанків, експедитор або представник портового перевантажувального комплексу в залежності від місця заливу флекситанку).

Постачання флекситанків закріплюється договором між постачальником флекситанків та вантажовідправником або експедитором в залежності від домовленості із замовником перевезення. Якщо постачальник є нерезидентом України, партія флекситанків за торгівельним контактом завозиться для конкретного перевезення, договір на яке укладено заздалегідь. Тому флекситанки оформлюються у режим тимчасового ввезення, який закривається під час експортного митного оформлення контейнеру з вантажем.

Деякі моделі флекситанків, зокрема виробника Vuescherhoff, постачаються без комплекту сепараційних матеріалів та торцевої перегородки. Експедитор може виробити перегородку та закупити сепарацію самостійно (у відповідності до інструкції виробника та рекомендацій Коду Практики з використання флекситанків Асоціації Власників Контейнерного обладнання [1] та рекомендацій P&I клубу з безпечного перевезення вантажів у флекситанках [2]) або у терміналу, що займається переливом вантажу з автомобільних або залізничних цистерн у флекситанки.

Такі термінали зазвичай надають комплекс із наступних послуг:

- накопичення на території терміналу порожніх контейнерів під оформлений букінг експедитора;
- відбір контейнерів, придатних для встановлення флекситанків згідно з [1], [2], інструкціями контейнерної лінії та відправника (за наявності);
- дрібний ремонт контейнерів для встановлення флекситанків;
- встановлення сепарації, флекситанку та перегородки як на терміналі, так і з виїздом спеціаліста на місце заливки;

- організація прийняття залізничних та автомобільних цистерн та перелив вантажу у флекситанки;
- вивезення контейнерів на контейнерний термінал для подальшого оформлення та відправлення у експорт.

Окреме місце в організації перевезення наливного вантажу займає страхування. Це пов'язано з підвищеним ризиком ушкодження пари контейнер-флекситанк, що може призвести до розливу вантажу, деформації контейнера, нанесення шкоди третій стороні та додатковим витратам на рятування залишків вантажу.

У випадку перевезення флекситанків бажано щоб договір страхування вантажу покривав усі ризики (група «А» за «Оговорками А, В, С Інституту лондонських Страхувальників по страхуванню вантажів»), включаючи страхування збитків та/або витрат, які настали під час перевантаження вантажу на інший транспортний засіб, навантаження в пункті відправлення, розвантаження в пункті призначення. Такий вид страхування є актуальним для перевезень вантажів у флекситанках з-за значного розміру збитків, що падають на експедитора як замовника перевезення по договору з агентом контейнерної лінії, а саме:

- ушкодження контейнерного обладнання під час рейсу з-за фізичного навантаження з боку рідини у флекситанку;
- витрати, що пов'язані з незапланованим вивантаженням контейнеру у транзитному порті та рятуванню залишків вантажу у випадку протікання або розриву флекситанка;
- ушкодження контейнерів, що знаходяться в одному ярусі із контейнером, що протікає або деформований внаслідок перевезення флекситанку;
- прибирання залишків вантажу, що витік з контейнеру.

На сьогоднішній день організатором контейнерного перевезення в більшості випадків виступає експедитор, основна ціль якого – ефективний вибір підрядників та грамотна організація їх взаємодії, результатом якої є безпечне перевезення вантажу, виконане згідно з домовленостями із замовником перевезення та його документальне оформлення згідно вимог торговельного контракту та чинного законодавства. Для формування можливих схем перевезення, із множини яких експедитор обиратиме оптимальну за критеріями, висунутими замовником, експедитор має вирішити наступні питання (рис. 1):

		1. Яким видом транспорту вантаж буде доставлений до порту відправлення?	
		автомобільний	Залізничний
2. Де буде прокодити стафіровка контейнеру?	Припортовий перевантажувальний комплекс	1. Доставка вантажу у автоцистерні для подальшого переливу у контейнер із флекситанком на припортовому перевантажувальному комплексі	2. Доставка вантажу у залізничному вагоні-цистерні для подальшого переливу у контейнер із флекситанком на припортовому перевантажувальному комплексі
	Завод або склад відправника	3. Подача порожнього контейнеру на автомобільній фітінговій платформі та комплекту флекситанку із сепарацією для установки та заливки на заводі або складі відправника	4. Подача порожнього контейнеру на залізничній платформі та комплекту флекситанку із сепарацією для установки та заливки на заводі або складі відправника

Рис. 1. Основні складові доставки вантажу з використанням флекситанків

1. Вид транспорту, яким вантаж буде доставлений до порту відправлення;
 2. Місце, де буде проходити стафіровка контейнеру;
 3. Необхідність проведення сертифікації вантажу;
 4. Необхідність проведення митного оформлення вантажу;
 5. Сторона, що займається закупівлею флекситанків;
 6. Кількість флекситанків та постачальник, у якого проводиться закупівля.
- З точки зору організації доставки вантажу у флекситанках виникає декілька варіантів, які охарактеризовано на рис. 2, 3.

На даний час в Україні поширено дві основи схеми перевезення вантажів у флекситанках, які передбачають виконання операцій, встановлених вище.

Схема 1.

1. Вантаж буде доставлений до порту відправлення у контейнері на автомобільній фітінговій платформі (варіант 3).
2. Стафіровка контейнеру буде проходити на заводі відправника.
3. Експедитор не проводить сертифікацію вантажу.
4. Експедитор проводить митне оформлення вантажу.
5. Відправник проводить закупку флекситанків.
6. Закупівля роздрібної партії проводиться у дистриб'ютора.

Схема 2.

1. Вантаж буде доставлений до порту відправлення у контейнері на залізничній платформі (варіант 4).
2. Стафіровка контейнеру буде проходити на заводі відправника.
3. Експедитор не проводить сертифікацію вантажу.
4. Експедитор проводить митне оформлення вантажу.
5. Експедитор проводить закупівлю флекситанків.
6. Закупівля контейнерної партії флекситанків проводиться у азійського виробника.

Поширення даних схем не виникає ефективність використання інших варіантів за певних умов на ринку контейнерних перевезень.

Висновки. В роботі розглянуті основні організаційні питання перевезення наливних вантажів у флекситанках. Надано огляд основних джерел регулювання процесу контейнерних перевезень флекситанків на рівні міжнародних морських та торговельних організацій; на рівні науково-дослідницьких закладів та на практичному рівні, силами компаній транспортного сектору та підприємств, чия система забезпечення товарами передбачає застосування контейнерного обладнання. Показано як перехід до використання флекситанків змінив схеми перевезення вантажів у контейнерах та призвів до появи нових суб'єктів ринку – постачальників флекситанків та додаткового обладнання. Описано роль страхування та ризику, що виникають у перевезеннях наливного вантажу. Зроблено аналіз критеріїв, на основі яких формуються схеми перевезень та розглянуто дві основні схеми, що широко використовуються для українського експорту наливних вантажів у контейнерах.

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ
№ 2(17), 2023

1	Доставка вантажу у автоцистерні для подальшого переливу у контейнер із флекситанком на припортовому перевантажувальному комплексі.	3. Чи необхідно експедитору проводити сертифікацію вантажу?		
		так	ні	
		4. Чи необхідно експедитору проводити митне оформлення вантажу?	так	Сертифікація та митне оформлення вантажу проводиться після завантаження контейнеру у порту відправлення або на найближчому митному терміналі, куди контейнер подається на автомобільній фітінговій платформі *
		ні	-	-
2	Доставка вантажу у залізничному вагон-цистерні для подальшого переливу у контейнер на припортовому перевантажувальному комплексі.	3. Чи необхідно експедитору проводити сертифікацію вантажу?		
		так	ні	
		4. Чи необхідно експедитору проводити митне оформлення вантажу?	так	Сертифікація та митне оформлення вантажу проводиться після завантаження контейнеру у порту відправлення або на найближчому митному терміналі, куди контейнер подається на автомобільній фітінговій платформі *
		ні	-	-
3	Подача порожнього контейнеру на автомобільній фітінговій платформі та комплекту флекситанку із сепарацією для установки та заливки на заводі або складі відправника	3. Чи необхідно експедитору проводити сертифікацію вантажу?		
		так	ні	
		4. Чи необхідно експедитору проводити митне оформлення вантажу?	так	Сертифікація та митне оформлення вантажу проводиться у порту відправлення або на найближчому до порту митному терміналі
		ні	-	Сертифікація та митне оформлення вантажу проводиться зазвичай за місцем знаходження заводу відправника – на найближчому митному терміналі
4	Подача порожніх контейнерів на залізничній платформі та комплекту флекситанків із сепарацією для установки та заливки на заводі або складі відправника.	3. Чи необхідно експедитору проводити сертифікацію вантажу?		
		так	ні	
		4. Чи необхідно експедитору проводити митне оформлення вантажу?	так	Сертифікація та митне оформлення вантажу проводиться у порту відправлення або на найближчому до порту митному терміналі
		ні	-	Митне оформлення вантажу проводиться на найближчій залізничній станції, де розташований митний пост та з якої відбувається відправлення контейнерів до порту

Рис. 2. Основні організаційні дії експедитору для різного розподілу обов'язків

Варіанти перевезення		5. Яка із сторін проводить закупку флекситанків?								
Постачальник/ розмір партії		відправник				експедитор				
6. У якій кількості та у якого постачальника проводиться закупівля?	Оптова партія	-	-					1	2	
		3	4					3	4	
	Дистриб'ютер у країні завантаження / будь-яка; виробник у Азії або США / повний контейнер; виробник у Європі / тент						Дистриб'ютер у країні завантаження / будь-яка; виробник у Азії або США / повний контейнер; виробник у Європі / тент			
	Роздрібна партія	-	-					1	2	
3		4					3	4		
Дистриб'ютер у країні завантаження / роздрібна; виробник у Європі / роздрібна.						Дистриб'ютер у країні завантаження / роздрібна; виробник у Європі / роздрібна.				

Рис. 3. Варіанти рішень щодо закупівлі флекситанків

ЛІТЕРАТУРА

1. COA Code of practice (Code of Practice for Flexitanks) URL: <https://www.containerownersassociation.com/technical-resource/flexitanks/> (дата звернення: 26.04.2023)
2. COA Code of Practice for the Manufacture of Flexitanks and Operation of Flexitank/Container Combinations. URL: www.containerownersassociation.org (дата звернення: 26.04.2023)
3. Best Practice Guidelines for loading, transport and unloading of flexitanks URL: https://cefc.org/app/uploads/2018/12/BestPracticeGuidelines-for-loading-transport-and-unloading-of-flexitank_2018-GUIDELINES-ROAD.pdf (дата звернення: 26.04.2023)
4. Онищенко, С. П., Коскіна, Ю. О. Сутність, специфіка і формування систем доставки вантажів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 3. С. 86-95. doi: 10.31649/1997-9266-2019-144-3-86-95
5. Rusanova S., Onyshchenko S., Pitera V. Modelling the Project Transport Support Optimal Option. *Technology audit and production reserves*. 2021. № 1 (2 (57)). С. 43-48. doi: 10.15587/2706-5448.2021.225288
6. Дацко М. В. Побудова транспортних маршрутів у логістиці. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Сер.: Економічні науки. 2016. Вип. 16(4). С. 152-155.
7. Shramenko M. Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. 5(3(77)), Р. 43-47. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51396
8. Коскіна Ю. О. Формалізація процесу організації системи доставки вантажів. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2020. 45(1), С. 111-117. doi:10.18372/2310-5461.45.14582

9. Rusanova S., Onyshchenko S. (2020). Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 1(2 (51)). С. 24-29. doi: 10.15587/2312-8372.2020.198373
10. Коскіна Ю. О. Теоретико-множинний підхід до моделювання структури систем доставки вантажів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. (5), С. 62–74. doi:10.31649/1997-9266-2019-146-5-62-74
11. Павлова Н.Л. Сіткова модель процесу організації доставки вантажів у контейнерах. *Transport development*. 2020. №2 (7). С. 52-59. doi: 10.33082/td.2020.2-7.05
12. Кічкіна О. І. Вибір оптимальної схеми доставки вантажу в логістичних системах. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. № 2. С. 9–11.
13. Берестенко В., Онищенко С. Імовірнісні характеристики мультимодальної доставки. *Розвиток транспорту*. 2022. № (1(12)). С. 118-128. doi: 10.33082/td.2022.1-12.10
14. Берестенко В., Онищенко С. Структура й характеристики мультимодальної доставки з позиції цифровізації. *Розвиток транспорту*. 2022. № 4(11). С. 82-93. doi: 10.33082/td.2021.4-11.08
15. Carefully to carry consolidated edition 2018 (2018) Witherby Publishing Group Ltd, 697.
16. Laura West (2008) Guide of Good Practices for the Transport of Wine in Flexitanks. URL: www.b-i-b.com (дата звернення: 26.04.2023)
17. STU-Code2022 URL: <http://contents.kocw.or.kr/KOCW/document/2014/Chungang/SallyMARTIN/5.pdf> (дата звернення: 26.04.2023)
18. Liqua Trans (no-bulkhead flexies) URL: <https://ancdist.com.au/integrated-bulkhead-flexitanks/> (дата звернення: 26.04.2023)
19. Getting agitated. Bulk Distributor URL: Ashley & Dumville Publishing <http://bulk-distributor.com/> (дата звернення: 26.04.2023)
20. Stolt expands depot network. Bulk Distributor. URL: Ashley & Dumville Publishing <http://bulk-distributor.com/> (дата звернення: 26.04.2023)

REFERENCES

1. COA Code of practice (Code of Practice for Flexitanks) Retrieved from <https://www.containerownersassociation.com/technical-resource/flexitanks/>
2. COA Code of Practice for the Manufacture of Flexitanks and Operation of Flexitank/Container Combinations. Retrieved from www.containerownersassociation.org
3. Best Practice Guidelines for loading, transport and unloading of flexitanks. Retrieved from https://cefic.org/app/uploads/2018/12/BestPracticeGuidelines-for-loading-transport-and-unloading-of-flexitank_2018-GUIDELINES-ROAD.pdf
4. Onyshchenko, S.P., Koskina, Yu.O (2019) Essence, specificity and formation of cargo delivery systems. [Sutnist', spetsyfika i formuvannya system dostavky vantazhiv] Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute. 3, 86-95. doi: 10.31649/1997-9266-2019-144-3-86-95 [In Ukrainian]
5. Rusanova S., Onyshchenko S., Piterska V. (2021) Modelling the Project Transport Support Optimal Option. *Technology audit and production reserves*, 1 (2 (57)), 43-48. doi: 10.15587/2706-5448.2021.225288

6. Datsko M. V. (2016) Construction of transport routes in logistics. [Pobudova transportnykh marshrutiv u lohistytsi] Scientific Bulletin of Kherson State University. Ser.: Economic Sciences. Issue 16(4), 152-155. [In Ukrainian]
7. Shramenko M. (2015) Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(3(77)), 43–47. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51396
8. Koskina Yu. (2020) Formalization of the process of organization of the cargo delivery system. [Formalizatsiya protsesu orhanizatsiyi systemy dostavky vantazhiv] Scientific technologies. 45(1), 111-117. doi:10.18372/2310-5461.45.14582 [In Ukrainian]
9. Rusanova, S., Onyshchenko, S. (2020). Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. *Technology audit and production reserves*, 1(2 (51)), 24-29. doi: 10.15587/2312-8372.2020.198373
10. Koskina Yu. (2019) A theoretical-multiple approach to modeling the structure of cargo delivery systems. [Teoretyko-mnozhyunny pidkhd do modelyuvannya struktury systemy dostavky vantazhiv] Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute. 5, 62–74. doi:10.31649/1997-9266-2019-146-5-62-74 [In Ukrainian]
11. Pavlova N.L. (2020) Network model of the process of organization of cargo delivery in containers [Sitkova model' protsesu orhanizatsiyi dostavky vantazhiv u konteynerakh.]. Transport development, 2 (7), 52-59. doi: 10.33082/td.2020.2-7.05 [In Ukrainian]
12. Kichkina O. I. (2015) Selection of the optimal cargo delivery scheme in logistics systems [Vybir optymal'noyi skhemy dostavky vantazhu v lohistychnykh systemakh]. Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl, 2. 9–11. [In Ukrainian]
13. Berestenko V., Onyshchenko S. (2022) Probabilistic characteristics of multimodal delivery [Imovirnisni kharakterystyky mul'tymodal'noyi dostavky]. Transport development, (1(12)), 118-128. doi: 10.33082/td.2022.1-12.10 [In Ukrainian]
14. Berestenko V., Onyshchenko S. (2022) Structure and characteristics of multimodal delivery from the point of view of digitalization [Struktura y kharakterystyky mul'tymodal'noyi dostavky z pozytsiyi tsyfrovizatsiyi]. Transport development, 4(11), 82-93. doi: 10.33082/td.2021.4-11.08 [In Ukrainian]
15. Carefully to carry consolidated edition 2018 (2018) Witherby Publishing Group Ltd, 697.
16. Laura West (2008) Guide of Good Practices for the Transport of Wine in Flexitanks. Retrieved from www.b-i-b.com
17. CTU-Code2022 Retrieved from <http://contents.kocw.or.kr/KOCW/document/2014/Chungang/SallyMARTIN/5.pdf>
18. Liqua Trans (no-bulkhead flexies) Retrieved from <https://ancdist.com.au/integrated-bulkhead-flexitanks/>
19. Getting agitated. Bulk Distributor. Retrieved from Ashley & Dumville Publishing <http://bulk-distributor.com/>
20. Stolt expands depot network. Bulk Distributor. Retrieved from Ashley & Dumville Publishing <http://bulk-distributor.com/>

**INFRASTRUCTURE PROVISION OF COMMERCIAL ACTIVITIES
OF PRODUCTION SYSTEMS OF INTERNATIONAL FORWARDING
TO THE MARKET OF TRANSPORT SERVICES**

O.K. Gryshchuk¹, A.V. Petryk², A.K. Kozlov³, T.M. Litus⁴

¹PhD, Professor at the Department of Tourism,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-2993-5566

²PhD, Associate Professor at the Department of International Transport and Customs Control,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-7996-5814

³Associate Professor at the Department of International Transport and Customs Control,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0170-7222

⁴Student of the Faculty of Transport and Information Technologies,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3369-3109

Summary

Introduction. The analysis of literary sources regarding the directions of commercial activity of production systems of an international orientation indicates the presence of promising trends of stable development of integration processes. The development of trade relations on the basis of economic integration between individual countries requires the creation of innovative and economically feasible production formations with appropriate infrastructural support. Therefore, the development of unified production processes for servicing import-export and transit cargo flows is one of the main tasks in the commercial services market. **Purpose.** The development of integration relationships in the international freight flow service system requires the creation and intensive use of competitive transport and technological processes with appropriate infrastructural support. Powerful transport hubs with modern specialized terminals correspond to such opportunities. And the rational use of the existing state-of-the-art infrastructure of business entities requires the development of structural foundations for improving technical and economic indicators. The article examines the methodology of infrastructural support for the commercial activity of production systems of international orientation in the market of transport services. **Results.** The peculiarities of conducting foreign trade operations were analyzed, and the problems related to resource provision of transport terminals in existing production structures were systematized. It is noted that the peculiarities of service of import-export and transit goods flows in transport hubs should take into account the specifics of the preliminary creation of a consolidated batch of goods. By carrying out multivariate calculations using the main provisions of the theory of mass service, the work determined the optimal number of vehicles for the effective implementation of commercial services. In the process of summarizing the obtained results, economically justified measures are proposed for infrastructural

support of commercial activity of production systems of international direction in the market of transport services. **Conclusions.** In the process of conducting the research, new results were obtained for improving the methodology of infrastructural support of commercial activity of production systems of international direction in the market of transport services. Based on the results of simulation modeling using the main theoretical provisions of mass service systems, integral economic indicators of quality provision of transport services were calculated using the example of export cargo flows. The conducted research can be useful for improving the efficiency of transport services in international production structures.

Key words: international communication, foreign trade cargo flows, transport service, infrastructural support, cargo consolidation, optimization of logistics costs, optimization of operational indicators.

ІНФРАСТРУКТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМЕРЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МІЖНАРОДНОГО СПРЯМУВАННЯ НА РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

О.К. Гришук¹, А.В. Петрик², А.К. Козлов³, Т.М. Літус⁴

¹к.т.н., професор кафедри туризму,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,

ORCID ID: 0000-0003-2993-5566

²к.т.н., доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,

ORCID ID: 0000-0001-7996-5814

³доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-0170-7222

⁴студентка факультету транспорту та інформаційних технологій,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,

ORCID ID: 0000-0003-3369-3109

Анотація

Вступ. Аналіз літературних джерел стосовно напрямів комерційної діяльності виробничих систем міжнародного спрямування свідчить про наявність перспективних тенденцій стабільного розвитку інтеграційних процесів. Розвиток торговельних відносин на засадах економічної інтеграції між окремими країнами вимагає створення інноваційних та економічно доцільних виробничих формувань із відповідним інфраструктурним забезпеченням. Тому розробка уніфікованих виробничих процесів для обслуговування імпортно-експортних та транзитних вантажопотоків є одним з головних завдань на ринку реалізації комерційних послуг. **Мета.** Розвиток інтеграційних взаємовідносин в системі обслуговування вантажопотоків міжнародного спрямування вимагає створення та інтенсивного використання конкурентоздатних транспортно-технологічних процесів із відповідним інфраструктурним забезпеченням. Таким можливостям відповідають потужні транспортні вузли з сучасними спеціалізованими терміналами. А раціональне використання існуючої новітньої інфраструктури суб'єктів господарської діяльності вимагає розробки структурних засад для покращення техніко-економічних

показників. У статті досліджується методологія інфраструктурного забезпечення комерційної діяльності виробничих систем міжнародного спрямування на ринку транспортних послуг. **Результати.** Проаналізовано особливості проведення зовнішньоторговельних операцій, систематизовані задачі щодо ресурсного забезпечення транспортних терміналів в існуючих виробничих структурах. Зазначено, що особливості обслуговування імпортно-експортних та транзитних товаропотоків в транспортних вузлах повинні враховувати специфіку попереднього створення консолідованої партії вантажів. Шляхом проведення багатоваріантних розрахунків з використанням основних положень теорії масового обслуговування в роботі визначена оптимальна кількість транспортних засобів для ефективної реалізації комерційних послуг. В процесі узагальнення отриманих результатів запропоновані економічно обґрунтовані заходи щодо інфраструктурного забезпечення комерційної діяльності виробничих систем міжнародного спрямування на ринку транспортних послуг. **Висновки.** В процесі проведення дослідження отримано нові результати для удосконалення методології інфраструктурного забезпечення комерційної діяльності виробничих систем міжнародного спрямування на ринку транспортних послуг. За результатами імітаційного моделювання із використанням основних теоретичних положень систем масового обслуговування розраховані інтегральні економічні показники якісного надання транспортних послуг на прикладі експортних вантажопотоків. Проведене дослідження може бути корисним для підвищення ефективності транспортного обслуговування у виробничих структурах міжнародного спрямування.

Ключові слова: міжнародне сполучення, зовнішньоторговельні вантажопотоки, транспортне обслуговування, інфраструктурне забезпечення, консолідація вантажів, оптимізація логістичних витрат, оптимізація експлуатаційних показників.

Introduction. The development of trade relations between individual countries is based on the principles of economic integration and mutually beneficial cooperation. In relation to the areas of commercial activity of production systems of an international orientation, it indicates the presence of promising trends of stable development of integration processes. The development of trade relations on the basis of economic integration between individual countries requires the creation of innovative and economically feasible production formations with appropriate infrastructural support. Therefore, the development of unified production processes for servicing import-export and transit cargo flows is one of the main tasks in the commercial services market.

Formulation of the problem. The rapid development of trade relations between individual countries indicates the need to accelerate integration processes on the basis of economic expediency. To a large extent, this situation is explained by the fact that qualitative changes are taking place in interstate economic relations, the volume of export-import operations with goods is increasing, and production structures of an international orientation are purposefully created.

The movement of the growing volume of cargo is carried out, as a rule, with the close interaction of the main types of transport (water, rail, road). The transportation of goods in international communication by the specified modes of transport has its

own characteristics, which affect the infrastructural support of the commercial activity of production systems in the market of transport services. One of the conditions for ensuring the competitiveness of logistics systems in transport hubs is the technological process of creating a consolidated batch of cargo. And the preliminary accumulation of export goods at the expense of consolidating cargo spaces and shortening the service terms of vessels in the sea trade port significantly improves the technological and economic indicators of transport and logistics systems.

A comprehensive approach in researching the peculiarities of commercial service of foreign trade cargo flows in existing transport and logistics systems involves taking into account the specifics of the interaction of different types of transport. Thus, the optimization of technical and technological parameters in the specified systems requires high-quality infrastructural support of commercial vehicles that move foreign trade goods in international traffic.

Analysis of recent research and publications. A detailed analysis of modern literature testifies to meaningful studies of the technology and sequence of commercial service of international cargo flows by various types of transport [1, 2]. The content of such services is determined by the export potential of the country and individual regions, means of infrastructural service, methods of carrying out cargo operations [3, 4]. And in each individual case, the characteristics of transport and technological systems and the conditions for compliance with contractual obligations should be taken into account [5, 6]. Under such circumstances, the deepening of economic integration between individual countries comprehensively takes into account the need to improve the structural and economic indicators of production systems of an international orientation [7, 8].

The existing approved regulatory documents and standard schemes for the movement of goods in international traffic contain fundamental provisions regulating the procedure for the accumulation of export consignments of goods in specialized terminals [9, 10]. Separate departmental documents regulate the sequence of customs control and customs clearance of vehicles and cargo moving across the customs border of Ukraine [11]. The sequence of actions of officials and the list of commercial services during the implementation of customs control and customs clearance of foreign trade supplies of goods allows determining the cost system as the basis of the legal mechanism for calculating economic indicators [12].

As a result, as the transport and logistics systems become more complicated, the infrastructural provision of international connections and the assessment of the cost-effectiveness of their operation become more responsible [13]. Complex indicators of the functioning of individual integrated structures are insufficient because, focusing only on the transportation process, they do not take into account the impact of the results of operational changes in the structure and the numerical characteristics of individual components on the final result of their production activity [14].

Formulation of the goals of the article. The existing trends in the development of integration relationships in the international freight flow service system outlined the scientific prospects for the creation and intensive use of competitive transport and technological processes with appropriate infrastructure support. The specificity of international foreign trade operations involves the creation and intensive use of powerful transport hubs with modern specialized terminals. The rational use of innovative infrastructure to create a consolidated batch of foreign trade cargo requires the development of theoretical provisions

and practical recommendations to improve technical and economic indicators. Therefore, special attention should be paid to the development and improvement of the methodology of infrastructural support for the commercial activity of production systems of international orientation in the market of transport services.

Presentation of the main material. Infrastructural support of production systems in the market of transport services is carried out during the entire period of movement of goods in the logistics chain. The process of creating a consolidated batch of goods and customs clearance of commercial goods and vehicles used to move goods across the customs border of Ukraine are of a unified nature. That is, the process of providing transport and logistics services does not depend on the business entity, the place of registration or the country of the owner of the vehicle. The specificity of a wide range of transport services for the transportation of grain cargoes in international traffic requires a differentiated analysis of their provision (Table 1).

Table 1

Classification of transport services in customs and logistics systems

Transport services	The content of the main transport services under the condition of creating a consolidated batch of grain cargoes
Technological – those related to the technology of transport service of the grain cargo flow	<ul style="list-style-type: none"> – organization of loading and unloading operations at transport hubs and specialized terminals; – transfer operations between different modes of transport; – temporary storage of grain cargoes at elevator and warehouse enterprises; – sorting of goods according to consumer properties and directions of transportation; – maintenance and control of physical and chemical properties of cargo.
Informational – those related to the informational support of the transport flow	<ul style="list-style-type: none"> – notification of the recipient about the shipment or arrival of the cargo; – record keeping and analysis of data on transport activity of consumers; – informing consumers about the location of the cargo; – selection and justification of an effective method of cargo delivery; – informing consumers about the types and cost of transport services.
Commercial - related to transportation technology, production organization and financial reporting	<ul style="list-style-type: none"> – execution of financial settlements with cargo owners, transport operators and transport organizations on behalf of the transport customer; – registration of the cargo delivery process (customs registration, sanitary control, veterinary control, radiation control, etc.); – conclusion of commercial and other acts on shortages and surpluses, deterioration or damage of cargo or vehicles; – organization of cargo protection in the process of transportation and storage; – performance of insurance operations and search for undelivered goods.
Forwarding – those related to the forwarding of goods and cargo	<ul style="list-style-type: none"> – selection of technologies for cargo movement; – advising customers of transport services on terms of delivery; – preparation of necessary documents and conclusion of transportation contract; – transfer of cargo to the transport company or its agent; – collecting small shipments and combining them according to transportation directions.

Based on the results of the analysis, it became possible to determine the main areas of commercial activity of the integrated enterprise. For example, participation in the formation of the tariff policy of production formations is as follows:

- substantiation of proposals for determining the real level of tariffs and fees for new and existing categories of cargo flows;
- systematization of proposals for granting preferences to certain groups of consumers of transport services;
- provision of proposals and relevant calculations regarding the introduction of end-to-end tariffs for servicing foreign trade cargo flows.

The conclusion of contracts for transport services for consumers of commercial services is characterized by the following tasks:

- determination of the basic conditions for the transport service of grain cargo flows;
- definition of a differentiated list of types of transport services for possible outsourcing;
- determination and calculation of possible risks in case of force majeure.

Commercial provision of the execution of concluded contracts involves the following type of works:

- execution of freight transport documentation;
- execution of mutual settlements between participants of the transport market;
- consideration of mutual commercial claims.

Thus, depending on the specialization of the integrated production structure, the following areas of work are distinguished in the commercial service:

- sale of transport services and organization of transport services;
- studying the state and forecasting the prospects for the development of the transport services market;
- marketing activities and strategic planning of infrastructure development.

In the theory of optimal management of production processes, in general, such transport and logistics systems are considered, the behavior of which can be influenced or which can be controlled by changing the control parameters. The latter are selected taking into account the technical and technological characteristics for reasonable restriction systems. Therefore, the goal of creating mathematical models based on the theory of optimal management of material resources is the development of methods for choosing numerical values of input parameters, provided that the optimum is achieved by the specified functional.

Problems of this direction arise not only in the study of modern transport and logistics systems, which contain complicated processes of cargo movement, and therefore have not yet been developed in detail, but also in the study of the production processes of providing traditional commercial services related to the maintenance of foreign trade cargo flows. Naturally, the proposed mathematical models for these systems should take into account the influence of a large number of constantly existing and random factors. The first group includes, for example, the length of the cargo transportation route, the productivity of service channels, the planned idle time of the vehicle under loading and unloading, etc. A characteristic feature of these factors is their relative stability due to the fact that their numerical characteristics are selected in advance by customers of commercial services or determined by regulatory documents.

Random factors in the process of creating a consolidated batch of export goods are characterized by the speed of movement of cars on the route, the generalized average carrying capacity of road vehicles, structural features of the rolling stock. The nature

of changes in certain factors in the process of providing commercial services is largely influenced by the conditions of the organization of the transport and technological process.

In mathematical models, the influence of the specified factors is determined by the numerical values of the car's rotation time on the route, the intensity of requests and the duration of their service. In addition, in order to determine the economic indicators of the functioning of transport systems, the developed mathematical models must take into account the numerical values of the cost of carrying out transport and loading and unloading operations and the costs associated with unproductive downtime of individual technological mechanisms.

Taking into account the specified theoretical prerequisites, it becomes possible to check the reliability of the created mathematical models through experimental studies and field observations of the functioning of transport and logistics systems in production conditions. The calculation of the economic indicators of the service of international cargo flows is considered on the example of the creation of a consolidated batch of grain cargoes with the application of innovative approaches to the interaction between individual entities of economic activity. Such prerequisites are designed to evaluate the activities of integrated economic structures and production entities in the market of international transportation.

With such a formulation of the question, the number of cars n is considered as a control variable in the objective function of optimizing the structure of integrated systems for the provision of commercial services. Its optimal value n_{opt} is determined by maximizing the profit function $G(n)$ per hour of operation of the transport and logistics complex

$$G(n) = (T_k - S_k)q\mu K_z + (T_m - S_m)q\mu A_z - C_k K_n - C_a A_n, \quad (1)$$

where T_k, S_k – respectively, the tariff and costs for cargo flow maintenance when creating a consolidated batch of cargo in a specialized terminal, €/ton;

μ – intensity of service of road vehicles of load capacity q in the transport node, cars/hour;

K_z, A_z – respectively, the average number of working service posts and the average number of cars serviced by m posts in the transport and logistics system;

T_m, S_m – respectively, the tariff and the cost of transportation of 1 ton of a consolidated batch of goods for the specified l_m distance, €/ton;

K_n – the average number of idle service posts waiting for cars to be serviced;

A_n – the average number of cars waiting for service in a specialized terminal;

C_k, C_a – costs related to downtimes of service posts and road vehicles, respectively, €/hour.

The difference $(T_k - S_k)$ between the income T_k from the provision of commercial services in transport terminals and the current costs S_k for the creation of a consolidated batch of export goods is the profit from the completed full cycle of works. The numerical values of these values are closely related to each other and depend on such factors as the available range of commercial services in the system, the conditions for their performance, the possibility of involving additional third-party organizations to perform certain types of work, and the need to pay existing taxes and fees. The variable component value of the S_k indicator includes workers' wages with accruals, costs for the use of energy resources, the cost of technical maintenance and additional commercial services of a specialized terminal, and current repairs and depreciation charges for the restoration of the main production assets.

The constant component of the S_k indicator includes the amount of charges for using the loan, the services of the lesser and the insurance bank, deductions to the innovation fund, as well as general economic expenses. In addition, the numerical value of the first component of the mathematical expression (1) depends on the conditions

of the transport-technological process and the scope of the use of advanced innovative technologies. The specified limitations indicate the need to use high-performance infrastructural support in transport hubs and specialized terminals.

The method of determining the profit from the use of terminal infrastructure and road vehicles for 1 hour of operation of the transport and logistics system involves the use of currently existing tariffs for cargo flow maintenance. The results of calculations based on known mathematical dependencies should take into account the change in tariffs and costs compared to the base period.

Using the general solution of known mathematical dependencies in terms of mass service theory for the process of commercial service in a closed system, the numerical value of the indicator $K_z = A_z$ is determined as

$$K_z = \sum_{k=1}^{m-1} kp_k + m \sum_{k=m}^n p_k = \sum_{k=1}^{m-1} kp_k + m(1 - \sum_{k=0}^{m-1} p_k) \quad (2)$$

The number of service stations waiting for cars in the specialized terminal K_n , using the main theoretical provisions for stochastic processes, is calculated as

$$K_n = \sum_{k=0}^{m-1} (m - k) p_k \quad (3)$$

The average number of road vehicles that are in the queue for service is

$$A_n = \sum_{k=m}^n (k - m) p_k \quad (4)$$

The costs associated with the downtimes of service posts S_k and road vehicles C_a should be interpreted as the sum of fixed costs to determine the cost price, respectively, of technological operations and transportation of consolidated cargoes and lost profit from forced non-productive downtimes of infrastructure components.

Graphical interpretation of the mathematical dependence $G(n) = f(n)$ for the case of creating a consolidated batch of grain cargo with the involvement of road trains with a carrying capacity of $q = 20$ t to a specialized terminal with two $m = 2$ service stations is presented in Fig. 1.

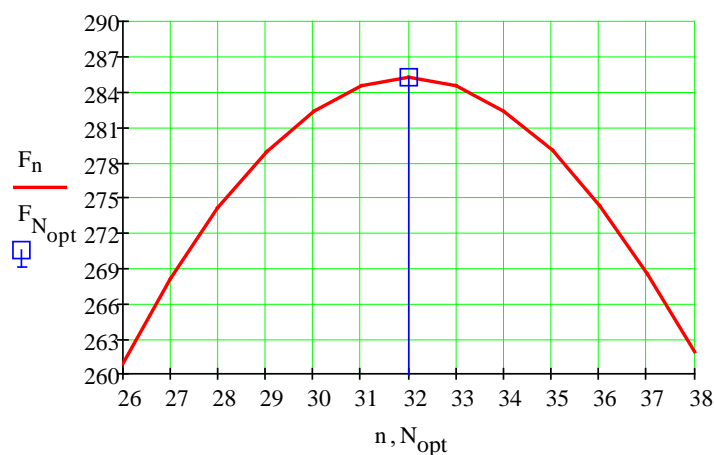


Fig. 1. Hourly profit in the transport and logistics system under the condition of creating a consolidated batch of grain cargo with the involvement of road trains with a carrying capacity of $q = 20,0$ tons to a specialized terminal with two $m = 2$ service stations

The task of analyzing the effectiveness of the transport and technological system in relation to the final result is to determine the existing possibilities of achieving the set goal by the specified system in conditions of uncertainty of the parameters of the external environment.

When studying the indicators of the reliability and cost-effectiveness of the functioning of transport and logistics systems in the process of commercial service of foreign trade cargo flows, conditions arise that are characterized by the influence of various random factors: changes in the demand for transport services, the possibility of attracting additional vehicles, changes in the numerical value of operational costs, etc.

The decrease in the hourly profit of the transport and logistics system in the absence of a sufficient number of vehicles is explained by the increase in the K_n indicator of the average number of non-working service posts waiting for cars and, accordingly, the decrease in K_z of working mechanisms. And since the product $K_z m$ is represented in the mathematical relationship (1) with a "plus" sign, and the product $C_k K_n$ with a "minus" sign, the resulting indicator $F(n)$ decreases significantly.

The trend of decreasing hourly profit $G(n)$ with an excessive number of vehicles in the transport and logistics system indicates the emergence of forced downtime of cars waiting for service. In mathematical expression (1), the change in the indicator $G(n)$ is explained by the influence of the increase in the average number of A_n cars in the expected service. Moreover, under the condition $n > n_{opt}$, the rate of growth of the $C_a A_n$ component is slightly ahead of the rate of decrease of the $C_k K_n$ component in the system.

With the use of mathematical dependencies (1–4) it became possible to determine both the optimal values of the technical and technological parameters of transport and logistics systems, and the results of the change in the function $G(n)$ due to the change in influencing factors. When creating a consolidated batch of export cargo, an important factor in the organizational structure of the system is the number of service stations for loaded cars m in a specialized terminal. The special influence of the mentioned factor is manifested because the creation of export consignments of grain with subsequent loading onto a sea merchant ship takes place in fairly significant volumes within a limited time frame. Therefore, compliance with the planned indicators of reliability and economy of transport service allows ensuring the competitiveness of the transport and technological process of international direction (Table 2).

Table 2

The optimal value of the number of road vehicles and the maximum hourly profit in the transport and logistics system

Cars		The number of service posts in the terminal					
Load capacity, tons	Costs, €/ton	$m = 1$		$m = 2$		$m = 3$	
		n_{opt}	$G(n)$, €/год	n_{opt}	$G(n)$, €/год	n_{opt}	$G(n)$, €/год
$q = 12,0$	4,00	27	69,73	46	186,85	69	300,82
$q = 14,0$	3,71	21	95,26	41	221,03	62	352,41
$q = 16,0$	3,50	19	107,97	38	246,49	56	390,68
$q = 18,0$	3,33	18	118,46	35	267,50	51	422,08
$q = 20,0$	3,20	17	126,68	32	284,04	48	446,49
$q = 22,0$	3,09	16	133,88	30	298,17	44	467,53

Yes, if the number of service stations is doubled (from $m = 1$ to $m = 2$), the optimal number of road vehicles increases by 70,4% (from $n_{opt} = 27$ to $n_{opt} = 46$) for vehicles with a carrying capacity $q = 12$ t and by 87,5% (from $n_{opt} = 16$ cars to $n_{opt} = 30$ cars) for cars with a carrying capacity of $q = 22$ tons. A slightly more intensive increase in the optimal value of vehicles with a larger carrying capacity is explained by a significant decrease in the time the cars are idle, and accordingly, the possibility of increasing productivity. The specified trend is also preserved under the condition of a three-fold increase ($m = 3$) in the throughput of the system.

The results of changing the influence of the number of service posts in the terminal on the numerical value of the hourly profit $G(n)$ in the system are slightly different from the previous analysis. For example, if the indicator m doubles, the hourly profit of the $G(n)$ system with cars with a carrying capacity of $q = 12$ tons increases by 2,67 times (from $G(n) = 69,73$ €/hour for $m = 1$ to $G(n) = 186,85$ €/hour for $m = 2$). Under similar conditions, for a system with cars with a carrying capacity of $q = 22$ tons, the increase in the specified result is 2,23 times (from $G(n) = 133,73$ €/hour for $m = 1$ to $G(n) = 298,17$ €/hour for $m = 2$). A somewhat more intensive growth of the $G(n)$ indicator for cars with a smaller carrying capacity is due to the fact that the profitability of transportation by these cars is much lower than in the case of using heavy-duty road trains. And at the initial stage of the analysis ($m = 1$), the available bandwidth of the system significantly increases the numerical value of the indicator A_n in the terminal.

For the next increase in the capacity of the transport and logistics system to $m = 3$, the change in hourly profit in the transport and logistics system looks like $G(n) = 300,82$ €/hour for $q = 12$ t and $G(n) = 467,53$ €/hour for $q = 22$ tons. The obtained results confirm the previous thesis about the need to provide specialized terminals with high-performance service mechanisms.

A positive effect on the change of structural n_{opt} and economic $G(n)$ indicators in transport and logistics systems is observed when the average carrying capacity of road vehicles increases. The calculated numerical values of the resulting indicators for $q = 12$ tons are within the range of $G(n) = 69,73$ €/hour under the condition $n_{opt} = 27$ cars for $m = 1$ to $G(n) = 300,82$ €/hour under the condition $n_{opt} = 69$ cars for $m = 3$. And increasing the carrying capacity of road vehicles to $q = 22$ tons gives the following results: $G(n) = 133,88$ €/hour under the condition $n_{opt} = 16$ cars for $m = 1$ and $G(n) = 467,53$ €/hour under the condition $n_{opt} = 44$ cars for $m = 3$.

The conducted calculations indicate that in order to significantly improve technological and economic indicators for the creation of a consolidated batch of grain cargoes, there is a need to equip the specified transport and logistics systems with heavy-duty vehicles and road trains.

The requirements for compliance with a certain level of competitiveness of transport and logistics processes in the world market of commercial services are the basis for recommendations in relation to the interaction of individual components of the relevant industrial associations. And one of the elements of optimizing the structure of such integrated entities in the system of international trade can be high-quality and economical infrastructural equipment with a certain number of road vehicles. However, in a number of production situations, the consolidation of export goods requires a forced increase in the productivity of the system to the detriment of economic indicators, or on the contrary,

the system may be understaffed with vehicles due to their physical absence. In addition, the nature of the change in the dependence $G(n) = f(n)$ indicates a different degree of influence of the indicator n on the cost-effectiveness of transport services.

Using the stated theoretical prerequisites for optimizing the production structure of transport and logistics systems, it became possible to analyze the influence of the average distance of cargo delivery to a specialized terminal on the resulting indicator $G(n)$ of hourly profit (table 3).

Table 3

Change in the hourly profit of the operation of the transport and logistics system when creating a consolidated batch of grain under the condition of different average distances of cargo delivery

Number of vehicles in the system	The average distance of delivery of grain cargoes to a specialized terminal, km					
	$l_m = 60$ km		$l_m = 80$ km		$l_m = 100$ km	
	$G(n)$, €/hour	$\Delta G(n)$, €/hour	$G(n)$, €/hour	$\Delta G(n)$, €/hour	$G(n)$, €/hour	$\Delta G(n)$, €/hour
n_{opt}	284,04	–	308,81	–	334,18	–
$n_{opt} - 2$	280,61	3,46	305,26	3,55	332,69	1,49
$n_{opt} - 4$	271,63	12,41	296,99	11,82	327,00	7,18
$n_{opt} - 6$	257,37	26,67	284,53	24,28	317,49	16,69
$n_{opt} - 8$	238,88	45,16	268,47	40,34	304,64	29,54
$n_{opt} - 10$	216,98	67,06	249,45	59,36	288,96	45,22
$n_{opt} + 2$	281,67	2,37	307,41	1,40	331,30	2,88
$n_{opt} + 4$	273,89	10,15	301,17	7,64	324,17	10,01
$n_{opt} + 6$	261,61	22,43	290,61	18,20	313,23	20,95
$n_{opt} + 8$	246,01	38,03	276,57	32,24	299,16	35,02
$n_{opt} + 10$	228,27	55,77	260,01	48,80	282,76	51,42

The results of the comparison of the hourly profit in the $G(n)$ system for three variants of the numerical value of the transportation distance l_m show that with the increase of the indicated indicator l_m , the optimal value of the indicator $G(n)$ tends to increase from $G(n) = 284,04$ €/hour for $l_m = 60$ km to $G(n) = 334,18$ €/hour for $l_m = 100$ km. This situation is explained by the fact that with the growth of l_m , the productivity of vehicles in ton-kilometers increases, and accordingly, the revenues and profits of the transport and logistics system increase.

The mentioned circumstances also explain the "sensitivity" of transport and logistics structures to changes in the numerical value of cars in the system. For example, the absence or excess of four cars in the system reduces the hourly profit $\Delta G(n)$ in the transport and logistics system in the range from 4,36% for $l_m = 60$ km to 2,99% for $l_m = 100$ km. And if there are no or an excessive number of eight road vehicles, the $G(n)$ indicator decreases from 15,90% for $l_m = 60$ km to 10,48% for $l_m = 100$ km.

The identified trends convincingly prove the need for the creation and intensive practical use of integrated production structures with a wide range of infrastructure support in the market of commercial services.

Conclusions. According to the results of the research on the infrastructural support of the commercial activity of integrated formations, new results were obtained regarding

the effective use of material and financial resources. By creating mathematical models and corresponding software products based on the criterion of hourly profit $G(n)$, the work calculated the value of the optimal number of n_{opt} road vehicles of integrated production structures. Using the main provisions of the theory of mass service, the main principles of equipping production formations of international direction with technical means of service in specialized terminals are determined. It was established that the optimal value of the hourly profit $G(n)$ of integrated transport and logistics systems increases with the total increase in the productivity of service stations. By carrying out multivariate calculations, the necessity of equipping production structures of the international direction with large-tonnage cars and road trains, which has a positive effect on the improvement of technological and economic indicators, is substantiated. The conducted research can be useful for the organization of rational infrastructural provision of commercial activities of integrated formations with the aim of competitive service of foreign trade cargo flows.

BIBLIOGRAPHY

1. Pourakbar M., Zuidwijk R.A. The role of customs in securing containerized global supply chains. *European Journal of Operational Research*. 2018. № 271(1). pp. 331-340. doi:10.1016/j.ejor.2018.05.012.
2. Vorkut T., Volynets L., Bilonog O., Sopotsko O., Levchenko I. The model to optimize deliveries of perishable food products in supply chains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 5. pp. 43-50. doi:10.15587/1729-4061.2019.177903.
3. Kulbovskiy I., Bakalinsky O., Sorochynska O., Kharuta V., Holub H., Skok P. Implementation of innovative technology for evaluating high-speed rail passenger transportation. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. № 6. pp. 63-72. doi:10.21303/2461-4262.2019.001006.
4. Apfelst A., Dashkovskiy S., Nieberding B. Modeling, optimization and solving strategies for matching problems in cooperative full truckload networks. *IFAC Papers On Line*. 2016. № 49. Issue 2. pp. 18-26. doi:10.1016/j.ifacol.2016.03.004.
5. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method. *Transport*. 2019. № 34. Issue 2. pp. 175-186. doi:10.3846/transport.2019.8546.
6. Prokudin G., Remekh I., Maidanyk K. The efficiency of the runsystem application in international freight transportation, *Politechnika Rzeszowska*. 2017. № 10. pp. 79-86.
7. Silantieva I., Katrushenko N., Kushym B. Ensuring effectiveness in handling the movement of goods and passengers by enhancing information and communication technologies. *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*. 2019. pp. 75-83. doi:10.5281/zenodo.3387287.
8. Lashenyh A., Turpak S. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations. *Eastern-European Journal*

- of Enterprise Technologies*. 2016. № 5/3(83). pp. 40-46. doi:10.15587/1729-4061.2016.80752.
9. Shin S., Roh H-S, Hur S. Characteristics Analysis of Freight Mode Choice Model According to the Introduction of a New Freight Transport System. *Sustainability*. 2019. № 11(4). 1209 p.
 10. Lebid I., Luzhanska N., Kotsiuk O. Technical Support for Freight Customs Complex Operation. *Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl: Scientific journal*. 2019. № 2(250). pp. 7-11.
 11. Singh S., Dubey G.C., Shrivastava R. Various method to solve the optimality for the transportation problem. *Statistical Mechanics and its Applications*. 2016. № 12. pp. 161-169.
 12. Gryshchuk O., Petryk A., Yerko Y. Development of methods for formation of infrastructure of transport units for maintenance of transit and export freight flows. *Technology Audit and Production Reserves*. 2022. № 1. Issue 2(63). pp. 26-30. doi:10.15587/2706-5448.2022.251505.
 13. Crainic T., Perboli G., Rosano M. Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy. *European Journal of Operational Research*. 2018. № 270. Issue 2. pp. 401-418. doi:10.1016/j.ejor.2017.11.061.
 14. Naumov V., Kholeva O. Studying Demand for Freight Forwarding Services in Ukraine on the Base of Logistics Portals Data. *Procedia Engineering*. 2017. № 187. pp. 317-323. doi:10.1016/j.proeng.2017.04.381.

REFERENCES

1. Pourakbar M. & Zuidwijk R.A. (2018) The role of customs in securing containerized global supply chains. *European Journal of Operational Research*. 271(1), 331-340. doi:10.1016/j.ejor.2018.05.012.
2. Vorkut T., Volynets L., Bilonog O., Sopotsko O. & Levchenko I. (2019) The model to optimize deliveries of perishable food products in supply chains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5, 43-50. doi:10.15587/1729-4061.2019.177903.
3. Kulbovskiy I., Bakalinsky O., Sorochynska O., Kharuta V., Holub H. & Skok P. (2019) Implementation of innovative technology for evaluating high-speed rail passenger transportation. *EUREKA: Physics and Engineering*. 6, 63-72. doi:10.21303/2461-4262.2019.001006.
4. Apfelst A., Dashkovskiy S. & Nieberding B. (2016) Modeling, optimization and solving strategies for matching problems in cooperative full truckload networks. *IFAC Papers On Line*. 49. Issue 2, 18-26. doi:10.1016/j.ifacol.2016.03.004.
5. Danchuk V., Bakulich O. & Svatko V. (2019) Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method. *Transport*. 34. Issue 2, 175-186. doi:10.3846/transport.2019.8546.
6. Prokudin G., Remekh I. & Maidanyk K. (2017) The efficiency of the runsystem application in international freight transportation, *Politechnika Rzeszowska*. 10, 79-86.

7. Silantieva I., Katrushenko N. & Kushym B. (2019) Ensuring effectiveness in handling the movement of goods and passengers by enhancing information and communication technologies. *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*. 75-83. doi:10.5281/zenodo.3387287.
8. Lashenyh A. & Turpak S. (2016) Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5/3(83), 40-46. doi:10.15587/1729-4061.2016.80752.
9. Shin S., Roh H-S & Hur S. (2019) Characteristics Analysis of Freight Mode Choice Model According to the Introduction of a New Freight Transport System. *Sustainability*. 11(4), 1209 p.
10. Lebid I., Luzhanska N. & Kotsiuk O. (2019) Technical Support for Freight Customs Complex Operation. *Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl: Scientific journal*. 2(250), 7-11.
11. Singh S., Dubey G.C. & Shrivastava R. (2016) Various method to solve the optimality for the transportation problem. *Statistical Mechanics and its Applications*. 12, 161-169.
12. Gryshchuk O., Petryk A. & Yerko Y. (2022) Development of methods for formation of infrastructure of transport units for maintenance of transit and export freight flows. *Technology Audit and Production Reserves*. 1. Issue (2(63)), 26-30. doi:10.15587/2706-5448.2022.251505.
13. Crainic T., Perboli G. & Rosano M. (2018) Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy. *European Journal of Operational Research*. 270. Issue 2, 401-418. doi:10.1016/j.ejor.2017.11.061.
14. Naumov V. & Kholeva O. (2017) Studying Demand for Freight Forwarding Services in Ukraine on the Base of Logistics Portals Data. *Procedia Engineering*. 187, 317-323. doi:10.1016/j.proeng.2017.04.381.

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ВИТРАТ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАВОК ЗОВНІШНЬОТОРГОВЕЛЬНИХ ВАНТАЖІВ

О.М. Коробкова¹, Л.А. Павловська², Н.Г. Шпак³

¹к.е.н., доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-2279-5820

²к.е.н., доцент, професор кафедри «Експлуатація портів
і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6856-7316

³к.е.н., доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-3765-1099

Анотація

Вступ. Завдання оптимізації логістичних витрат у ланцюгах постачання зовнішньоторговельних вантажів пов'язана насамперед із загальноекономічними тенденціями в світі. Глобальна економічна криза, епідеміологічна ситуація у світі, війна в Україні значно посилюють ризики при здійсненні міжнародних переміщень вантажів. Глобалізація прискорює цей процес взаємозалежності ланцюга поставок і створює труднощі як для окремих осіб, так і для глобального ланцюга поставок, що призводить до багатьох ризиків у глобальному масштабі. Оскільки ланцюжки постачання стають складнішими, невизначеність і ризики стають більші значими. **Мета.** Обґрунтування та прийняття ефективних рішень на основі оптимізації витрат з виконання митно-логістичних операцій у ланцюгах поставок зовнішньоторговельних вантажів. **Висновки.** У статті досліджено теоретичні підходи до визначення терміну «логістичні витрати» та структуризації логістичних витрат, орієнтовані на вирішення управлінських завдань у ланцюгах поставок, удосконалено модель логістичних витрат з урахуванням додаткових витрат на митно-логістичні операції, які необхідно враховувати в процесі формування та управління ланцюгами поставок. Включення витрат, пов'язаних із здійсненням митних формальностей, дозволяє окремо враховувати додаткові витрати, які пов'язані з ризиками при здійсненні митного контролю вантажів. Крім того, враховуються витрати, пов'язані з необхідністю надання забезпечення сплати митних платежів при транспортуванні вантажу внутрішнім транзитом по території України, якщо виникає необхідність оформлення товару в іншому структурному підрозділі Державної митної служби України. Доведено, що витрати на здійснення митних формальностей та витрати на сплату митних платежів є вагомою частиною при розрахунку логістичних витрат при здійсненні зовнішньоторговельних операцій. Виконана декомпозиція загальних логістичних витрат дозволяє враховувати специфіку митного законодавства та обмеження з використання митно-логістичних технологій.

Ключові слова: логістичні витрати, оптимізація логістичних витрат, митна логістика, митні формальності.

**MODELING OF LOGISTICS COSTS
IN SUPPLY CHAINS OF FOREIGN TRADE GOODS**

O.M. Korobkova¹, L.A. Pavlovska², N.G. Shpak³

¹Ph.D, Associate Professor at the Department “Exploitation of Ports and Cargo Operation Technologies”,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-2279-5820

²Ph.D, Professor, Professor at the Department “Exploitation of Ports and Cargo Operation Technologies”,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6856-7316

³Ph.D, Associate Professor at the Department “Exploitation of Ports and Cargo Operation Technologies”,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-3765-1099

Summary

Introduction. *The task of optimizing logistics costs in supply chains of foreign trade goods is primarily related to general economic trends in the world. The global economic crisis, the epidemiological situation in the world, the war in Ukraine significantly increase the risks involved in the international movement of goods. Globalization accelerates this process of supply chain interdependence and creates difficulties for both individuals and the global supply chain, leading to many risks on a global scale. As supply chains become more complex, uncertainty and risks become more significant.* **Purpose.** *Reasoning and making effective decisions based on cost optimization for the implementation of customs and logistics operations in supply chains of foreign trade goods.* **Conclusions.** *The article examines theoretical approaches to the definition of the term "logistics costs" and the structuring of logistics costs, focused on solving management tasks in supply chains, the model of logistics costs is improved, taking into account additional costs for customs and logistics operations, which must be taken into account in the process of forming and managing supply chains. The inclusion of costs associated with the implementation of customs formalities allows you to take into account separately the additional costs associated with the risks involved in the implementation of customs control of cargo. In addition, the costs associated with the need to provide security for the payment of customs payments during the transportation of goods by internal transit on the territory of Ukraine are taken into account if there is a need for registration of goods in another structural unit of the State Customs Service of Ukraine. It has been proven that the costs of carrying out customs formalities and the costs of paying customs payments are a significant part of the calculation of logistics costs in the implementation of foreign trade operations. The performed decomposition of general logistics costs allows taking into account the specifics of customs legislation and restrictions on the use of customs logistics technologies.*

Key words: *logistics costs, optimization of logistics costs, customs logistics, customs formalities.*

Постановка проблеми. Завдання оптимізації логістичних витрат у ланцюгах постачання зовнішньоторговельних вантажів пов'язана насамперед із

загальноекономічними тенденціями в світі. Глобальна економічна криза, епідеміологічна ситуація у світі, війна в Україні значно посилюють ризики при здійсненні міжнародних переміщень вантажів. Епідемія COVID-19 спричинила руйнування глобальних соціальних та економічних систем. Наслідки цієї пандемії вплинули на виробничі процеси та світові ланцюжки поставок. Глобалізація прискорює цей процес взаємозалежності ланцюга поставок і створює труднощі як для окремих осіб, так і для глобального ланцюга поставок, що призводить до багатьох ризиків у глобальному масштабі. Оскільки ланцюжки постачання стають складнішими, невизначеність і ризики стають більш значимими.

Ситуація, що склалася неминуче призводить до ускладнення ланцюгів поставок, зміни маршрутів транспортування, залучення додаткових, не обов'язкових до участі логістичних посередників. У таких умовах найчастіше спостерігається зростання непродуктивних витрат, що не впливають на цінність товару для кінцевого споживача.

Слід зазначити, що у світі конкурують не компанії чи окремі бізнес-процеси, а ланцюга поставок. Відомо, що ланцюги поставок зовнішньоторговельних вантажів мають більш складну конфігурацію порівняно з ланцюгами поставок всередині однієї країни, що відбивається, в тому числі, і на структурі логістичних витрат – з'являються нові складові, пов'язані з переміщенням товарів через митний кордон, вчиненням митних операцій, сплатою митних платежів

Зазначені специфічні особливості не можна не враховувати при моделюванні ланцюгів поставок зовнішньоторговельних вантажів, оскільки це призведе до зростання витрат. У той же час відомо, що оптимізація лише однієї складової не дозволяє досягти бажаного результату.

Вищевикладене обумовлює необхідність пошуку нових підходів до управління логістичними витратами в ланцюгах поставок зовнішньоторговельних вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та методологічні основи управління логістичними витратами закладені в роботах зарубіжних та вітчизняних учених: Н.-М. Wolfgang, А. Grainger, Алькема В.Г., Сумець О.М., Кальченко А.Г., Павловської Л.А., Шпак Н.Г., Кириллової О.В. та інших вчених.

Питання митної логістики докладно розглянуті у роботах: D. Widdowson, М.Г. Шульги, О.В. Неліповича, Т.В. Корнева, Є.В. Додіна, А.В. Мазур, Н.В. Прохар та ін.

Розроблені і представлені в фундаментальних і прикладних дослідженнях підходи до управління витратами, оптимізаційні моделі міжнародної торгівлі набули розвитку однак деякі аспекти залишаються малодослідженими.

Так, на нашу думку, на окрему увагу заслуговують питання, пов'язані із врахуванням митної складової при моделюванні ланцюгів поставок.

Значимість зазначених вище питань та необхідність опрацювання даних проблем визначили формулювання мети та постановку завдань дослідження.

Формулювання цілей статті є обґрунтування та прийняття ефективних рішень на основі оптимізації витрат з виконання митно-логістичних операцій у ланцюгах поставок зовнішньоторговельних вантажів.

Поставлена мета вимагала вирішення наступних завдань: дослідити підходи до дефініції «логістичні витрати» та структуризації логістичних витрат, орієнтовані

на вирішення управлінських завдань у ланцюгах поставок; удосконалити модель логістичних витрат в ланцюгах поставок зовнішньоторговельних вантажів

Виклад основного матеріалу дослідження. Торговельні тарифи загалом знизилися після угоди ГАТТ, але інші торговельні бар'єри все ще існують і мають тенденцію до зростання. Важливим видом таких торговельних бар'єрів є логістичні послуги, пов'язані з транспортуванням товарів на зовнішні ринки. Ефективна логістика має велике значення для малих і відкритих економік.

Відмінності в значеннях LPI неоднорідно впливають на двосторонню торгівлю, особливо якщо розглядати торгівлю різними групами товарів і різними групами країн.

Індекс ефективності логістики (LPI) – це показник та критерій, розроблений Світовим банком для того щоб допомогти країнам визначити проблеми з логістикою та визначити, основні кроки для підвищення ефективності логістики. LPI формує ефективність країн за допомогою шести компонентів (рис. 1), які охоплюють найбільш важливі аспекти логістичного середовища:

- митниця: ефективність процесу митного оформлення;
- інфраструктура: якість інфраструктури яка пов'язаної з міжнародною торгівлею та транспортом;
- міжнародні перевезення: зручність організації доставки;
- якість логістики: якість логістичних послуг та кваліфікація персоналу;
- відстеження та супровід: можливість відстежувати та супроводжувати вантаж;
- своєчасність: доставка вантажу одержувачу в очікуваний час [1, 2, 3].

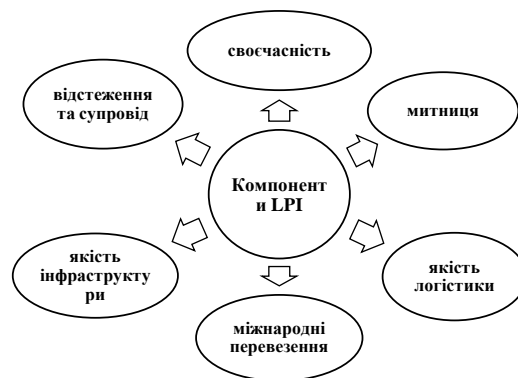


Рис. 1. Компоненти LPI – Індексу ефективності логістики

Ефективність оцінюється за п'ятибальною шкалою, а загальний LPI підсумовується як середньозважене значення шести компонентів ефективності логістики LPI також включає набір внутрішніх показників, які не включені до загального рейтингу країни. Він також доповнений кількісною інформацією про конкретні аспекти міжнародних ланцюгів поставок у країнах, де працюють респонденти, включаючи імпорт/експорт, терміни доставки, витрати на ланцюги постачання, митне оформлення та відсоток вантажів, які підлягають фізичному догляду [3, 4, 5].

За показниками ефективності логістики, у рейтингу Світового банку, який був оприлюднений у 2018 році, Україна піднялась на 14 позицій за 2 роки. Нині Україна посідає 68 місце у рейтингу LPI серед 160 країн [6].

Останні дані Світового Банку щодо цього індексу оприлюднені за даними 2018 р. (публікуються раз на 2 роки) [1]. Отже, на початок грудня 2021 р. дані за 2020 рік ще не були оприлюднені, і вагомою причиною цього є вплив пандемії на методику розрахунку певних показників.

Але у 2020-му–2021 році в Україні активно ведеться відбудова автомобільних доріг у рамках Президентської програми «Велике будівництво», що, на думку певних міжнародних партнерів у галузі, мало значно підвищити транзитні можливості України в контексті розвитку світової торгівлі та глобальних ланцюгів постачань. Тобто, станом на 23.02.2022 р. були об'єктивні підстави вважати, що найгірша оцінка України у 2018 році в рамках критерію LPI – інфраструктура (89-й ранг) за даними 2020–2021 років суттєво покращиться [7].

Слід зазначити, що у світі конкурують не компанії чи окремі бізнес-процеси, а ланцюги поставок. Відомо, що ланцюги поставок зовнішньоторговельних вантажів мають більш складну конфігурацію порівняно з ланцюгами поставок всередині однієї країни, що відбивається, в тому числі, і на структурі логістичних витрат – з'являються нові складові, пов'язані з переміщенням товарів через митний кордон, вчиненням митних операцій, сплатою митних платежів.

Зазначені специфічні особливості не можна не враховувати при моделюванні ланцюгів поставок зовнішньоторговельних вантажів, оскільки це призведе до зростання витрат. У той же час відомо, що оптимізація лише однієї складової не дозволяє досягти бажаного результату. В умовах глобалізації та діджиталізації все більшого значення набувають сучасні технології, за рахунок застосування яких можна домогтися оптимізації витрат митно-логічних операцій (далі – ТЛО), скорочення тимчасових витрат і підвищення конкурентоспроможності ланцюгів поставок зовнішньоторговельних вантажів.

Вищевикладене обумовлює необхідність пошуку нових підходів до управління логістичними витратами в ланцюгах поставок зовнішньоторговельних груп.

Перш за все необхідно з'ясувати теоретичні підходи щодо тлумачення поняття – логістичні витрати.

На думку О.М. Сумець логістичні витрати це зменшення економічних вигід у вигляді вибуття матеріальних, фінансових, трудових та інформаційних ресурсів, що забезпечують просування матеріальних активів у межах логістичної системи або ланцюга поставок [8].

Є.М. Рудніченко, Н.І. Гавловська, вважають, що під логістичними витратами слід розуміти витрати, пов'язані з виконанням логістичних операцій (розміщення замовлень на поставку продукції, закупівля, складування продукції, внутрішньовиробниче транспортування, проміжне зберігання, зберігання готової продукції, відвантаження, зовнішнє транспортування), а також витрати на персонал, устаткування, приміщення, складські запаси, на передачу даних про замовлення, запаси, поставки [9].

На думку В.Є. Крикавського, логістичні витрати – це складова повних витрат підприємства. Вартість об'єктів логістичної інфраструктури можна трактувати, як інвестиції. Логістичні витрати можна трактувати, як витрати, пов'язані з виконанням логістичних операцій і процесів (транспортування, складування, пакування і т. п.) [10].

М.В. Харченко у своєму дослідженні визначає, що логістичні витрати – це витрати матеріальних, фінансових, трудових та інформаційних ресурсів, які обумовлені дотриманням підприємствами своїх зобов'язань з виконання робіт та надання послуг на замовлення споживачів [11].

Таким чином, проаналізувавши наукові дослідження провідних вчених ми не знайшли однозначного тлумачення стосовно визначення поняття «логістичні витрати». Також відсутнє закріплення цього поняття в українському законодавстві. Якщо узагальнити теоретичні погляди щодо визначення поняття логістичних витрат, то більшістю вчених їх віднесено витрат на виконання певних операцій в потокових процесах, які з'являються протягом всього логістичного ланцюга.

Існує залежність між рівнем економічного розвитку (як вимірюється ВВП на душу населення), структурою національної економіки та витратами на логістику. У той час як витрати на логістику можуть становити 25% витрат на доставку в деяких країнах, що розвиваються, вони можуть досягати 8% у розвинутих економіках. Багато факторів можуть впливати на структуру витрат:

- транспортна інфраструктура впливає на транспортні витрати, місткість і надійність. Розгалужена транспортна інфраструктура пов'язана з меншими витратами на логістику;
- роль секторів економіки. Економіка, що покладається на первинний (наприклад, сільське господарство та гірничодобувна промисловість) і вторинний (виробництво) сектори, має вищі витрати на логістику, ніж економіка, що покладається на третинний сектор (послуги). Ці варіації пов'язані з кількістю вантажів в обігу по відношенню до загального економічного виробництва;
- процентні ставки здебільшого впливають на витрати зі зберігання запасів, які є більшими з вищими процентними ставками;
- рівень конкуренції. Монополістичні ринки зазвичай мають вищі витрати на логістику, оскільки зацікавлені сторони мають менше стимулів до інновацій та використання інфраструктури (наприклад, портів) з точки зору пошуку ренти;
- інформаційні технології. Зменшення витрат на транзакції, управління запасами, митні формальності;
- норми та оподаткування. Рівень обмежень, яким підлягає транспортний сектор, наприклад екологічні норми, а також рівень митного оподаткування.

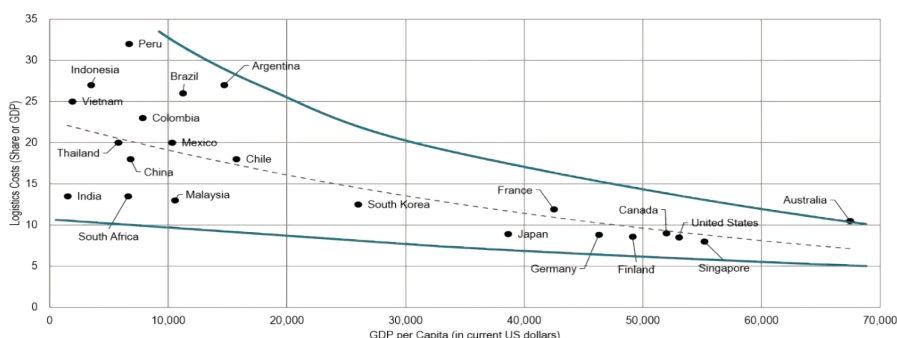


Рис. 1. Різні джерела витрат на логістику

*дані Світового банку щодо ВВП

Низький рівень економічного розвитку пов'язаний із великою варіацією витрат на логістику між країнами, тоді як ця частка звужується на вищих рівнях економічного розвитку. Це в основному пояснюється різноманітністю умов інфраструктури, а також різними ролями, які виконують первинний і вторинний сектори. Незважаючи на високий ВВП на душу населення, в Австралії частка витрат на логістику вища, ніж у порівнянних країнах, через важливість видобутку в економіці (рис. 1).

На нашу думку, в даний час існує необхідність розробки підходів до управління ланцюгами поставок зовнішньоторговельних товарів з обліком загальних логістичних витрат в них і їх оптимізацією, оскільки більшу частину кінцевої ціни товару для споживача складають логістичні витрати, що є наслідком того, що при виході на міжнародний ринок.

Особливістю зовнішньоекономічного ланцюга постачання є те що постачальник і споживач знаходяться в різних країнах. Таким чином варто виділити ряд факторів, пов'язаних зі складністю маршрутів перевезень при міжнародних перевезеннях. Ринки різних країн відрізняються транспортною інфраструктурою, митними тарифами, тарифами перевізників, нетарифними обмеженнями та іншими чинниками, які впливають на логістичні витрати.

Крім цього, при міжнародних переміщеннях вантажі неминуче стикаються із переміщенням через митний кордон. На нашу думку моделювання ланцюгів постачань необхідно з урахуваннями удосконалення митних операцій при міжнародному переміщенні вантажів, оскільки виникають додаткові витрати, які пов'язані із здійсненням митних формальностей.

Ми вважаємо, що при плануванні міжнародної доставки необхідно враховувати фактори, які пов'язані із здійсненням митних формальностей:

- визначення пункту пропуску через митний кордон;
- визначення місця розташування митниці призначення (оформлення) та відділу митного оформлення;
- вибір виду транспорту на кордоні;
- вибір виду транспорту в межах України.

На нашу думку, однією зі складових загальних логістичних витрат є митні платежі, однак, важливо враховувати, що не всі їх види підлягають оптимізації.

У статті 4 Митного кодексу України закріплено такі види митних платежів:

- мито;
- акцизний податок із ввезених на митну територію України підакцизних товарів (продукції);
- податок на додану вартість із ввезених на митну територію України товарів (продукції) [12].

Таким чином, нами пропонується модель розрахунку логістичних витрат з урахуванням витрат на митні платежі та інформаційну взаємодію. У такому разі модель, з урахуванням митних платежів виглядає так, як представлено у формулі 1:

$$\frac{AC_o}{S} + (C_{п} \frac{C_{т(\tau)} + C_{м} + C_{ф}}{S_i}) f \frac{S}{2} \rightarrow \min \quad (1)$$

де A – потреба в продукті;

C_o – витрати на виконання одного замовлення;

S – величина замовлення для поповнення запасів;

Сп – ціна одиниці продукції, яка зберігається на складі;

Ст (τ) – вартість перевезення;

См – витрати на сплату митних платежів;

Сф – витрати на здійснення митних формальностей;

Визначення розміру митних платежів залежить від коду товару за Українською класифікацією товарів зовнішньоекономічної діяльності, країни походження товару.

Витрати на здійснення митних формальностей залежать від:

- залучення митного брокера до процесу декларування товарів;
- виникненням ризиків, при здійсненні митного контролю товарів.
- обраного митного режиму;

Таким чином, ми вважаємо, що витрати на здійснення митних формальностей та витрати на сплату митних платежів є вагомою частиною при розрахунку логістичних витрат при здійсненні зовнішньоторговельних операцій.

Виконана нами декомпозиція загальних логістичних витрат дозволяє враховувати специфіку митного законодавства та обмеження з використання митно-логістичних технологій.

Висновки. На основі проведеного дослідження можна зробити висновки, що особливістю ланцюгів поставок зовнішньоторговельних вантажів є необхідність здійснення не тільки логістичних операцій а й операцій, пов'язаних із здійсненням митних формальностей при переміщенні вантажів через митний кордон України та додаткових витрат митно-логістичних операцій, які необхідно враховувати в процесі формування та управління ланцюгами поставок. Включення витрат, пов'язаних із здійсненням митних операцій, дозволяє окремо враховувати додаткові витрати. Крім того, враховуються витрати, пов'язані з необхідністю надання забезпечення сплати митних платежів при транспортуванні вантажу внутрішнім транзитом по території України, а саме – отримання банківської гарантії, перевезення по книжці МДП або звернення до послуг митного перевізника. Подана декомпозиція дозволила розвинути модель загальних логістичних витрат, доповнивши її витратами на здійснення митних формальностей та сплату митних платежів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jaxon Banki. Building Blocks for Integrated Transport and Logistics Development. 2020. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/34160/Uzbekistan-Building-Blocks-for-IntegratedTransport-and-Logistics-Development-Policy-Paper.pdf?sequence=4>.
2. Arvis J.-F., Ojala L., Wiederer C., Shepherd B., Raj A., Dairabayeva K., & Kiiski T. (2018). Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy. World Bank. URL: <https://doi.org/10.1596/29971>.
3. Birol Erkan. The importance and determinants of logistics performance of selected countries. Journal of Emerging Issues in Economics, Finance and Banking (JEIEFB) An Online International Monthly Journal (ISSN: 2306-367X) 2014 Vol: 3 Issue 6. № 2 (95).
4. Zokirkhan Yusufkhonov, Malik Ravshanov, Akmal Kamolov, and Elmira Kamalova. Improving the position of the logistics performance index of

- Uzbekistan. E3S Web of Conferences 264, 05028 (2021). DOI: 10.1051/e3sconf/202126405028
5. European Logistics Association – Handelsstraat 77 – B-1040 Brussels. URL: <https://www.elalog.eu/>.
 6. Arvis, J.-F., Mustra, M. A., & Panzer, J. (2007). Connecting to compete : trade logistics in the global economy – the logistics performance index and its indicators. (Working Paper No.43005). World Bank, Washington, DC. 7.
 7. Поповиченко І.В. Кірнос О.В. Зозуля Н. В. Зарубіжний та вітчизняний досвід формування, функціонування й розвитку систем та ланцюгів постачання: реалії сьогодення. Журнал *Наукові інновації та передові технології*. Серія «Державне управління». 2022. № 8 (10). С. 269. DOI: 10.52058/2786-5274-2022-8(10)-269-278.
 8. Сумець О. М. Рекомендації щодо запровадження синтетичного обліку логістичних витрат на підприємстві. *Логістика: проблеми та рішення*. 2011. № 4 (35). С. 42-47.
 9. Рудніченко С. М., Гавловська Н.І. Логістичні витрати підприємства: аналіз складу та структури. *Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*, 2011. № 23 (II). С. 172-179.
 10. Крикавський В. Є. *Логістика. Основи теорії : підручник для вищих навчальних закладів*, Львів : Видавництво Національного університету Львівська політехніка, 2004. 448 с.
 11. Харченко М. В. Аспекти дослідження логістичних витрат та їх вплив на дохідність діяльності аеропорту. *Збірник наукових праць. Тернопільський економічний університет*. 2015. Том 19. Вип. 2. С. 148-157.
 12. Митний кодекс України : Закон України від 13 березня 2012 р. / *Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України*. 2012. № 44-45. № 46-47. № 48. Ст. 552.

REFERENCES

1. Jaxon Banki. Building Blocks for Integrated Transport and Logistics Development. 2020. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/34160/Uzbekistan-Building-Blocks-for-IntegratedTransport-and-Logistics-Development-Policy-Paper.pdf?sequence=4>.
2. Arvis J.-F., Ojala L., Wiederer C., Shepherd B., Raj A., Dairabayeva K., & Kiiski T. (2018). Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy. World Bank. Retrieved from <https://doi.org/10.1596/29971>.
3. Birol Erkan. The importance and determinants of logistics performance of selected countries. *Journal of Emerging Issues in Economics, Finance and Banking (JEIEFB) An Online International Monthly Journal (ISSN: 2306-367X)* 2014 Vol: 3 Issue 6. № 2 (95).
4. Zokirkhan Yusufkhonov, Malik Ravshanov, Akmal Kamolov, and Elmira Kamalova. Improving the position of the logistics performance index of Uzbekistan. E3S Web of Conferences 264, 05028 (2021). DOI: 10.1051/e3sconf/202126405028

5. European Logistics Association – Handelsstraat 77 – B-1040 Brussels. Retrieved from <https://www.elalog.eu/>
6. Arvis, J.-F., Mustra, M. A., & Panzer, J. (2007). Connecting to compete : trade logistics in the global economy – the logistics performance index and its indicators. (Working Paper No.43005). World Bank, Washington, DC. 7.
7. Popovychenko I.V. Kirnos O.V. & Zozulia N.V. (2022). Zarubizhnyi ta vitchyzniani dosvid formuvannia, funktsionuvannia y rozvytku system ta lantsiuhiv postachannia: realii sohodennia [Foreign and domestic experience in the formation, operation and development of systems and supply chains: today's realities]. Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnolohii. seriia Derzhavne upravlinnia: zhurnal. - Scientific innovations and advanced technologies. Public administration series, 8 (10). p. 269. DOI: 10.52058/2786-5274-2022-8(10)-269-278.269. [in Ukrainian].
8. Sumets O. M. (2011). Rekomendatsii shchodo zaprovadzhennia syntetychnoho obliku lohistychnykh vytrat na pidpriemstvi [Recommendations for the introduction of synthetic accounting of logistics costs at the enterprise]. Logistika/ Problemi ta rishenia. - Logistics problems and solutions. 4 (35). p. (42-47). [in Ukrainian].
9. Rudnichenko E. M. & Havlovska N. I. (2011). Lohistychni vytraty pidpriemstva: analiz skladu ta struktury [Logistics costs of the enterprise: analysis of composition and structure]. Zbirnyk naukovykh prats Shidnoukrainskogo natsionalnogo universitetu im. V. Dalia. - Collection of scientific works of the East Ukrainian National University named after V. Dalia, 23 (II), 172-179. [in Ukrainian].
10. Krykavskiy V. E. Lohistyka. (2005) Osnovy teorii. [Logistics. Basics of the theory]. Lviv: Lviv Polytechnic [in Ukrainian].
11. Kharchenko M. V. (2015). Aspects of the study of logistics costs and their influence on the profitability of airport activity [Aspekty doslidzhennia lohistychnykh vytrat ta yikh vplyv na dokhidnist diialnosti aeroportu]. Zbirnyk naukovykh prats. Ternopilskiy ekonomichnyi universitet. - Activity collection of scientific papers. Ternopil University of Economics, 19. (2), (pp. 148-157). [in Ukrainian].
12. Mytnyj kodeks Ukrainy [Customs Code Ukraine]. (2012, Martch 13) Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. - Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine. Kyiv: Parl/ vyd-vo [in Ukrainian].

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРСЬКОГО ПЕРЕВЕЗЕННЯ НАВАЛОЧНИХ ВАНТАЖІВ ІЗ ВИСОКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ

О.М. Мельник

к.т.н, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

Анотація

Вступ. Забезпечення безпеки морського перевезення навалочних вантажів з високою щільністю також є критичним аспектом морської логістики та вимагає розроблення та втілення сукупності заходів, необхідних для забезпечення безпеки таких перевезень. Дана стаття розглядає проблему розрідження вантажів на судні протягом рейсу та його вплив на остійність і безпеку плавання. Дослідження ґрунтуються на аналізі статистичних даних та фізико-хімічних властивостей вантажів, конструкційні особливості судна та вплив зовнішнього середовища. Підкреслюються особливості процедури прийняття вантажу, контролю за його станом протягом транспортування та ознаки вразливості нікелевої, алюмінієвої та залізної руди до розрідження, що вимагає ретельної перевірки вологості вантажу перед завантаженням. У цій роботі було проведено дослідження небезпек розрідження вантажу під час перевезення, що є процесом, під час якого вантаж стає менш щільним і здатним до руху та зсуву, що може призвести до небажаних наслідків, включно зі зміщенням центру тяжіння судна, зниженням метацентричної висоти та погіршенням його стабільності. **Мета.** Основною метою статті є розуміння проблеми розрідження вантажів під час морського перевезення та розробка і втілення відповідних заходів безпеки для забезпечення безпеки таких перевезень. **Результати.** Запропоновано спрощену математичну модель яка враховує геометрію корпусу судна, параметри хвилювання моря, швидкість вітру та інші чинники для передбачення зсуву розрідженого вантажу. **Висновки.** Розрахунки та моделювання дають змогу оцінити ймовірність розрідження вантажів і вжити відповідних заходів безпеки, підкреслюється важливість контролю умов вантажу, застосування запобіжних заходів і забезпечення безпеки екіпажу для запобігання розрідженню вантажу на судні.

Ключові слова: зрідження вантажів, безпека морських перевезень, навалочні вантажі, остійність судна, моніторинг стану вантажу, зсув вантажу, заходи безпеки.

**SAFETY OF MARITIME TRANSPORTATION
OF HIGH-DENSITY BULK CARGOES**

O.M. Melnyk

PhD (Eng.), Associate Professor at the Department of Navigation and Maritime Safety,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

Summary

Introduction. Ensuring the safety of maritime transportation of high-density bulk cargo is also a critical aspect of maritime logistics and requires the development and implementation of a set of measures necessary to ensure the safety of such transportation. This article addresses the problem of cargo liquefaction on a ship during a voyage and its impact on stability and safety. The research is based on the analysis of statistical data and physical and chemical properties of cargoes, structural features of the vessel and the impact of the external environment. The peculiarities of the cargo acceptance procedure, control over its condition during transportation, and signs of vulnerability of nickel, aluminum and iron ore to liquefaction, which requires a thorough check of the cargo moisture content before loading, are emphasized. This paper investigates the dangers of cargo liquefaction during transportation, which is a process during which the cargo becomes less dense and capable of movement and displacement, which can lead to undesirable consequences, including a shift in the ship's center of gravity, a decrease in metacentric height, and a deterioration in its stability. **Objective.** The main purpose of the article is to understand the problem of cargo liquefaction during sea transportation and to develop and implement appropriate safety measures to ensure the safety of such transportation. **Results.** A simplified mathematical model is proposed that takes into account the geometry of the ship's hull, sea waves, wind speed and other factors to predict the displacement of liquefied cargo. **Conclusions.** Calculations and modeling make it possible to estimate the probability of cargo liquefaction and take appropriate safety measures, emphasizing the importance of monitoring cargo conditions, applying precautions and ensuring crew safety to prevent cargo liquefaction on board.

Key words: cargo liquefaction, safety of sea transportation, bulk cargo, ship stability, cargo condition monitoring, shifting cargo, safety measures.

Вступ. Зрідження вантажів залишається найбільшим фактором, що спричиняє людських жертв і занепокоєння у сегменті суховантажних перевезень. Дослідженням, пов'язаним з забезпеченням процесу морського перевезення навалочних вантажів та особливо схильних до розрідження, присвячено достатньо уваги та характеризуються значним обсягом наукових праць. Так у [1] звіт, підготовлений Міжнародною асоціацією власників суховантажів (Intercargo), містить статистичні дані про втрати балкерів та людські жертви на протязі десятирічного періоду. Джерело [2] присвячено аспектам безпеки морських перевезень навалочних вантажів, включаючи проблему розрідження вантажів і його вплив на остійність судна. Праця [3] досліджує питання остійності суден і включає аналіз ризиків, пов'язаних з розрідженням вантажів та його впливом на безпеку плавання. Публікація [5] Міжнародної морської організації (ІМО), надає рекомендації щодо

правильного укладання та закріплення вантажів на судах. Вона включає розділи, присвячені безпеці перевезення навалочних вантажів і уникненню їх розрідження. Роботи [6-8] містять практичні поради та інструкції для експлуатації суден, включаючи деякі аспекти їх безпеки.

В підсумку опрацьована література вказує на важливість системного контролю з метою дотримання безпечних умов перевезення вантажів з високою щільністю і забезпечення безпеки екіпажу протягом рейсу.

Основна частина. Статистика пригод які трапляються при перевезенні навалочних вантажів, свідчить про серйозні наслідки розрідження вантажу на судах протягом переходу у відкритому морі. Зазначена кількість загблих моряків і затонулих суден є тривожним показником. Втрата остійності та аварія судна, спричинені розрідженням вантажу, створюють критичну ситуацію, в якій екіпаж не зміг впоратися зі складними обставинами, не встиг покинути судно або навіть повідомити про небезпеку та отримати допомогу.

Тільки впродовж десятиріччя з 2008 по 2017 роки, світовий флот втратив 53 балкери дедвейтом понад 10 тис. т. Загальні людські втрати на судах балкерах за цей період склали 202 людини, або в середньому близько 20 членів екіпажу на рік. Такі дані звіту Bulk Carrier Casualty Report, надані Міжнародною асоціацією власників суховантажів (Intercargo), рис. 1.

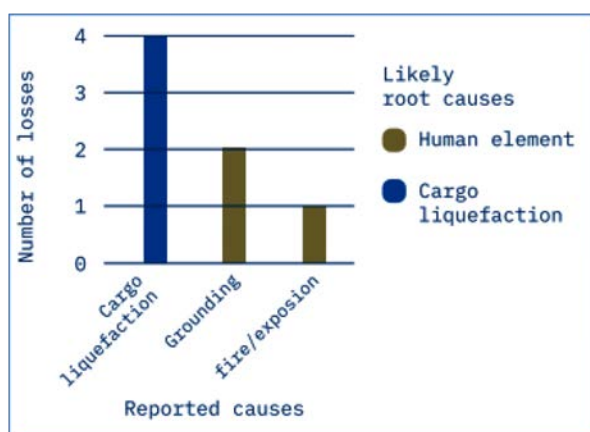


Рис. 1. Втрати суден балкерів дедвейтом від 50 до 60 тис. т., спричинені зрідженням (Intercargo)

Події, пов'язані з розрідженням вантажу, є серйозним викликом для безпеки морського перевезення, і морська індустрія має й надалі працювати над удосконаленням процедур і стандартів для запобігання таким інцидентам і захисту життя та безпеки моряків. Розрідження навалочного вантажу може відбуватися через різні чинники, такі як стиснення вантажу, вібрація двигуна, маневрування судна, бортова хитавиця і зіткнення з хвилями. Ці фактори можуть викликати струс вантажу і призводити до його розрідження.

Декілька провідних країн найбільшими країнами-виробниками первинного нікелю. Наприклад Китайська республіка зробила значний ривок у виробництві нікелю за останні роки. Китайський ринок нікелю став одним із тих, що

найдинамічніше розвиваються у світі. Сприятливі умови для виробництва нікелю, такі як доступ до сировини, низькі витрати на працю і переваги місцевих виробників, сприяли зростанню виробництва в Китаї. Китайські компанії активно інвестують у розвиток нових родовищ і модернізацію виробничих потужностей, щоб задовольнити зростаючий попит на нікель. Японія, Австралія і Канада також відіграють важливу роль у виробництві первинного нікелю. У цих країн є значні резерви нікелевих родовищ і розвинена інфраструктура для видобутку і переробки нікелю. Компанії з цих країн активно працюють на світовому ринку нікелю і постачають значні обсяги продукції. Втім слід зазначити, що світовий ринок нікелю постійно змінюється, і частки виробництва можуть змінюватися залежно від різних чинників, включно з ціною на метал, інвестиціями в розвиток родовищ і зміною попиту на нікель у різних галузях промисловості.

Головними первинними споживачами нікелю є виробники нержавіючої сталі. Нержавіюча сталь широко використовується в різних галузях, таких як будівництво, автомобільна промисловість, енергетика, хімічна промисловість та інші. Вона має високу корозійну стійкість і міцність, і нікель є важливим компонентом, що надає цим властивостям нержавіючої сталі. Крім виробництва нержавіючої сталі, нікель також використовується у виробництві спеціальних сталей і сплавів. Вони застосовуються в різних галузях, включно з авіацією, оборонною промисловістю, енергетикою, машинобудуванням та іншими сферами, де потрібні високоміцні та спеціалізовані матеріали.

Кінцеві споживачі нікелю включають такі галузі, як транспорт (автомобілі, судна, літаки), машинобудування, будівництво (включно з інфраструктурою і будівлями), хімічна промисловість, виробництво посуду та інші вироби побуту. У цих галузях нікель використовують у різних формах і сплавах для надання особливих властивостей матеріалам, поліпшення корозійної стійкості, механічної міцності та інших характеристик.

Вантажі з сировини, особливо з викою щільністю, а це нікелева, алюмінієва і залізна руда належать до тих, які схильні до розрідження під час морського перевезення. Це пов'язано з їхньою підвищеною плинністю під впливом вібрації та руху судна та процесом розрідження (рис. 2).



Рис. 2. Вантаж нікелевої руди до та після вивантаження

Для забезпечення безпечного перевезення треба вивчити фізико-хімічні та транспортні властивості навалочних вантажів і їхній вплив на судно та екіпаж

у процесі морського перевезення. Фізичний склад будь-якого навалочного вантажу можна розглядати як склад фракцій твердих частинок, води і повітря. В залежності від їхнього співвідношення можна визначити основні фізико-механічні властивості навалочного вантажу: щільність і питомий навантажувальний об'єм. Залежно від густини вантажі поділяють на важкі – менш як 0,56 м³/т; середні – від 0,56 до 1,0 м³/т і легкі – понад 1,0 м³/т.

Нікелева руда – це суміш мінералів, що містить нікель у різних сполуках. Фізичні властивості нікелевої руди можуть варіювати залежно від її складу та структури. Однак, у загальному випадку, нікелева руда має такі фізичні властивості (табл. 1):

Таблиця 1

Фізичні властивості вантажу з нікелевої руди

Характеристика	Опис	Значення
Щільність	Щільність нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	У середньому, щільність нікелевої руди становить близько 2,7-3,0 г/см ³ .
В'язкість	Нікелева руда зазвичай не є рідиною або пастою, тому в'язкість не є її характеристикою.	-
Кут внутрішнього тертя	Кут внутрішнього тертя нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	У середньому, він становить близько 30-35 градусів.
Кут укосу	Кут укосу нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	У середньому, він становить близько 25-30 градусів.
Вологість	Вологість нікелевої руди може варіюватися залежно від умов її видобутку і транспортування.	Зазвичай, вологість нікелевої руди становить близько 5-10%.
Фракція частинок	Фракція частинок нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	Зазвичай, розміри частинок нікелевої руди варіюються від декількох мікрометрів до декількох міліметрів.

Крім того, нікелева руда може містити домішки інших мінералів, які можуть впливати на її фізичні властивості. Наприклад, якщо в нікелевій руді міститься сірка, то вона може мати характерний запах сірководню і може бути вибухонебезпечною за деяких умов.

Для розрахунку площі контакту вантажу з судновими трюмами необхідно знати форму вантажу і його висоту в трюмі. Однак, приблизно можна оцінити площу контакту, використовуючи припущення про те, що вантаж розподілений рівномірно по всьому трюму. Для оцінки площі контакту вантажу з поверхнею трюмів можна використовувати формулу:

$$S = m / (\rho \times h) \quad (1)$$

де S – площа контакту (м²), m – маса вантажу (т), ρ – щільність вантажу (т/м³), h – висота вантажу в трюмі (м).

За умови, що вантаж розподілений рівномірно по трюму, можна прийняти висоту вантажу рівною висоті трюму, тобто:

$$h = V / S \quad (2)$$

де V – об'єм трюму (м^3).

Таким чином, площа контакту вантажу з поверхнею трюму дорівнюватиме:

$$S = m / (\rho \times h) = m / (\rho \times (V/S)) = m \times S / (\rho \times V) \quad (3)$$

$$S = (m \times V) / (\rho \times V) = m / \rho \quad (4)$$

Розрідження призводить до розвитку плинності вантажу, що означає, що вантаж може ковзати і зміщуватися в одному напрямку. Це створює ефект вільної поверхні вантажу і може знижувати метацентричну висоту (GM) судна. Зниження GM може призвести до погіршення остійності судна, що є вкрай небажаним.

Однією з простих моделей зсуву розрідженого вантажу є модель ковзання по поверхні вантажу під впливом крену судна. Припустимо, що вантаж розріджений і зісковзує в одному напрямку під впливом гравітації. У цій моделі ми можемо використовувати закон Ньютона для руху похилою площиною. Рівняння для зсуву розрідженого вантажу на похилій площині може бути записано як:

$$S_s = (1/2) \times g \times t^2 \times \sin(\theta) \quad (5)$$

де S_s – зсув вантажу (м^2), g – прискорення вільного падіння (м/сек^2), t – час, що минув від початку зсуву (год.), θ – кут крену судна (град.).

Також для розрахунку умовної моделі зсуву розрідженого вантажу на судні можна використовувати формулу, засновану на балансі сил. Одним із методів є метод капілярно-когезійної моделі (Capillary-Coherent Model), розподілу рідини в пористих середовищах, зокрема вологості ґрунту або пористих матеріалів. Цей метод базується на сполученні капілярних та когезійних сил, які впливають на розподіл рідини в порах матеріалу.

У методі капілярно-когезійної моделі враховується взаємодія між рідиною та поверхнями пор, а також сили когезії між рідиною та поверхнею пор. Ці сили впливають на капілярний тиск та розподіл рідини у порах. В рамках цього методу використовуються математичні моделі, що описують ці процеси та дозволяють розрахувати розподіл вологості в пористих середовищах.

Формула для розрахунку зсуву розрідженого вантажу на судні може мати такий вигляд:

$$h = (W \times \sin(\theta) \times \cos(\beta)) / (\rho \times g \times (B - L \times \sin(\beta))) \quad (6)$$

де: h – зсув вантажу (висота рівня вантажу, м), W – вага вантажу (т), θ – кут руху судна відносно фронту хвиль (курс судна, град.), β – кут крену судна (град.), ρ – щільність вантажу (т/м^3), g – прискорення вільного падіння (м/сек^2), B – ширина судна (м), L – довжина судна (м).

Однак, слід зазначити, що даний приклад не враховує безліч інших чинників, таких як вплив морського хвилювання, неоднорідність вантажу, взаємодія з елементами конструкції на судні тощо. Тому для побудови моделі зсуву розрідженого вантажу на конкретному судні можна використовувати наступну послідовність:

1. Розрахунок сили зчеплення між вантажем і судном:

$$F_f = \mu \times N \quad (7)$$

де: F_f – сила зчеплення (Н), μ – коефіцієнт тертя (можна розрахувати як $\tan(\theta)$), де θ – кут внутрішнього тертя (град.), N – нормальна реакція (у цьому випадку дорівнює вазі вантажу, Н).

2. Розрахунок моменту, викликаного креном судна:

$$M_h = \rho \times g \times V_h * S_k \times \sin(\theta_h) \quad (8)$$

де: M_h – момент, викликаний креном судна (кН × м), ρ – густина води (г/см³), g – прискорення вільного падіння, V_h – об'єм судна, занурений унаслідок хитавиці (м³), S_k – площа кіля (м²), θ_h – кут крену (град.);

3. Рівняння рівноваги для визначення зсуву вантажу:

$$m \times \Delta h \times g = F_f - M_h \quad (9)$$

де: m – маса розрідженого вантажу (т), Δh – зсув вантажу по вертикалі, g – прискорення вільного падіння;

4. Рівняння для визначення зсуву вантажу в горизонтальній площині:

$$\Delta x = (F_1 + F_2) / (m \times g) \quad (10)$$

де: m – маса розрідженого вантажу, g – прискорення вільного падіння, Δx – зсув вантажу по горизонталі, F_1 – сила, викликана хвилюванням моря (Н), F_2 – сила, викликана вітром (Н).

$$F_1 = 0.5 \times \rho \times g \times H \times A \times \cos(\alpha) \quad (11)$$

де: F_1 – сила, спричинена хвилюванням моря, ρ – густина води, g – прискорення вільного падіння, H – висота хвилі, A – амплітуда хитавиці судна α – різниця фаз між хвилею і хитавицею судна.

Формула для розрахунку сили, спричиненої вітром:

$$F_2 = 0.5 \times \rho \times A_w \times V_w^2 \times C_w \quad (12)$$

де: F_2 – сила, викликана вітром, ρ – густина повітря, A_w – площа поверхні, що зазнає впливу вітру (м²), V_w – швидкість вітру (м/сек), C_w – коефіцієнт опору повітря.

Проведені розрахунки ілюструють як зміна вологості вантажу впливає на його щільність, що може призводити до розрідження вантажу і погіршення морехідних якостей судна і потенційно підвищувати ризик інциденту на борту. Залежність рівня розрідження вантажу від вологовмісту, дає змогу наочно уявити, як змінюється рівень розрідження вантажу за різних ступенів вологості (рис. 3), та дає змогу аналізувати ситуацію. Він може бути корисним для ухвалення рішень про контроль і управління вологістю вантажу, а також для оцінки впливу вологості на безпеку і остійність судна під час перевезення вантажу.

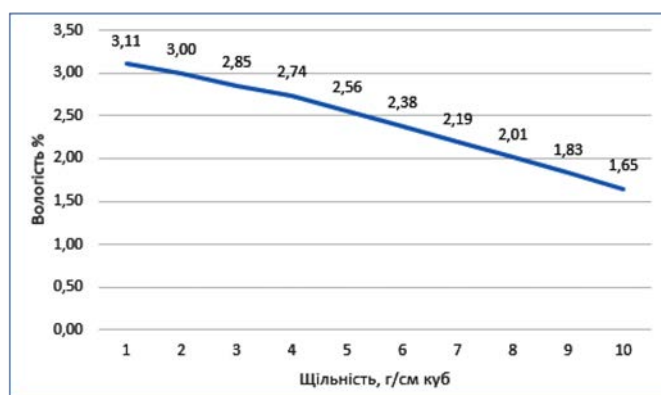


Рис. 3. Залежність між рівнем вологості і рівнем щільності вантажу

Для балкерних вантажів, таких як нікелева руда, існує деяка шкала або класифікація рівнів розрядження вологомісті. Основні рівні розрядження вологомісті можуть включати наступні:

1. Сухий вантаж (0% вологомісті), цей рівень вказує, що вантаж не містить вологи або розчинених речовин тобто вантаж є повністю сухим;
2. Легковологий (до 10% вологомісті) означає що вантаж містить невелику кількість вологи, але вона не є значною часткою маси вантажу;
3. Середньовологий вантаж (10–15% вологомісті), містить помірну кількість вологи але може бути значною, проте все ще допустимою для безпечного перевезення;
4. Високовологий вантаж (понад 15% вологомісті), містить велику кількість вологи. Цей рівень вказує на значну вологомісткість вантажу, що може впливати на остійність судна та безпеку перевезення.

Представлений графік на рис. 4, який дає змогу візуалізувати зміну рівня розрядження вантажу впродовж зазначеного часового інтервалу (у цьому випадку 12 годин), продемонстровано, як рівень розрядження вантажу поступово зростає з часом за умови високого рівня розрядження в розмірі 20–25%, та зростання рівня розрядження для вантажу з середнім рівнем вологості на тому ж часовому інтервалі;

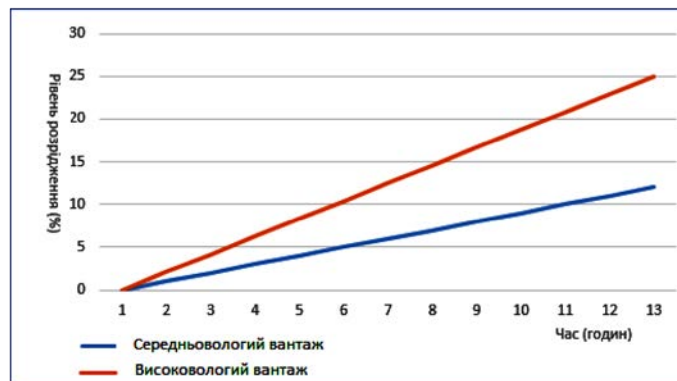


Рис. 4. Залежність рівня розрядження вантажу від часу

З графіка можна зробити спостереження що рівень розрядження вантажу починається з нульового значення на початку періоду (0 годин) і поступово зростає до 25% до кінця періоду (12 годин). Графік демонструє лінійну залежність між часом і рівнем розрядження вантажу. Рівень розрядження збільшується рівномірно з плином часу. Після 12 годин рівень розрядження досягає максимального значення в розмірі 25% та 12,5% відповідно.

Таким чином, цей графік дає змогу наочно уявити зміну рівня розрядження вантажу в заданому часовому інтервалі та допомагає візуалізувати процес розрядження вантажу на основі заданих умов.

Представлені способи дають змогу врахувати вплив хвилювання моря і вітру на судно і відповідно на розряджений вантаж. Вони можуть бути включені в загальну модель зсуву вантажу на основі балансу сил. Важливо зазначити, що точність розрахунків зсуву вантажу залежить від безлічі чинників, включно зі складністю геометрії корпусу судна або конструкції його трюмів, умовами хвилювання і вітру,

а також взаємодією різних сил. Для більш точних результатів рекомендується використовувати спеціалізовані програми для гідродинамічного моделювання і експертні оцінки.

Для запобігання розрідженню вантажу під час рейсу дуже важливо, щоб старший помічник капітана, як особа відповідальна за вантажні операції ретельно перевіряв декларацію вантажовідправника перед завантаженням навалочного вантажу. Це дає змогу переконатися, що вологовміст вантажу не перевищує граничних значень для безпечного транспортування та уникнення розрідження. Помилки в деклараціях вантажовідправників дійсно можуть виникати, тому на судні можуть проводитися вибірккові перевірки вологовмісту вантажу для підтвердження інформації. Це важливий запобіжний захід, щоб забезпечити безпеку морського перевезення навалочних вантажів з високою щільністю. Конкретні процедури і вимоги можуть відрізнятися залежно від національних правил, Міжнародного кодексу з безпечного перевезення навалочних вантажів (IMSBC Code: International Maritime Solid Bulk Cargoes Code) та інших регулювальних документів, які застосовуються в морській індустрії.

Ці дані наголошують на важливості суворого дотримання міжнародних стандартів безпеки, включно з рекомендаціями Кодексу IMSBC і правилами Конвенції СОЛАС (Міжнародна конвенція про безпеку життя на морі), під час перевезення навалочних вантажів із високою щільністю. Належна оцінка та управління ризиками, правильний розподіл вантажу, регулярні перевірки та дотримання запобіжних заходів допоможуть знизити можливість розрідження вантажу і пов'язаних з ним небезпек.

Перевезення навалочних вантажів з високою щільністю може становити певні небезпеки, пов'язані з ушкодженнями корпусу судна, втратою остійності та хімічними реакціями:

1. Пошкодження корпусу судна. Неправильний розподіл і навалочних вантажів може призвести до нерівномірного навантаження на корпус судна. Це може викликати деформації або пошкодження структури судна, особливо в районі трюму або палуби. Пошкодження корпусу може призвести до витоку води, втрати плавучості і навіть до поломки судна.

2. Втрата остійності судна. Деякі навалочні вантажі з високою щільністю можуть мати високий центр ваги або бути нестійкими. Під час рейсу судно може піддаватися хитацям і кренам, і якщо вантажі неправильно розподілені або неправильно закріплені, вони можуть призвести до втрати остійності судна. Це може створити небезпеку занурення або перекидання судна.

3. Хімічні реакції вантажів. Деякі навалочні вантажі можуть бути хімічно активними або реагувати між собою за певних умов, таких як вологість, температура або контакт із водою. Такі хімічні реакції можуть призвести до утворення небезпечних газів, пожежі або навіть вибуху. Тому важливо ретельно вивчати характеристики вантажів і вживати відповідних запобіжних заходів.

Для мінімізації цих небезпек необхідно суворо дотримуватися міжнародних стандартів і керівництва з безпечного перевезення навалочних вантажів. Це охоплює правильний розподіл і закріплення вантажів, проведення інспекцій і контролю якості, а також навчання і сертифікацію персоналу, зайнятого в перевезенні

та обробці таких вантажів. Міжнародний кодекс з безпечного перевезення навалочних вантажів, затверджений резолюцією MSC.268(85), є керівним документом, призначеним для забезпечення безпеки перевезення навалочних вантажів морем. Він являє собою міжнародний стандарт, який рекомендується урядам для використання як основи для національних правил і нормативів відповідно до Конвенції СОЛАС.

Як і багато інших дрібнодисперсних мінералів, включаючи мінеральні рудні концентрати, нікелева руда може розріджуватися і зміщуватися, якщо рівень її вологості занадто високий. Через цей ризик зрідження нікелева руда підпадає під дію положень руда підпадає під дію положень СОЛАС і Кодексу IMSBC щодо випробувань і сертифікації вантажів, які можуть зріджуватися і відносяться до групи небезпеки «А». Тому перевізникам, які планують перевезення нікелевої руди, рекомендується вивчити SOLAS Ch. VI, Reg.2 а також розділи 4, 7 і 8 Кодексу IMSBC.

Додатково для контролю стану вантажу нікелевої руди під час рейсу рекомендується вживати таких заходів:

- здійснення регулярних інспекцій вантажних трюмів, з тим щоб перевірити стан і розподіл вантажу, виявлення ознак розрідження, утворення вільної поверхні, скупчення пилу або збивання вантажу;

- використання датчиків, які можуть вимірювати параметри, такі як температура, вологість, тиск або рівень вантажу. Це дасть вам змогу контролювати і моніторити стан вантажу в режимі реального часу;

- регулярний відбір проб вантажу для визначення вмісту вологості, для аналізу гранулометричного складу та інші параметри, які можуть бути важливими для контролю якості вантажу.

- дотримання інструкцій вантажовідправника або експлуатаційних посібників з обробки та зберігання нікелевої руди. Це включає захист від вологи та інших шкідливих впливів, а також дотримання правил безпеки при поводженні з вантажем.

Зміни та поправки, що постійно вносяться до IMSBC кодексу, можуть зачіпати його структуру і зміст, а також вносити нові рекомендації та вимоги для забезпечення безпеки і захисту довкілля в перевезенні навалочних вантажів. Це дає змогу сфері морського перевезення вантажів і відповідним сторонам ефективно застосовувати новітні стандарти і процедури, забезпечуючи безпеку і знижуючи ризики. Ці дані наголошують на важливості суворого дотримання міжнародних стандартів безпеки, включно з рекомендаціями кодексу і правилами Конвенції СОЛАС, під час перевезення навалочних вантажів із високою щільністю. Належна оцінка та управління ризиками, правильний розподіл вантажу, регулярні перевірки та дотримання запобіжних заходів допоможуть знизити можливість розрідження вантажу і пов'язаних з ним небезпек.

Висновки. Вантажі з високою щільністю, такі як нікелева, алюмінієва і залізна руда, особливо схильні до розрідження, що підкреслює необхідність проведення ретельного контролю і перевірки вологості вантажу перед завантаженням для запобігання його розрідженню під час рейсу. Це призводить до зсуву вантажу в одному напрямку, створення ефекту вільної поверхні, зниження метацентричної висоти судна, що у сукупності критично знижує остійність судна. Моделювання процесу зсуву розрідженого вантажу потребує врахування безлічі чинників, таких як форма корпусу судна, параметри хвилювання моря, швидкість вітру

та інші фізичні характеристики навколишнього середовища, втім його результати дають змогу оцінити ймовірність зсуву розрідженого вантажу і визначити необхідні запобіжні заходи для забезпечення безпеки судна та екіпажу. Тому розробка та застосування адекватних заходів безпеки для запобігання розрідженню вантажу та підтримання остійності судна протягом рейсу має велике значення для подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bulk carrier casualty report 2012-2021. *Intercargo*. Retrieved from: <https://www.intercargo.org/wp-content/uploads/2022/04/INTERCARGO-Bulk-Carrier-Casualty-Report-2021-1.pdf>
2. Bulk carrier safety. (2012). *Dry cargo international*. Retrieved from: <https://www.drycargomag.com/newsdetails.aspx?ref=1148>
3. Obyliński, Lech. (2007). System and risk approach to ship safety, with special emphasis of stability. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 7. 97–106. 10.1016/S1644-9665(12)60228-3.
4. Bliault Charles and North of England P&I Association (2003). Cargo stowage and securing a guide to good practice. Second Edition. Retrieved from: <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2021/05/00-cargo-stowage-and-securing-north-of-england.pdf>
5. J. Isbester (1993). Bulk Carrier Practice: A Practical Guide. The Nautical Institute, 400 с.
6. Barrass, B. & Derrett, D.R. (2006). Ship Stability for Masters and Mates. DOI:10.1016/C2010-0-68323-4.
7. Melnyk, O., Onyshchenko, S. (2022). Navigational safety assessment based on Markov-model approach. *Scientific Journal of Maritime Research*, 36 (2), 328-337. doi:10.31217/p.36.2.16
8. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., Kalinichenko, Y., Rossomakha, O., Naleva, G., Rossomakha, O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16, (3), 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18

REFERENCES

1. Bulk carrier casualty report 2012-2021. *Intercargo*. Retrieved from: <https://www.intercargo.org/wp-content/uploads/2022/04/INTERCARGO-Bulk-Carrier-Casualty-Report-2021-1.pdf>
2. Bulk carrier safety. (2012). *Dry cargo international*. Retrieved from: <https://www.drycargomag.com/newsdetails.aspx?ref=1148>
3. Obyliński, Lech. (2007). System and risk approach to ship safety, with special emphasis of stability. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 7. 97–106. 10.1016/S1644-9665(12)60228-3.
4. Bliault Charles and North of England P&I Association (2003). Cargo stowage and securing a guide to good practice. Second Edition.

- Retrieved from: <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2021/05/00-cargo-stowage-and-securing-north-of-england.pdf>
5. J. Isbester (1993). Bulk Carrier Practice: A Practical Guide. *The Nautical Institute*, 400 c.
 6. Barrass, B. & Derrett, D.R. (2006). Ship Stability for Masters and Mates. DOI:10.1016/C2010-0-68323-4.
 7. Melnyk, O., Onyshchenko, S. (2022). Navigational safety assessment based on Markov-model approach. *Scientific Journal of Maritime Research*, 36 (2), 328-337. doi:10.31217/p.36.2.16
 8. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., Kalinichenko, Y., Rossomakha, O., Naleva, G., Rossomakha, O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16, (3), 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18

Наукове видання

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Випуск 2(17), 2023

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською
та англійською мовами*

Видається з жовтня 2016 р.

Формат 70×108/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 13,65.
Замов. № 0623/379. Наклад 200 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Scientific publication

TRANSPORT DEVELOPMENT

Scientific journal

Issue 2(17), 2023

Founded by Odessa National Maritime University

In Ukrainian and English

Since October 2016

Format 70×108/16. Times New Roman Font.
Offset. Digital printing. Conventional printed sheet 13,65.
Order No 0623/379. Edition of 200 copies.

Publishing House “Helvetica”
65101, Ukraine, Odessa, 6/1 Inglizi St.
Phone: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of publishing entity
ДК № 7623 as of 22.06.2022