

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

*Науковий журнал*

**ВИПУСК 2(9), 2021**

*Заснований у жовтні 2016 року*



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2021

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 2(9)  
2021

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 – Річковий та морський 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. *Єзунов К.В.*, ОНМУ;  
д.е.н., проф. *Постан М.Я.*, ОНМУ;  
д.е.н., проф. *Ланкіна І.О.*, ОНМУ;

д.т.н., проф. *Пітерська В.М.*, ОНМУ;  
д.т.н., проф. *Шахов А.В.*, ОНМУ;  
д.т.н., доц. *Кириллова О.В.*, ОНМУ;  
*Філіна-Давідович Л.С.*, PhD, DSc,  
Західнопоморський технологічний  
університет у Щецині, Польща.

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Одеського національного морського університету  
(протокол № 9 від 28 квітня 2021 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.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ODESSA  
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY

# TRANSPORT DEVELOPMENT

*Scientific journal*

**ISSUE 2(9), 2021**

*Founded in October 2016*



Publishing House  
"Helvetica"  
2021

**ODESSA  
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY  
TRANSPORT DEVELOPMENT  
SCIENTIFIC JOURNAL**

**№ 2(9)  
2021**

**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 – River and sea 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:**

<b>Doctor of Engineering, Prof. <i>Varbanets R.A.</i>, ONMU;</b>	<b>Doctor of Engineering, Prof. <i>Piterska V.M.</i>, ONMU;</b>
<b>Doctor of Engineering, Prof. <i>Dubrovskiy M.P.</i>, ONMU;</b>	<b>Doctor of Engineering, Prof. <i>Shakhov A.V.</i>, ONMU;</b>
<b>Doctor of Engineering, Prof. <i>Yehupov K.V.</i>, ONMU;</b>	<b>Doctor of Engineering, Associate Professor <i>Kirillova O.V.</i>, ONMU;</b>
<b>Doctor of Engineering, Prof. <i>Postan M.Ia.</i>, ONMU;</b>	<b><i>Filina-Davidovych L.S.</i>, PhD, DSc, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Poland.</b>
<b>Doctor of Engineering, Prof. <i>Lapkina I.O.</i>, ONMU;</b>	

Recommended for printing by the Academic Council of Odessa National Maritime University  
(Minutes No 9 dated April 28, 2021)

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*.

**ISSN 2616-7360**

© Odessa National Maritime University, 2021

**З М І С Т**

---

---

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

**О.В. Глоба, С.П. Вислоух, Р.О. Іваненко**

Комплексна оптимізація процесу фрезерування на верстатах із ЧПК.....7

**РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ**

**О.Є. Лугінін, С.В. Терлич, Р.Ю. Коршиков**

Комп'ютерно орієнтований метод п'яти моментів у розрахунках згинання суднових перекриттів.....20

**О.М. Мельник, Ю.В. Бичковський**

Сучасна методика оцінки рівня безпеки судна та шляхи його підвищення.....37

**Л.В. Пізінцалі, О.М. Шумило, Н.І. Александровська, О.І. Россомаха,  
О.А. Россомаха, Т.В. Рабоча**

Аналіз впливу геополітичних подій на економічну ефективність судна.....47

**О.І. Сагайдак**

Концепція оптимізації взаємодії судно-порт-вантаж з урахуванням наявних методик оцінки ризиків та використанням електронних технологій.....64

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)**

**Р.А. Хабутдінов, Т.О. Костюк**

Моделювання та аналіз транспортної енергоефективності автопоїздів.....78

CONTENTS

---

---

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING**

- O.V. Globa, S.P. Vysloukh, R.O. Ivanenko**  
Comprehensive optimization of the milling process on CNC machines..... 7

**RIVER AND SEA TRANSPORT**

- O.Ye. Luginin, S.V. Terlych, R.Yu. Korshykov**  
Computer-oriented five moment methods in calculating  
the bending for ship's floors..... 20
- O.M. Melnyk, Yu.V. Bychkovsky**  
Modern methods of ship safety level assessment and ways of its improvement..... 37
- L.V. Pizintali, O.M. Shumylo, N.I. Aleksandrovska, O.I. Rossomakha,  
O.A. Rossomakha, T.V. Rabocha**  
Analysis of the impact of geopolitical events  
on the economic efficiency of the vessel..... 47
- O.I. Sagaydak**  
Concept of optimization of ship-port-cargo interface, taking into account  
existing risk assessment methods and use of electronic technologies..... 64

**TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPE)**

- R.A. Khabutdinov, T.O. Kostiuk**  
Modeling and analysis of transport energy efficiency of trains..... 78

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.9.011

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.01>

### КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

О.В. Глоба<sup>1</sup>, С.П. Вислоух<sup>2</sup>, Р.О. Іваненко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент,

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-4984-7195

<sup>2</sup>к.т.н., доцент,

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-2204-2602

<sup>3</sup>старший науковий співробітник,

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України, Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-1447-6275

#### **Анотація**

У статті розглянуто сутність методу комплексної оптимізації, наводиться алгоритм визначення оптимальної геометрії інструменту, режимів різання і траєкторії руху інструменту. Наводиться експериментальне підтвердження коректності математичної моделі. Стаття присвячена створенню методики автоматизованого розрахунку оптимальних режимів фрезерування криволінійних поверхонь на верстатах із ЧПК з урахуванням різних умов різання, що забезпечують максимальну продуктивність або мінімальну собівартість обробки. Розроблена методика використовується в промисловості у вигляді системи автоматизованого розрахунку оптимальних режимів фрезерування поверхонь кінцевими фрезами. Застосування результатів досліджень дало змогу підвищити продуктивність обробки деталей на фрезерних верстатах із ЧПК, підвищити точність обробки, скоротити час налагодження керуючих програм на верстаті. Метод комплексної оптимізації є оптимальним із позиції витрат часу на обчислення, він дає змогу знайти глобальний екстремум функції на базі спільного використання методів структурної і параметричної оптимізації в процесі вирішення задачі нелінійного програмування. Застосування запропонованого методу комплексної оптимізації процесу кінцевого фрезерування дає змогу отримати оптимальні режими різання з наявних значень на металорізальному верстаті, побудувати оптимальну траєкторію руху різального інструменту в складному геометричному контурі, вибрати оптимальну чорнову і чистову фрезу і їх радіуси заточки. Вибір різального інструмента і визначення оптимального варіанту обробки на

основі мінімізації тривалості процесу обробки за допомогою запропонованого алгоритму, реалізованого на верстатах із ЧПК, дає змогу підвищити загальну продуктивність виготовлення деталі в середньому до 10–15%.

**Ключові слова:** процес фрезерування, ЧПК, режими різання, геометрія інструменту, траєкторія руху інструмента, математична модель, комплексна оптимізація.

## COMPREHENSIVE OPTIMIZATION OF THE MILLING PROCESS ON CNC MACHINES

O.V. Globa<sup>1</sup>, S.P. Vysloukh<sup>2</sup>, R.O. Ivanenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD, Associate Professor,

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-4984-7195

<sup>2</sup>PhD, Associate Professor,

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-2204-2602

<sup>3</sup>Senior Researcher,

Ukrainian Research Institute of Special Equipment and Forensic Science  
of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-1447-6275

### **Summary**

The article analyzes the essence of the complex optimization method, provides algorithm determining optimal geometry of the tool, cutting modes and tool path. It provides experimental confirmation of the mathematical model correctness. The article focuses on creation of methodology for automated optimal milling mode calculation for curved surfaces on CNC machines, which accounts for different cutting conditions maximizing productivity or minimizing processing cost. Developed technique is used by the industry as automated calculation of the optimal surface milling modes using end mills. Research results application increased productivity of components processing on CNC milling machines, improved processing accuracy, and reduced control programs debugging time. The complex optimization method is optimal from the computations' duration standpoint; it allows finding the global extremum of a function based on the combined use of structural and parametric optimization methods when solving a nonlinear programming problem. Application of the proposed method enables obtaining optimal cutting conditions from available values on a metal-cutting machine, constructing optimal trajectory of the cutting tool in a complex geometric contour, choosing optimal roughing and finishing cutters and their sharpening radii. Use of proposed algorithm to choose cutting tool and determine optimal processing based on minimized processing duration on machines with NPC increases overall manufacturing productivity by 10–15% on average.

**Key words:** milling process, CNC, cutting modes, tool geometry, tool trajectory, mathematical model, complex optimization.

**Вступ.** Найважливішим завданням науки про різання металів є встановлення реальних закономірностей основних характеристик процесу їх оброблення залежно від властивостей матеріалу деталі, режимів різання, матеріалу і геометрії різального інструменту та різноманітних зовнішніх умов із метою оптимізації процесу за тими або іншими критеріями оптимальності [7]. Нині мало робіт, в яких розглядаються питання комплексного дослідження процесу фрезерування, особливо в разі оброблення алюмінієвих і титанових сплавів. При цьому оптимізація процесу кінцевого фрезерування виконується на основі застосування детермінованих моделей. Крім того, визначення оптимальних режимів різання реалізується шляхом варіювання не більше, ніж трьома параметрами процесу [1; 4; 6]. Відсутні математичні моделі, що комплексно досліджують основні параметри процесу кінцевого фрезерування і область їх допустимих значень під час оброблення алюмінієвих і титанових сплавів. У більшості робіт з оптимізації оброблення металів різанням в якості оптимізуючих змінних вибираються або режими різання  $n, s, t$ , або геометрія різального інструменту, або траєкторія руху інструмента. Але немає робіт, які оптимізують вказані параметри процесу фрезерування одночасно. В отриманні математичних моделей процесу фрезерування не використовуються повною мірою можливості сучасних методів, включаючи методи індуктивної самоорганізації, штучних нейронних мереж тощо [2; 7].

Підвищення продуктивності процесу різання є найважливішим завданням технології механічної оброблення. Незважаючи на існування різних методів формоутворення поверхонь (точне лиття, штампування тощо), найбільш поширеним є механічне оброблення зі зняттям значних припусків. На підставі проведеного аналізу робіт, що пов'язані з питаннями оптимізації технологічних параметрів процесу металообробки деталей, зокрема, процесу кінцевого фрезерування, і відповідно до мети оптимізації, яка полягає в знаходженні вектора змінних параметрів, що доставляють мінімальне (максимальне) значення вибраному критерію оптимальності в області допустимих значень параметрів процесу різання, поставлені задачі дослідження [7].

**Формулювання цілей статті.** На основі закономірностей появи похибок оброблення, що виникають у процесі фрезерування, можна заздалегідь врахувати їх у керуючій програмі на верстані з ЧПК шляхом зміни траєкторії руху інструменту і обґрунтованим корегуванням режимів обробки, що є додатковим фактором підвищення точності отриманих поверхонь деталі. У зв'язку з цим розробка методики визначення оптимальних режимів різання кінцевими фрезами дає змогу найбільш повно використовувати різальні можливості інструменту з урахуванням необхідної точності обробки з найбільшою продуктивністю, є на сьогодні актуальною задачею. Розробка таких методик ускладнюється неповнотою даних щодо визначення таких важливих параметрів процесу фрезерування, як розмірне зношення інструменту та сила різання.

Існує множина методів параметричної оптимізації процесу фрезерування. Однак вибір того або іншого методу насамперед залежить від математичної моделі, що описує процес фрезерування, включаючи вибір критерію оптимізації і його аналітичну залежність, кількість і вид обмежень, які визначають область допустимих рішень задачі та кількість, у вид оптимізуючих змінних.

Для вирішення задачі оптимізації процесу кінцевого фрезерування поставлені такі основні завдання:

– виконати дослідження процесу кінцевого фрезерування деталей з алюмінієвих і титанових сплавів із використанням змащувально-охолоджувальних рідин і без них із метою отримання математичних залежностей основних параметрів процесу, а саме: сил різання при зустрічному, попутному і пазовому фрезеруванні, шорсткості обробленої поверхні, стійкості різального інструменту тощо;

– створити комплексну математичну модель процесу кінцевого фрезерування на основі розроблених у процесі дослідження математичних залежностей з урахуванням виробничого досвіду, а також із використанням продуктивності в якості цільової функції;

– розробити метод комплексної багатовимірної оптимізації процесу кінцевого фрезерування як у детермінованій, так і в ймовірнісній постановці.

**Виклад основного матеріалу.** Основним видом інструменту, що призначений для оброблення широкої номенклатури деталей на фрезерних верстатах із ЧПК, є кінцеві фрези. Геометричні параметри фрез вибираються для кожного з позиційних переходів, на які розбивається зона обробки деталі, з урахуванням конструктивно-технологічних параметрів елементарних поверхонь.

Задачі дослідження процесу торцевого фрезерування мають вирішуватись у такій послідовності:

- обґрунтований вибір найбільш ефективного інструментального матеріалу для оброблення деталі із заданого матеріалу;
- вибір раціональної геометрії інструменту;
- вибір мастильно-охолоджувальної рідини;
- визначення оптимальних параметрів процесу різання.

Оптимальне різання, яке характеризується багатьма параметрами (мінімум інтенсивністю зносу, сил різання, коефіцієнтом тертя, максимум розмірної стійкості тощо), краще за все і піддається математичному опису, а також дає найбільшу об'єктивність порівняно з ефективністю різних варіантів процесу обробки.

Запропоновано алгоритм, що дає змогу визначити геометрію різального інструменту (фрези) і вибрати оптимальний варіант обробки в кожній зоні на основі максимальної продуктивності процесу фрезерування [3; 7].

За геометричними параметрами поверхні оброблюваної деталі визначають діаметр чистової фрези, радіус її заточки і довжину різальної частини:

$$D_{\text{чист}} = 2R_{\text{тип}}^{\min}, \quad (1)$$

де  $R_{\text{тип}}^{\min}$  – радіус сполучення найменшого кута.

У випадках вимоги підвищеної точності будемо мати

$$D_{\text{чист}} = 1,18R_{\text{тип}}^{\min}. \quad (2)$$

Радіус заточки чистової фрези визначається:

$$r_{\text{тип}}^{\max} : r_{\text{фр.чист.}} = r_{\text{тип}}^{\max}, \quad (3)$$

де  $r_{\text{тип}}^{\max}$  – радіус сполучення ребра і площини, фрезерується.

Довжина різальної частини визначається наступним чином:

$l = H + 5$  – для внутрішнього глухого контуру;  $l = H + 5 + r_{\text{фр.чист.}}$  – для зовнішнього і внутрішнього наскрізного контуру, де  $H$  – максимальна висота стінки деталі.

Діаметр чорнової фрези ( $D_{\text{черн}}$ ) обмежується умовою доступу інструменту у внутрішні гострі кути контуру. При цьому припуск в обробленні внутрішніх кутів не має перевищувати  $\delta \leq 0.25D_{\text{чист}}$ .

На основі наведеного вище маємо, діаметр чорнової фрези можна обчислити за такою формулою:

$$D_{\text{черн}} = \frac{2(\delta \sin \phi / 2 - \delta_1)}{1 - \sin \phi / 2} + D_{\text{чист}}, \quad (4)$$

де  $\delta_1$  – припуск для чистової обробки контуру;  $\phi$  – кут сполучення сторін у цьому контурі.

Радіус заточки чорнової фрези  $r$  (рис. 1) визначається за наступним правилом.

Якщо величина радіуса сполучення  $r_{\text{тип}}$ , який виконується при чистовому обробленні, менше величини припуску в  $\delta_2$  або  $\delta_2$ , то радіус заточки торця приймається рівним мінімально можливому:

$$\text{якщо } \delta_1 \leq r_{\text{ф.чист}}, \text{ то при } \begin{cases} \delta_1 > r_{\text{мин}} \\ \delta_2 > r_{\text{тип}} \end{cases}, r_{\text{ф}} = r_{\text{тип}}^{\text{мин}} \quad (\text{рис. 1, а}).$$

$$\text{якщо } \begin{cases} \delta_1 < r_{\text{тип}} \\ \delta_2 = 0 \end{cases}, \text{ то } r_{\text{ф}} = r_{\text{тип}} - \delta + 0.1D_{\text{черн}}. \quad (\text{рис. 1, б}).$$

$$\text{якщо } \begin{cases} \delta_1 < r_{\text{мин}} \\ \delta_2 < r_{\text{тип}} \end{cases}, \text{ то } r_{\text{ф}} = 0.5D_{\text{чист}} - (\delta_1 \cdot \delta_2 + \sqrt{2\delta_1 \cdot \delta_2 + 0,1})D_{\text{черн}}. \quad (\text{рис. 1, в}).$$

$$\text{якщо } \delta_1 > r_{\text{ф.чист}}, \text{ то } r_{\text{фр.чист}} = 0 \quad (\text{рис. 1, г}).$$

Довжина різальної частини вибирається за аналогією з чистовою фрезою. Діаметр торцевої частини чорнової фрези визначається за такою залежністю:

$$D_{\text{т.черн}} = D_{\text{черн}} + 2\delta_{\text{ф.черн}} - 2\delta_r^+ + 2\delta_D^-, \quad (5)$$

де  $\delta_r^+$  – припуск на виготовлення  $r_{\text{ф.черн}}$ ,  $\delta_D^-$  – припуск на виготовлення  $D_{\text{черн}}$ .

Внаслідок того, що в заводських умовах є тільки певні фрези, отже чорнова і чистова фрези вибираються з найбільш придатних за характеристиками значень.

У процесі операції чорнового фрезерування визначення характеристик фрези виконують на основі максимальної продуктивності, яка обчислюється як різниця тривалості періодів технологічної обробки ( $T_{12}$ ) деталі без використання чорнової фрези ( $T_1$ ) та з використанням чорнової фрези ( $T_2$ ). Якщо ця різниця позитивна, то в результаті введення операції чорнової обробки продуктивність підвищується:  $T_{12} = T_1 - T_2 > 0$ .

Траєкторія руху чорнової фрези визначається проходами, кількість яких залежить від розмірів поверхні. При розрахунку  $T_1$  і  $T_2$  не враховуються однакові витрати. При цьому  $T_1$  визначається як

$$T_1 = \frac{1}{z_1 n_0} \left( \frac{\sum \Sigma \delta_i}{\delta_{z1}} + \frac{\sum L_i}{\delta_{z2}} \right), \quad (6)$$

де  $\delta_{z1}$  – подача на зуб при обробці площини;  $\delta_{z2}$  – подача на зуб при обробці перешкод;  $\delta_i$  – лінії перешкод  $i$ -ї площини;  $\delta_i$  – площа  $i$ -ї оброблювальної площини;  $z$  – кількість зубів фрези;  $n_0$  – кількість обертів фрези.

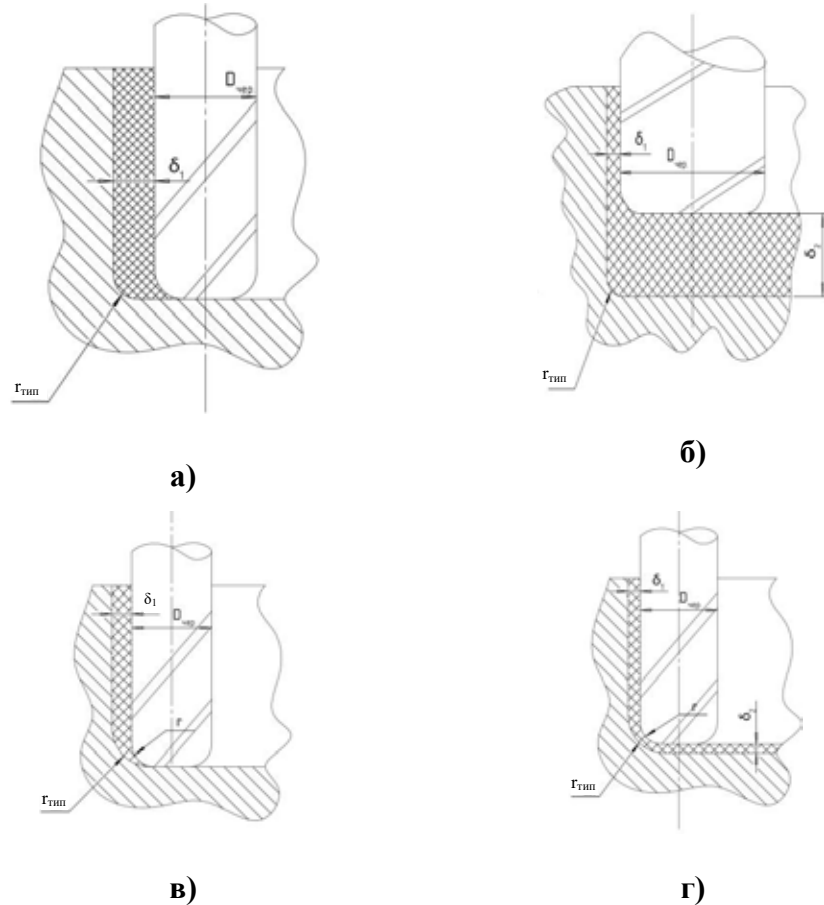


Рис. 1. Схеми визначення геометричних параметрів фрези

$T_2$  можна визначити, використовуючи залежність:

$$T_2 = \frac{1}{zn_0} \left( \frac{\sum \delta_i}{0.9D_{\text{черн}}} + \frac{\sum \sum \alpha_{ij}}{S_{z1}} + \frac{\sum \alpha_i}{S_{z2}} \right) + T_n, \quad (7)$$

де  $\alpha_{ij}$  – довжина переміщення в  $j$ -ого куту та  $i$ -тої площині чистовою фрезою для вибірки завищеного припуску;  $T_n$  – час переустановлення інструменту;  $\alpha_{ij}$  – визначається як

$$\delta_{ij} \approx (D_{\text{черн.пр.}} - R_{\text{тип}}) \frac{1 - \sin \varphi_i / 2}{2 \sin \varphi_i / 2} \quad (8)$$

де  $\varphi_i$  – мінімальний кут сполучення стінок.

Якщо запровадження операції чорнової обробки не рентабельне, то згідно з методикою [7] отримують повідомлення про те, що ця операція не потрібна на цій ділянці. У цьому випадку надають тільки параметри чистової фрези та режими її роботи. В іншому випадку необхідні параметри чистової і чорнової фрез із відповідними режимами різання. У табл. 1 наводяться порівняльні варіанти режимів, що існують на виробництві, й отримані на основі запропонованої методики. У табл. 1 наводиться порівняння варіантів існуючого на виробництві технології обробки та отриманого з використанням запропонованої методики. Визначення оптимальних режимів роботи інструменту (кінцевої фрези) є важливою техніко-економічною задачею в галузі приладобудування та машинобудування. Оптимізація процесів оброблення на металорізальних верстатах може бути здійснена тільки на основі вивчення фізичної сутності явищ, які супроводжують процес різання, і знання основних техніко-економічних показників процесу різання.

Задача оптимізації процесу кінцевого фрезерування полягає в знаходженні таких значень оптимізуючих змінних параметрів: подачі, швидкості різання, частоти обертання шпинделя, глибини і ширини фрезерування, при яких забезпечується екстремальне значення цільової функції в області допустимих рішень, що задана низкою технологічних і технічних обмежень [3].

При цьому вибір цільової функції має велике значення, тому що необґрунтоване її призначення може призвести до помилкових висновків і рекомендацій. Правильне визначення цільової функції і обмежень дає змогу побудувати оптимальний спосіб управління операцією технологічного процесу, що своєю чергою дає оптимальний спосіб побудови операцій металообробки, який реалізує алгоритм оптимального технологічного процесу. Після уточнення мети операції переходять до формування математичного виразу критерію оптимальності.

У процесі визначення цільової функції необхідно враховувати основні принципи: однозначності, відповідності, керованості, орієнтації на прибуток, а також принцип відповідної форми.

З урахуванням вищевказаних принципів виконувалась побудова цільової функції. Порівняння двох найбільш часто використовуваних критеріїв продуктивності  $C_{on}$  (собівартість) вигідніше застосовувати в обробці на універсальному і недорогому обладнанні. У цьому випадку інтенсифікація режимів різання не призводить до суттєвого підвищення продуктивності обробки. Цільова функція – максимальна продуктивність повною мірою відповідає цілям виробництва, тобто продуктивного оброблення, але в умовах використання неавтоматизованого універсального обладнання дає підвищену вартість обробки. Вплив інтенсифікації режимів обробки на поциклові витрати інструментів та обладнання можна визначити експериментально, тому достовірність рекомендованих режимів залежить, насамперед, від наявного обсягу досліджень продуктивності в конкретних виробничих умовах.

У разі вирішення задач, як цільові функції можуть бути використані залежності, що включають тільки змінні величини для розглянутих випадків (наприклад, неповний штучний час, оперативний або основний час).



Таким чином, математичним виразом критерію оптимальності може служити функція:

$T_{шт.к.} = T_{шт.к.чист.} + T_{шт.к.черн.}$ , яку можна записати у вигляді:

$$T_{шт.к.} = \sum_j \left( \frac{1_j}{S_{mj}} + \frac{L_{кчерн} \cdot T_{зам}}{T_j \cdot S_{Mj}} \right) + \sum_i \left( \frac{1_i}{S_{Mi}} + \frac{L_{кчист} \cdot T_{зам}}{T_i \cdot S_{Mi}} \right) + T_{\Sigma} \rightarrow \min \quad (9)$$

Тоді  $T_{шт.к.}$  досягне свого мінімального значення в тому випадку, коли на кожному проході будуть досягнуті мінімальні значення  $t_{i\text{ чист}}$

$$t_{i\text{ чист}} \rightarrow \min$$

$$t_{j\text{ черн}} \rightarrow \min$$

З вищенаведеного можна зробити висновок, що задача комплексної оптимізації процесу кінцевого фрезерування розподіляється на низку задач оптимізації, причому очевидною стає необхідність двох етапів комплексної оптимізації, перший з яких дає змогу оптимальним чином поєднати оптимальні значення  $t_{i\text{ чист}}$  і  $t_{j\text{ черн}}$ , що отримані на другому етапі комплексної оптимізації. Фактично такий підхід дає змогу спроектувати оптимальний технологічний процес фрезерної оброблення довільного контуру.

Таким чином, у процесі оброблення довільного контуру кінцевими фрезами досить об'єктивною оцінкою ефективності режимів різання може бути сумарний штучно-калькуляційний час обробки, тому цільову функцію зручно представити у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} \min T_{шт.к.} = \min \sum_j \left( \frac{1_j}{S_{mj}} + \frac{L_{кчерн} T_{зам}}{T_j S_{Mj}} \right) + \min \sum_i \left( \frac{1_i}{S_{Mi}} + \frac{L_{кчист} T_{зам}}{T_i S_{Mi}} \right) + \min T_{\Sigma} \\ \min t_{i\text{ чист}} = \min \left( \frac{1_i}{S_{Mi}} + \frac{L_{кчист} T_{зам}}{T_i S_{Mi}} \right) \\ \min t_{j\text{ черн}} = \min \left( \frac{1_j}{S_{mj}} + \frac{L_{кчерн} T_{зам}}{T_j S_{Mj}} \right) \end{cases} \quad (10)$$

Отже, функція  $T_{шт.к.}(n, S_M, D_{черн}, r_{\phi\text{ черн}})$  є цільовою функцією, а значення параметрів  $n, S, D_{черн}, r_{\phi}$ , що забезпечують мінімум цільової функції за заданих умов, які мають відповідати найбільш ефективним умовам обробки. Тобто необхідно знайти такі чисельні значення параметрів процесу кінцевого фрезерування, які дають змогу з найменшими витратами здійснити обробку деталі і забезпечити задану якість її виготовлення за певний період стійкості різального інструменту. Практичне розв'язання цієї задачі зводиться до  $T_{шт.к.} \rightarrow \min$ , що залежить від вектора  $\vec{X}$ , компонентами якого є:  $\vec{X} = \{D, n, S_M, r_{\phi}\}$ , що визначають оптимальний технологічний процес обробки довільного контуру, тобто режими різання, траєкторію руху, кількість різального інструменту та його геометрію. Вплив геометричних параметрів фрези діаметра ( $D$ ) та радіуса заточки ( $r_{\phi}$ ) на  $T_{шт.к.}$ , показано на рис. 2.

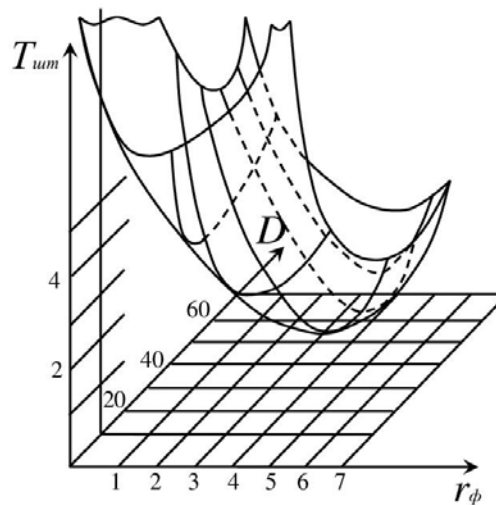


Рис. 2. Графічна залежність сумарного штучно-калькуляційний часу оброблення довільного контуру від діаметра фрези  $D$  і радіусу її заточки  $r_{\phi}$

Цільова функція дає змогу порівнювати окремі варіанти процесу обробки і вибрати такі значення параметрів числового програмного керування, при яких функція залежно від її фізичного змісту приймає максимальне або мінімальне значення. Її вигідніше застосовувати в обробленні на універсальному і недорогому обладнанні. У цьому випадку інтенсифікація режимів різання не призводить до суттєвого підвищення продуктивності обробки. Максимальна продуктивність неповною мірою відповідає меті виробництва, тобто продуктивній обробці, в умовах використання неавтоматизованого універсального обладнання дає підвищену вартість обробки. Але з автоматизованим обладнанням високої вартості, при роботі на якому відхилення від режимів різання, що забезпечує максимальну продуктивність, призводить до недовикористання устаткування за проектною потужністю. У тих випадках, коли потрібно виконати необхідний об'єм робіт у мінімальний час, для оцінки ефективності процесу металообробки і вибору оптимального режиму різання зазвичай використовується критерій максимальної продуктивності, що полягає часто в мінімізації величини штучного часу.

Внаслідок того, що всі параметри процесу металообробки мають випадковий характер, доцільно задачу оптимізації процесу кінцевого фрезерування представити як ймовірнісну, що полягає у визначенні вектора  $\vec{x}$  випадкових оптимізуючих змінних  $x_i$ , при мінімальному значенні функції. Тому її можна сформулювати таким чином: визначити мінімум функції

$$T_{ум\ в} = a_1 T_{ум}(\vec{x}) + a_2 \left[ \sum_i \left( \frac{\partial T_{ум}}{\partial S_{Mi}} / \vec{S}_{Mi} \right)^2 \sigma_{S_{Mi}}^2 + \sum_i \left( \frac{\partial T_{ум}}{\partial T_i} / \vec{T}_i \right)^2 \sigma_{T_i}^2 \right]^{1/2} \rightarrow \min, \quad (11)$$

за умови досягнення мінімального значення величиною штучно-калькуляційного часу обробки на кожному проході.

У ймовірнісній постановці завдання оптимізації процесу кінцевого фрезерування описуваного контуру виглядають таким чином.

Коефіцієнти  $a_1$  та  $a_2$  у формулі (11) приймаються рівними 1 і цільова функція записується як

$$T_{um} = T_{um} + 1,96 \left\{ \sum_j \left[ \left( \frac{\partial T_{um}}{\partial t_j} / t_j \right)^2 \sigma_{t_j}^2 + \left( \frac{\partial T_{um}}{\partial T_j} / T_j \right)^2 \sigma_{T_j}^2 \right] \right\}^{1/2} \Rightarrow \min \quad (12)$$

за умови досягнення мінімуму на кожному проході, де  $a_{1j}$  та  $a_{2j}$  також дорівнюють 1:

$$t_{j\theta} = t_j + 1,96 \left[ \left( \frac{\partial t_j}{\partial S_{M_j}} / S_{M_j} \right)^2 \sigma_{S_{M_j}}^2 + \left( \frac{\partial t_j}{\partial T_j} / T_j \right)^2 \sigma_{T_j}^2 \right]^{1/2} \Rightarrow \min \quad (13)$$

Величина середньоквадратичного відхилення періоду стійкості кінцевої фрези визначалася на основі статистичного аналізу експериментальних даних і дорівнює  $\sigma_T = 19,6$ , величина середньоквадратичного відхилення  $t_j$  визначається наступним чином

$$\begin{aligned} \sigma_{t_j}^2 &= \left( \frac{\partial t_j}{\partial S_{M_j}} \right)^2 \sigma_{S_{M_j}}^2, \\ \sigma_{t_j} &= \frac{\partial t_j}{\partial S_{M_j}} \sigma_{S_{M_j}} \end{aligned} \quad (14)$$

та  $\sigma_{S_{M_j}}$  – визначається на основі статистичного аналізу виробничих даних  $\sigma_{S_{M_j}} = 7,3 \text{ мм/х}$ .

Також для оптимізації процесу фрезерування кінцевими фрезами досліджувалась траєкторія руху інструменту [7]. Як технологічний принцип побудови траєкторії руху вибрана умова, згідно з якою фреза переміщається еквідистантно до траєкторії проходу, призначеного для обробки контуру виступу, до обмеження площини. Виконання цієї умови забезпечує рівномірну зміну жорсткості деталі в процесі обробки. Вибір і оптимізація траєкторії руху в роботі виконувалась у такий спосіб: у довільний контур вписуються еквідистантно проходи чорнкової фрези до тих пір, поки не буде повністю вибрано припуск у контурі деталі, тобто прохід у центрі контуру стане рівним або менше  $D_{чери}$ . Блок-схема вибору оптимальної траєкторії руху фрези показана на рис. 3.

**Висновки.** Запропонований метод комплексної оптимізації для визначення оптимальних технологічних параметрів процесу кінцевого фрезерування дає змогу за вихідними даними про процес обробки отримати параметри, що дають найменше значення встановленому критерію оптимальності.

Метод комплексної оптимізації ґрунтується на простих методах вирішення оптимізаційних задач нелінійного програмування за наявності обмежень, його застосування та є більш ефективним. У процесі вирішення завдання комплексної оптимізації обчислювальні процеси оптимізації протікають на двох рівнях, що взаємодіють в ітераційному режимі, де зовнішнім циклом ітерації є перший етап оптимізації, а внутрішнім циклом – другий. Метод комплексної оптимізації має гарну збіжність і стосовно завдань оптимізації процесу кінцевого фрезерування показує високу ефективність. Застосування запропонованого методу комплексної

оптимізації процесу кінцевого фрезерування дає змогу отримати оптимальні режими різання з наявних значень на верстаті, побудувати оптимальну траєкторію руху різального інструменту в складному геометричному контурі, вибрати оптимальну чорнову і чистову фрезу і їх радіуси заточки.

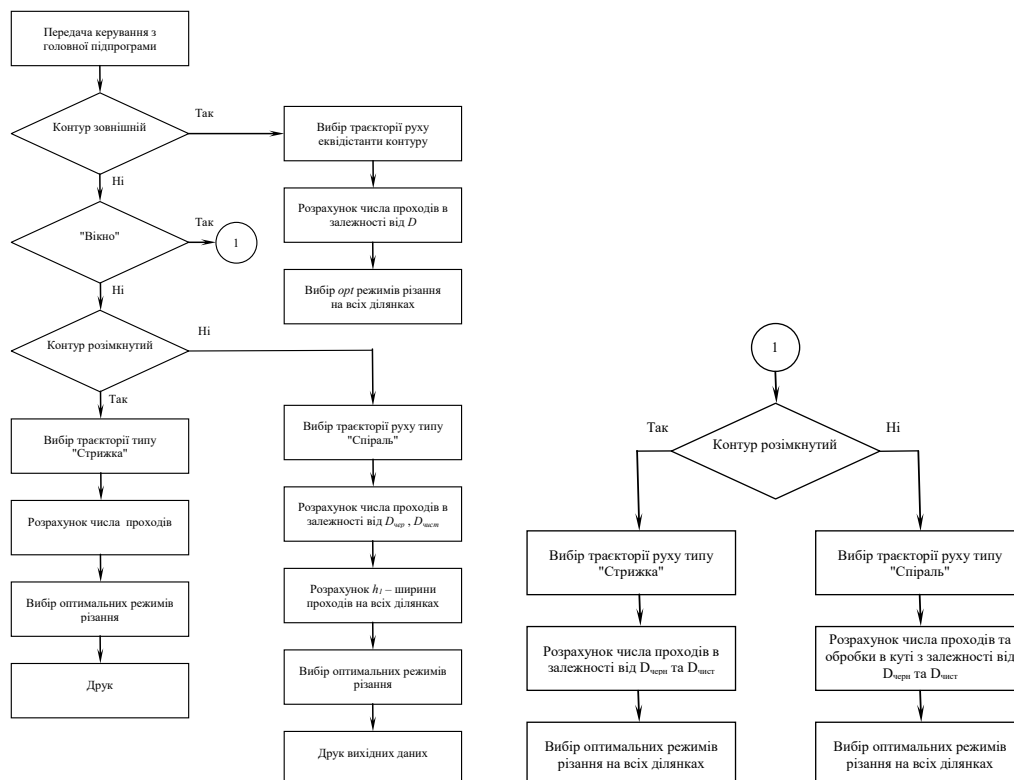


Рис. 3. Блок-схема вибору оптимальної траєкторії руху фрези

Отже, можна зробити висновок, що вибір різального інструменту і визначення оптимального варіанту обробки на основі мінімізації тривалості процесу обробки за допомогою запропонованого алгоритму, реалізованого на верстатах із ЧПК, дає змогу підвищити загальну продуктивність виготовлення деталі в середньому до 10–15%.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Остафьев В.А., Выслоух С.П., Антонюк В.С. Оптимизация обработки лезвийным инструментом. *Современные пути повышения производительности и точности металлообрабатывающего оборудования технологических процессов в машиностроении* : сборник. Москва : Изд. ЦИНТО МАШПРОМ, 1980. С. 78–82.
2. Остафьев В.А., Усачев П.А., Выслоух С.П. Прочность и износостойкость режущего инструмента. Киев : Знание, 1978.

3. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин Т. III-3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; под общ. ред. А.Г. Суслова. Москва : М38 Машиностроение, 2000. 840 с.
4. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления : учеб. пособие. Москва : Логос, 2005. С. 296.
5. Фельдштейн Э.И. Обрабатываемость сталей. Москва : Машгиз, 1953. 255 с.
6. Радченко С.Г. Математичне моделювання та оптимізація технологічних систем : навч.-метод. посіб. Київ : ІВЦ «Політехніка», 2001. 88 с.
7. Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва : монографія. Київ: НТУУ „КПІ”, 2011. 480 с.

#### REFERENCES

1. Ostafyev V.A., Vyzloukh S.P., Antonyuk V.S. Optimization of blade tool processing. Sat. “Modern ways to increase the productivity and accuracy of metalworking equipment of technological processes in mechanical engineering”, Ed. CINTO MASHPRM, Moscow, 1980. Page 78–82.
2. Ostafiev V.A., Usachev P.A., Vyzloukh S.P. Strength and wear resistance of the cutting tool, K.: Knowledge, 1978.
3. Mechanical engineering. Encyclopedia. Machine parts manufacturing technology Т. III-3 / А.М. Dalsky, А.Г. Suslov, Yu.F. Nazarov and others; Under the general ed. А.Г. Suslova. М.: М38 Engineering, 2000. 840 s., il.
4. Sosonkin V.L., Martinov G.M. Numerical software control systems: Textbook. M.: Logos, 2005. P. 296.
6. Radchenko S.H. Matematychnе modeliuvannia ta optymizatsiia tekhnolohichnykh system: Navch.-metod. posib. K.: IVTs „Politekhnikа”, 2001. 88 s.
7. Vysloukh S.P. Informatiini tekhnolohii v zadachakh tekhnolohichnoi pidhotovky prylado- ta mashynobudivnoho vyrobnytstva: Monohrafiia. K.: NTUU „KPI”, 2011. 480 s.

## РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.5.015

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.02>

### КОМП'ЮТЕРНО ОРІЄНТОВАНИЙ МЕТОД П'ЯТИ МОМЕНТІВ У РОЗРАХУНКАХ ЗГИНАННЯ СУДНОВИХ ПЕРЕКРИТТІВ

О.Є. Лугінін<sup>1</sup>, С.В. Терлич<sup>2</sup>, Р.Ю. Коршиков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., професор кафедри суднобудування та ремонту суден,  
Херсонська філія

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Херсон, Україна

ORCID ID: 0000-0001-7728-0579

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри суднобудування та ремонту суден,  
Херсонська філія

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Херсон, Україна

ORCID ID: 0000-0002-6044-3087

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедри суднобудування та ремонту суден,  
Херсонська філія

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Херсон, Україна

ORCID ID: 0000-0003-6897-0234

#### Анотація

**Вступ.** На ранніх стадіях проектування суден, їх спуску зі стапеля, постановці в док та в навчальному процесі можуть бути використані наближені методи оцінки загальної та місцевої міцності суден. Запропоновано нову версію удосконаленого та універсалізованого методу п'яти моментів (М5М). **Метою** дослідження є розробка нової версії М5М для стержневої моделі згинання суднових перекриттів із вирішенням таких завдань: врахування в балочній моделі суднових перекриттів нерегулярності розміщення балок головного напрямку (БГН) та перехресних балок (ПБ) при їх непризматичності, довільності граничних умов, розподіленні навантаження на розглядувані балки; врахування деформації зсуву в стінках балок перекриття; врахування полосового навантаження від спускових доріжок та докового опорного пристрою (ДОП) під час докування суден. **Результати.** Розроблено комп'ютерно орієнтований метод розрахунку згинання суднових перекриттів з урахуванням їх особливостей у проектуванні суден, спуску зі стапелю та докуванні. **Висновки.** Розроблено алгоритм і розрахункову методику з розгляду задач розрахунку згинання перекриттів у процесі проектування суден, їх спуску з поздовжнього похилого стапелю та постановки в сухий або плавучий доки. Реалізована удосконалена балочна модель оцінки згинання суднових перекриттів на основі М5М, який поширений та універсалізований для практичних розрахунків з урахуванням таких факторів: нерегулярність розстановки балок

перекриття, довільності їх граничних умов; розподіл навантаження між балками обох напрямів і видів навантаження на перекриття; врахування деформації зсуву в стінках балок; врахування особливостей деформування днищових перекриттів суден під час їх спуску з похилого поздовжнього стапелю і докування за рахунок розгляду полосового навантаження балок.

**Ключові слова:** стержнева модель, метод п'яти моментів, згинання суднових перекриттів, проектування суден, спуск зі стапеля, докування.

## COMPUTER-ORIENTED FIVE MOMENT METHODS IN CALCULATING THE BENDING FOR SHIP'S FLOORS

O.Ye. Luginin<sup>1</sup>, S.V. Terlych<sup>2</sup>, R.Yu. Korshykov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD, Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair,  
Kherson Branch

of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0001-7728-0579

<sup>2</sup>PhD, Associate Professor at the Department Shipbuilding and Ship Repair,  
Kherson Branch

of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-2627-9463

<sup>3</sup>PhD, Associate Professor at the Department Shipbuilding and Ship Repair,  
Kherson Branch

of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-6897-0234

### Summary

**Introduction.** Approximate methods for assessing the overall and local strength of ships can be used in the early stages of ship design, launching, docking and training. A new version of the advanced and universalized five-point method (M5M) has been proposed. **Purpose.** The aim of the research is to develop a new version of M5M for the rod model of bending of ship floors with the following tasks: taking into account in the beam model of ship floors irregular placement of main beams (BGN) and cross beams (PB) beams; taking into account the shear deformation in the walls of the floor beams; taking into account the band load from the descent tracks and the docking support device (DOP) when docking vessels. **Results.** A computer-based method of calculating the bending of ship floors, taking into account their features in the design of ships, descent from the berth and docking. An algorithm and a calculation technique for considering the problems of calculating the bending of floors in the process of designing ships, their descent from a longitudinal inclined berth and installation in a dry or floating dock. Implemented a simplified beam model for estimating the bending of ship floors on the basis of M5M, which is common and universalized for practical calculations taking into account the following factors: irregular placement of floor beams, arbitrariness of their boundary conditions; load distribution between beams of both directions and types of load on the floor; taking into account the deformation of displacements in the walls of the beams; taking into account the peculiarities of deformation of the bottom floors of vessels during their descent from an inclined longitudinal berth and docking due to the consideration of the strip load of the beams.

**Key words:** rod model, the five-point method, bending of ship floors, ship design, descent from the building site, forging.

**Вступ.** У процесі проектування суден, а надалі їх спуску зі стапеля і постановки в док для виконання ремонтних робіт актуальною постає задача перевірки місцевої міцності суднових перекриттів (днищових, бортових, палубних) при розрахунку їх згинання. На ранніх стадіях таких робіт можуть бути використані наближені стержневі моделі такої задачі та методи їх реалізації. До складу цих методів належить відомий у будівельній механіці корабля *метод п'яти моментів* (М5М), заснований на теоремі п'яти моментів. Запропонована нова версія цього методу, узагальненого та універсалізованого з урахуванням особливостей у конструкції і деформуванні перекриттів. Використання такого наближеного методу дозволяє при невеликих витратах часу на підготовку вихідних даних і проведення розрахунків отримати оціночні результати, які надалі можуть бути уточнені з використанням більш досконалих підходів і методу скінчених елементів (МСЕ).

**Формулювання цілей статті.** На ранніх стадіях проектування суден, їх спуску зі стапеля, докування та в навчальному процесі виникає проблема отримання загальних оцінок місцевої міцності суднових перекриттів з урахуванням їх особливостей при мінімальних витратах часу отримання результатів.

Тому метою дослідження є розробка нової версії М5М для стержневої моделі згинання суднових перекриттів із вирішенням таких завдань: врахування в балочній моделі суднових перекриттів *нерегулярності розміщення балок* головного напрямку (БГН) та перехресних балок (ПБ) при їх *непризматичності, довільності граничних умов, розподіленні навантаження* на розглядувані балки; *врахування деформації зсуву* в стінках балок перекриття; *врахування полосового навантаження* від спускових доріжок та докового опорного пристрою (ДОП) при докуванні суден.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині в умовах проектування суден, їх спуску зі стапелю та постановки в док на основі нормативних документів [1; 2] наявні програмні комплекси з використанням МСЕ дають вичерпну інформацію в розрахунках як загальної, так і місцевої міцності суден та їх конструкцій [3; 4]. Але ці комплекси використовуються на останніх стадіях роботи і потребують значних витрат часу на підготовку вихідних даних, отримання та аналізу результатів розрахунків. У зв'язку з цим на проміжних стадіях розгляду міцносних проблем можуть бути використані спрощені наближені розрахункові моделі і методи їх реалізації, які при мінімальних витратах часу на підготовку вихідних даних і проведення розрахунків дозволяють отримати оціночні результати з достатньою для практики точністю.

Однак наявні наближені методи розрахунку згинання суднових перекриттів (наприклад, метод Нав'є, метод головних згинів, або метод Д.М. Ростовцева) мають особливі недоліки:

- обмежені розрахунковою схемою перекриття за чисельністю БГН та ПБ;
- не враховують фактори нерегулярності перекриттів за геометричними характеристиками балок та граничними умовами;
- реалізовані в низці випадків без урахування деформації зсуву у стінках балок, більш точного розподілу поперечного навантаження між ними, виду самого навантаження;

– у разі збільшення порядку система алгебраїчних рівнянь для визначення основних невідомих сама система стає погано зумовленою і з'являється загроза зниження точності обчислень за рахунок малих різниць близьких величин.

Універсальний метод розрахунку стержневих систем – метод скінчених елементів – хоча і враховує нерегулярність перекриттів за конструкцією та навантаженням, вимагає завдяки своїй універсальності значних витрат часу на підготовку великого обсягу вихідних даних, аналізу великого обсягу результатів обчислень.

Визначених недоліків значною мірою позбавлений за новою версією M5M [5]. Метод, що розглядається, поширений та уніфікований у роботах [7–9], доповнює дослідження [4] в задачі розрахунку загальної міцності суден під час їх докування.

**Виклад основного матеріалу.** Розрахункові схеми задач, які розглядаються у статті, в дослідженнях авторів засновані на розгляді багатопрогонної непрямої балки на пружних проміжних опорах  $i$  із коефіцієнтами податливості за прогинами  $A_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) і пружньо затисненою в кінцевих перерізах із коефіцієнтами податливості за кутами повороту  $A_1$  та  $A_n$  (рис. 1).

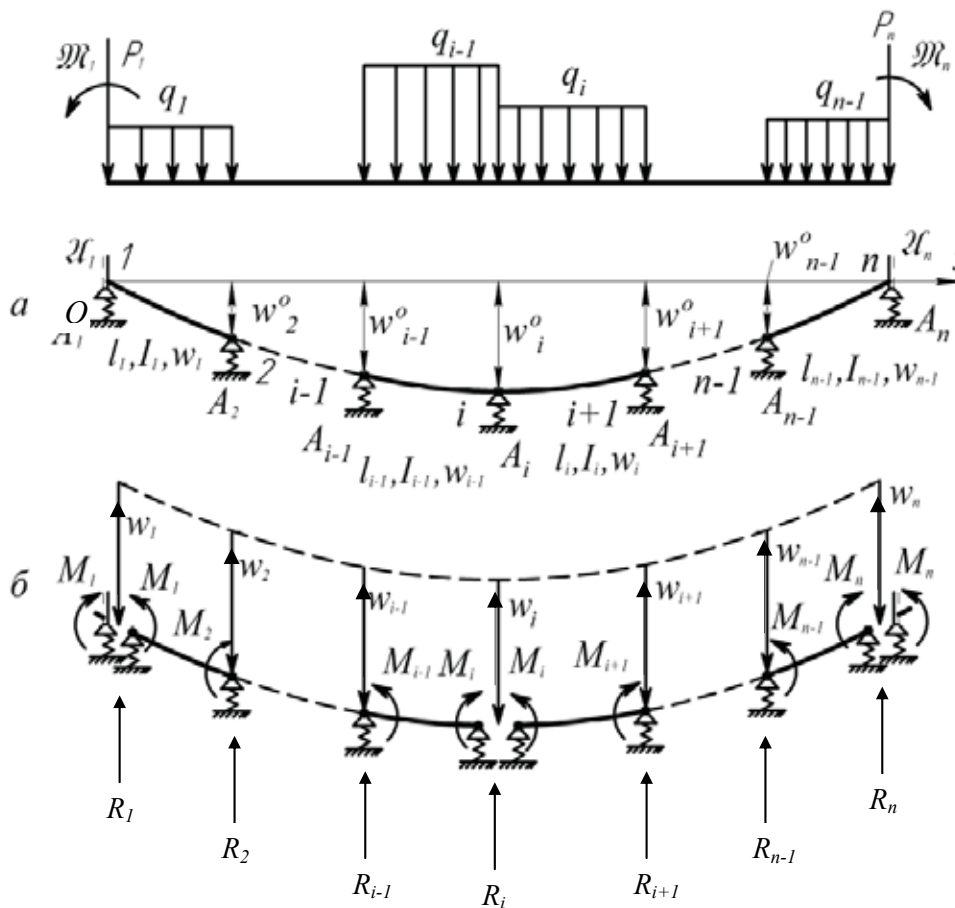


Рис. 1. Розрахункова схема багатопрогонної балки на пружних опорах  
Джерело: власні розробки авторів

Розглядається балка, яка завантажена ступенево-рівномірним навантаженням у прогонах інтенсивністю  $q_i$ , а у кінцевих перерізах – зосередженими силами  $P_l$  та  $P_n$  і зовнішніми моментами  $M_l$  та  $M_n$ . Довжина прогонів  $l_i$ , момент інерції перерізів  $I_i$  та площі стінок балок  $\omega_i$  у прогонах загалом різні. У загальному випадку багатопрогонна балка може мати початкові прогини  $w_i^0$  на проміжних пружних опорах. При цьому враховуються такі випадки:

1) при зміщених пружних опорах просадки  $w_i^0$  відраховуються від криволінійної вісі балки в початковому ненавантаженому стані до цієї вісі;

2) при розміщенні пружних опор уздовж координат лінії  $Ox$  та постановці на них криволінійної балки (наприклад при спуску судна з похилого поздовжнього стапеля або постановці судна в док) просадки  $w_i^0$  відраховуються від координатної лінії  $Ox$  до вісі балки (рис. 2, 3, а).

У разі навантаження судна-балки пружні опори, які замінюють пружинну основу, отримують додаткові вертикальні переміщення  $w_i$  і займають положення, як це показано на рис. 2, 3, б, в.

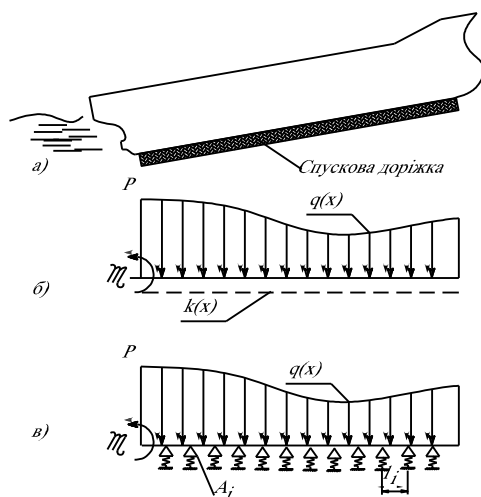


Рис. 2. До розрахунку згинання судна при спуску з поздовжнього стапеля  
Джерело: власні розробки авторів

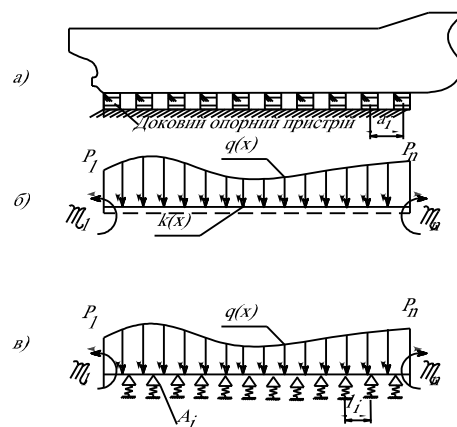


Рис. 3. До розрахунку згинання судна при постановці в док  
Джерело: власні розробки авторів

На основі поширеного та універсального М5М при проектуванні суден реалізовані розрахункові схеми згинання перекриттів [5–9]: днищових (рис. 4), бортових (рис. 5) та палубних (рис. 6).

**Днищове перекриття** (рис. 4) загалом розглядається у трапецієдальному вигляді в плані довжиною  $L$  для ПБ, розміщених по ширині перекриття на довільних розмірах  $b_j$ , а БГН можуть бути розміщені за довільною або постійною шпациєю  $a_i$ . Враховується розподіл поперечного навантаження на перекриття: якщо число БГН  $m < 5$ , то інтенсивність навантаження на ці балки приймається величиною  $q_1$ , а на ПБ – величиною  $q_2$ , що впливає на значення вузлових реакцій  $R_{ji}$  [5].

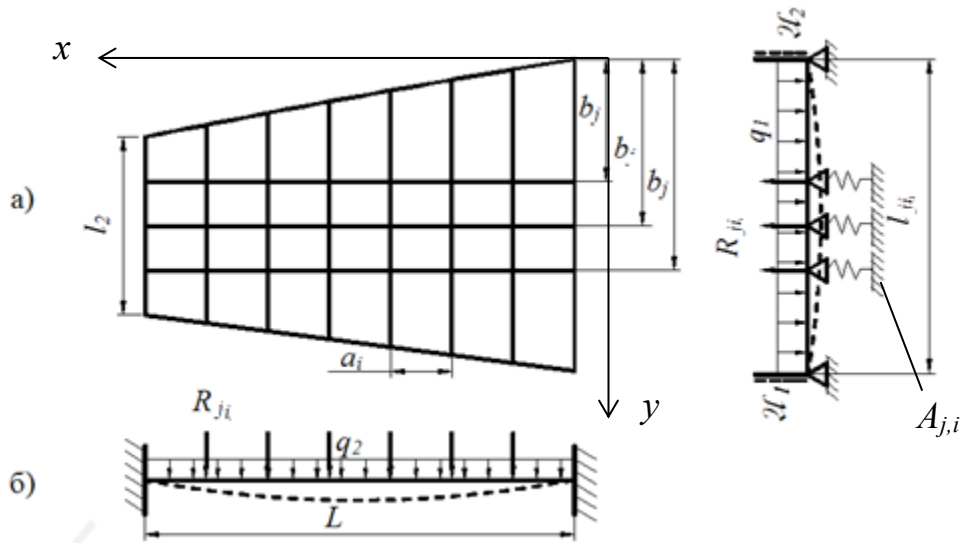


Рис. 4. Розрахункова схем днищового перекриття

Джерело: власні розробки авторів

На поперечних переділках судна, що обмежують перекриття, ПБ приймаються жорстко затисненими, а БГН по бортам – пружно затисненими з коефіцієнтами податливості  $A_1$  та  $A_2$ .

**Бортове перекриття** теж розглядається з нерегулярним розташуванням шпангоутів на відстанях  $a_i$  та бортових стрингерів на відстані  $b_j$ . Поперечне навантаження приймається за трапецієдальним законом від гідростатичного тиску води за значеннями інтенсивностей  $q_1$  та  $q_2$  (рис. 5).

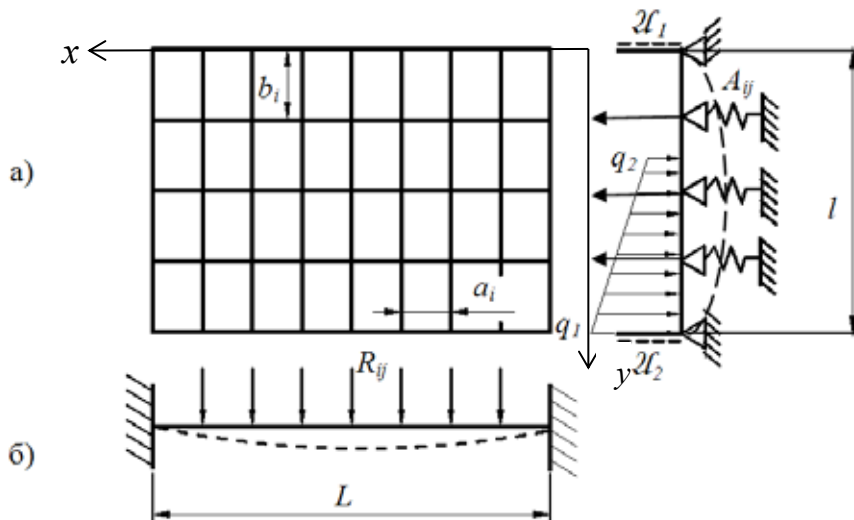


Рис. 5. Розрахункова схема згинання бортового перекриття

Джерело: власні розробки авторів

**Палубне перекриття** з люковим вирізом за розмірами  $c$  і  $d$ , підкріплене у кутах пілерсами, у загальному вигляді може мати нерегулярне розташування бімсів та полубімсів на відстанях  $a_i$  та карлінгсів-комінгсів (карлінгсів) на відстанях  $b_j$ . Поперечне навантаження на кришках люків приймається рівномірно розподіленим величиною інтенсивності  $q_1$  (а при відсутності навантаження  $q_1 = 0$ ), за межами люка та відсутністю навантаження на нього – інтенсивністю  $q_2$  (рис. 6).

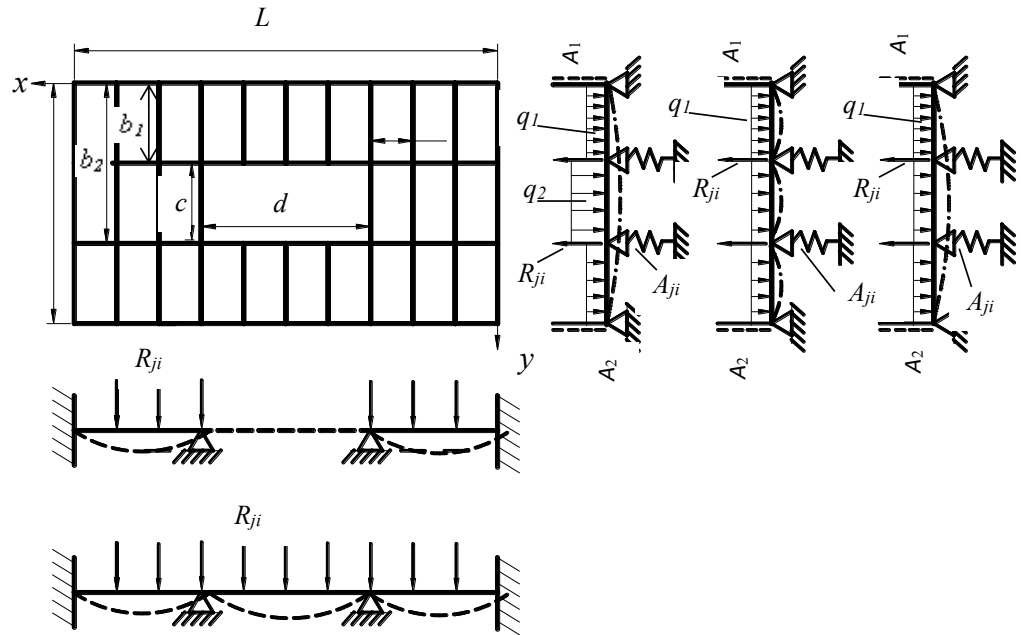


Рис. 6. Розрахункова схема згинання палубного перекриття  
Джерело: власні розробки авторів

Запропонований М5М розрахунку згинання суднових перекриттів [5; 9], певною мірою позбавлений недоліків зазначених наближених методів, полягає в такому. БГН перекриттів (рис. 4-6) розглядаються як балки на пружних опорах, розташованих у вузлах перетину з перехресними в'язями. Своєю чергою ПБ підтримують БГН і завантажені вузловими реакціями  $R_{ji}$ . За основні невідомі в методі приймаються опорні згинальні моменти у вузлах БГН  $M_{ji}$ , а просадки пружних опор  $w_{ji}$  визначаються через елементи згинання ПБ. В цьому і полягає суть розробленого М5М для розрахунку згинання суднових перекриттів в оцінці їх місцевої міцності. Розглядувані перекриття (рис. 4-6) мають  $m$  БГН ( $i = 1 - m$ ) та  $n$  ПБ ( $j = 1 - n$ ). У загальному випадку перекриття є нерегулярними при наступних їх особливостях:

- балки обох напрямів у прогонах призматичні, але різні за їх довжиною з моментами інерції в перерізах  $I_i$  та  $I_j$ ;
- БГН та ПБ можуть розташовуватись на різних відстанях одна від одної  $a_i$  та  $b_j$ ;
- кінцеві перерізи БГН мають пружні затиснення на жорстких опорах із коефіцієнтами податливості пружних затиснень  $A_1$  та  $A_2$ , які можуть бути різними

для кожного контура першого та другого рівнів, а для ПБ – однаковими і жорстко затисненими на поперечних переділках корпусу судна; для днищових та палубних перекриттів опорним контуром першого рівня вважається правий борт (або права поздовжня переділка) і палуба для бортових перекриттів, а опорним контуром другого рівня – лівий борт (або поздовжня переділка) для днищових перекриттів і друге дно (або днище) для бортових перекриттів;

г) форма опорного контуру для днищових перекриттів у загальному вигляді трапецієдальна, а для бортових і палубних перекриттів – прямокутна;

г) у стінах балок береться до уваги деформація зсуву, коли висота нерозрізних балок більше  $\frac{1}{10}$  їх довжини [5]; врахування деформації зсуву особливо доцільне для закритих днищових перекриттів типу «подвійного дна» в танкерів, чим частково компенсується нехтування жорсткістю балок на скручування та плоский напружений стан у настилах.

У загальному випадку зовнішнє навантаження сприймають у перекриттях як БГН, так і ПБ, але дослідження з цього приводу дають такі практичні рекомендації [6].

Для бортових перекриттів, на які діє гідростатичний та хвильовий тиск води за трапецієвидним законом, і днищових перекриттів із рівномірним тиском у межах опорного контуру при великій кількості БГН ( $m > 5$ ) зовнішнє навантаження фактично сприймається тільки цими балками; ПБ завантажені у вузлах тільки реакціями взаємодії з БГН. Тоді інтенсивність навантаження в опорних перерізах визначають так:

а) для днищових перекриттів у перерізах першого та другого рівнів  $q = p \cdot a$ ;

б) для бортових перекриттів у перерізах першого рівня  $q_1 = p_1 \cdot a$ , а другого рівня –  $q_2 = p_2 \cdot a$ , де  $p$  – рівномірний тиск на днищове перекриття;  $p_1$  та  $p_2$  – величина тиску на бортове перекриття на перерізах відповідно до другого рівня затиснення та рівня вантажної ватерлінії;  $a$  – величина шпациї.

Як показують дослідження [5], врахування розподілу навантаження між БГН і ПН днищових перекриттів помітно впливає на величину вузлових реакцій перекриттів з малим числом БГН ( $m < 5$ ). Тому розподіл навантаження між балками перекриття у цьому випадку є таким:

а) повне навантаження та інтенсивність навантаження на БГН довжиною  $l$ :

$$Q_1 = pal \left( 1 - \frac{n+1}{2} \cdot \frac{a}{l} \right), \quad q_1 = \frac{Q_1}{l}; \quad (1)$$

б) повне навантаження та інтенсивність навантаження на ПБ:

$$Q_2 = \frac{1}{2} pa^2 (m+1), \quad q_2 = \frac{Q_2}{a(m+1)} = \frac{1}{2} pa. \quad (2)$$

Алгоритм розрахунку згину перекриттів від дії поперечного навантаження складається з двох етапів: розкриття статичної невизначеності балок перекриття (перший етап); розрахунок елементів згину балок перекриття (другий етап).

На першому етапі розкривають статичну невизначеність стержневої моделі перекриття на підставі теореми п'яти моментів, застосованої до БГН з урахуванням ПБ, як пружних опор.

Розрахункова схема для БГН у районі вузла  $j, i$  показана на рис. 7.

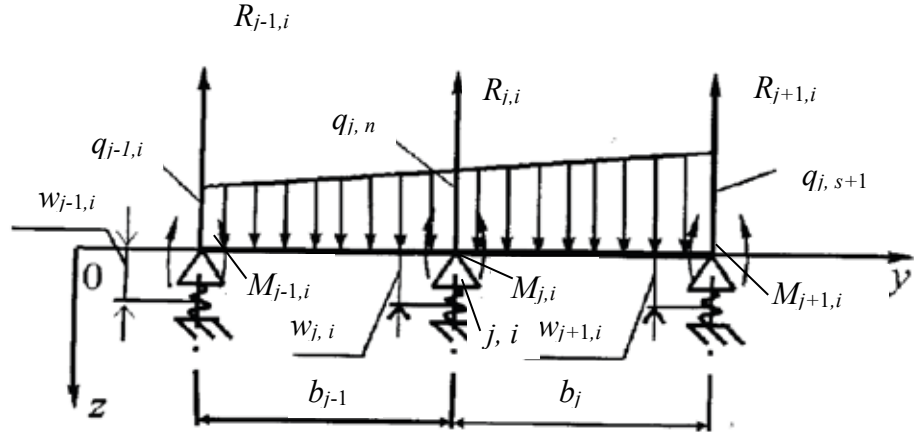


Рис. 7. Розрахункова схема для БГН

Джерело: власні розробки авторів

Цей вузол утворений перетинанням  $i$ -ї БГН з  $i$ -ю ПБ. З одного боку, на балку діє зовнішнє навантаження інтенсивністю  $q(y)$ , а з іншого – реакції пружних опор  $R_{ji}$ .

У місцях розташування пружних опор ординати інтенсивності трапецієвидного навантаження приймають проміжні значення  $q_s$  при  $y = c_{s-1}$ :

$$q(y) = q_1 + \frac{q_2 - q_1}{l} j, \quad (3)$$

де  $q_1$  та  $q_2$  – інтенсивності навантаження на крайніх ординатах їх дії;  $l$  – довжина балки.

При розкритті статичної невизначеності за «зайві» невідомі для балок головного напрямку приймаються опорні моменти  $M_{ji}$  у вузлових точках або далі вузлові моменти (рис. 7). Для їх визначення у вузлах складають умови сумісності кутових деформацій у вигляді:

$$\alpha_{j,j-1} = \alpha_{j,j+1}, \quad (4)$$

де  $\alpha_{j,j-1}$  – кут повороту лівого опорного перерізу прогону  $i - 1$ ;  $\alpha_{j,j+1}$  – кут повороту правого опорного перерізу суміжного прогону на їх спільній  $ij$ -й опорі.

Вирази для кутів поворотів в умовах (4) визначаються наступними залежностями:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{j,j-1} &= -\frac{M_{j,i} b_{i-1}}{3EI_i} + \frac{M_{j-1,i} b_{j-1}}{6EI_i} - \alpha_{j,j-1} (Q_{i-1}) + \frac{w_{j,i} - w_{j,i-1}}{b_{j-1}} + \alpha_{3_1}^{\pi}, \\ \alpha_{j,j+1} &= -\frac{M_{j,i} b_i}{3EI_i} - \frac{M_{j+1,i} b_i}{6EI_i} + \alpha_{j,j+1} (Q_i) + \frac{w_{j+1,i} - w_{j,i}}{b_j} + \alpha_{3_2}^{\pi}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Тут позначено:  $M_{j-1,i}$ ,  $M_{j,i}$ ,  $M_{j+1,i}$  – опорні моменти у вузлах;  $w_{j-1,i}$ ,  $w_{j,i}$ ,  $w_{j+1,i}$  – просадки пружних опор (вузлів);  $b_j$ ,  $b_{j+1}$  – відстані між пружними опорами;  $I_i$  – момент

інерції перерізу  $i$ -ї БГН;  $\alpha_{j,j-1}(Q_{i-1})$ ,  $\alpha_{j,j+1}(Q_i)$  – кути повороту суміжних перерізів балки на їх загальній  $ji$  опорі від навантажень  $Q_{i-1}$  та  $Q_i$  у відповідних прогонах, які для трапецієвидного навантаження визначаються за формулами:

$$\alpha_{j,j-1}(Q_{i-1}) = \frac{(8q_i + 7q_{i-1})b_{j-1}^3}{360EI_i}; \quad (6)$$

$$\alpha_{j,j+1}(Q_i) = \frac{(8q_i + 7q_{i+1})b_j^3}{360EI_i}; \quad (7)$$

$\alpha_{3_1}^I$ ,  $\alpha_{3_2}^I$  – кути повороту суміжних перерізів балки на їх загальній опорі, зумовлені деформацією зсуву:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{3_1}^I &= \frac{1}{b_{j-1}G\omega_j} (M_{j,i} - M_{j-1,i}); \\ \alpha_{3_2}^I &= \frac{1}{b_jG\omega_i} (M_{j+1,i} - M_{j,i}), \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де  $G$  – модуль зсуву матеріалу балки.

Кути повороту пружних затиснень балок головного напрямку в опорних перерізах першого ( $i = 0$ ) та другого ( $i = m$ ) рівнів визначаються так:

$$\alpha_{0;j-1} = A_1 M_{i,0}, \quad \alpha_{m,m+1} = A_2 M_{j,m}, \quad (9)$$

де  $A_1$  та  $A_2$  – коефіцієнти податливості пружних затиснень.

Умови сумісності кутових деформацій (4) та (9) складають у вузлах і опорних перерізах БГН. З урахуванням симетрії конструкції та навантаження щодо поперечної осі, що проходить через середину перекриття, можна вважати, що значення номерів  $i$  лежить у діапазоні від 1 до  $m_p$ , де  $m_p$  – розрахункове число вузлових точок для  $i$ -ї БГН:  $m_p = \frac{m+1}{2}$  при непарній кількості  $m$  балок головного напрямку;  $m_p = \frac{m}{2}$  – при парній кількості цих балок. Тоді на підставі умов (4) та (9) складається  $s = (n+2)m_p$  рівнянь відносно «зайвих» невідомих – опорних моментів  $M_{ji}$  у вузлових і кінцевих перерізах БГН. Однак у рівняння ввійде ще одна група невідомих – просадки пружних опор  $w_{ji}$ . Ці просадки виражають через прогини ПБ наступним чином.

Прогин у вузлі  $ji$  для  $j$ -ї перехресної балки при дії частини зовнішнього навантаження  $Q_{n,\delta}$  та вузлових реакцій при  $R_{ji}$ , при  $i = 1, \dots, m$ , (рис. 7) обчислюється за формулою:

$$w_{ji} = \frac{L^3}{EI_j} \sum_{i=1}^m R_{ji} \cdot a_{ji} + \frac{Q_{n,\delta} L^3}{EI_j} b_j, \quad \text{при } j = 1, \dots, n, \quad (10)$$

де  $I_j$  – момент інерції перерізу  $j$ -ї ПБ;  $ji$  – номер вузла прикладення реакції  $R_{ji}$ ;  $a_{ji}$  – коефіцієнт впливу реакції  $R_{ji}$  прикладеної у вузлі  $ji$  перехресної балки, на прогін вузла  $ji$  цієї в'язі з урахуванням пружного затиснення кінцевих перерізів і деформацій зсуву;  $b_j$  – коефіцієнт впливу навантаження  $Q_{n,\delta}$  на прогін вузла  $ji$  перехресної в'язі з урахуванням пружного затиснення кінцевих перерізів і деформацій зсуву;  $L$  – довжина ПБ; коефіцієнти впливу розраховуються за даними [5; 6].

При пружному затисненні кінців балок розрахунок зручно проводити з використанням коефіцієнта опорної пари  $\alpha_3 = \frac{M_{ПЗ}}{M_{ЖЗ}}$ , де  $M_{ПЗ}$  – згинальний момент у перерізі при пружному затисненні кінців балки;  $M_{ЖЗ}$  – згинальний момент при жорсткому затисненні її кінців. Цей коефіцієнт лежить у діапазоні  $(0, \dots, 1)$ , причому граничне значення  $\alpha_3 = 0$  відповідає шарнірній опорі, а значення  $\alpha_3 = 1$  – жорсткому затисненню.

Зв'язок коефіцієнта опорної пари  $\alpha_3$  з коефіцієнтом податливості пружного затиснення  $A_3$  при симетричному навантаженні та симетричному закріпленні кінців балки з моментом інерції перерізу  $I_j$  та довжиною  $L$  здійснюється за формулою

$$\alpha_3 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2A_3 EI_j}{L} \right)}. \quad (11)$$

Оскільки згинальний момент у пружному затисненні пропорційний коефіцієнту опорної пари, а елементи згину балки є лінійними функціями від опорних моментів, то можна вважати елементи згину балки також лінійними функціями від  $\alpha_3$ . Тоді коефіцієнти впливу обчислюються за формулами:

$$a_{ji} = a_{ji}^{uz} (1 - \alpha_3) + a_{ji}^{жз} \alpha_3; \quad (12)$$

$$b_j = b_j^{uz} (1 - \alpha_3) + b_j^{жз} \alpha_3, \quad (13)$$

де  $a_{ji}^{uz}$ ,  $b_{ji}^{uz}$  – коефіцієнти впливу реакції  $R$  у вузлі  $ij$  перехресної в'язі на прогин вузла  $ji$  цієї ж в'язі, відповідно, при шарнірному закріпленні та жорсткому затисненні кінцевих перерізів;  $b_{ji}^{uz}$  та  $b_{ji}^{жз}$  – коефіцієнти впливу навантаження  $Q_{no}$  на прогин вузла  $ji$  перехресної в'язі при шарнірному закріпленні та жорсткому затисненні кінців.

Ці коефіцієнти визначаються на підставі довідникових даних [5; 6] як прогини однопрогонових балок, поділених на множник  $\frac{L^3}{EI_j}$  при одиничному навантаженні:

$$\left. \begin{aligned} a_{ji}^{u.3} &= \frac{1}{6} \left( 1 - i \frac{a}{L} \right) j \frac{a}{L} \left[ 1 - \left( 1 - i \frac{a}{L} \right)^2 - j^2 \frac{a^2}{L^3} \right] + \left\| j \frac{a^3}{6L^3} (j-i)^3 + a_{C2}^{u.3}; \right. \\ a_{ji}^{ж.3} &= \frac{1}{6} \left( 1 - i \frac{a}{L} \right) j^2 \frac{a^2}{L^2} \left[ 3i \frac{a}{L} - \left( 2i \frac{a}{L} + 1 \right) j \frac{a}{L} \right] + \left\| j \frac{a^3}{6L^3} (j-i)^3 + a_{C2}^{ж.3}; \right. \\ b_j^{u.3} &= \frac{1}{24} j \frac{a}{L} \left( 1 - 2j^2 \frac{a^2}{L^2} + j^3 \frac{a^3}{L^3} \right) + b_{C3}^{u.3}; \\ b_j^{ж.3} &= \frac{1}{24} j^2 \frac{a^2}{L^2} \left( 1 - 2j \frac{a}{L} + j^2 \frac{a^2}{L^2} \right) + b_{C3}^{ж.3}; \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

де  $i = 1, \dots, p$ ;  $j = 1, \dots, n$ .

У залежностях (14)  $a_{C2}^{u.3}$ ,  $a_{C2}^{ж.3}$ ,  $b_{C3}^{u.3}$ ,  $b_{C3}^{ж.3}$  відповідають складникам коефіцієнтів впливу, що враховують деформації зсуву у стінках ПБ, і вони обчислюються за формулами [5]:

$$\left. \begin{aligned} a_{C2}^{u.3} &= 2(1+\mu) \frac{I_j}{l^2 \omega_{s.n\bar{o}}} \left[ \left(1-i \frac{a}{l}\right) j \frac{a}{l} - \left\| j \frac{a}{l} (j-i) \right\| \right]; \\ a_{C2}^{ж.3} &= 2(1+\mu) \frac{I_j}{l^3 \omega_j} \left\{ \begin{aligned} &\left(1-j \frac{a}{l}\right) i a \left(1-i \frac{a}{l}\right)^2 + i^2 \frac{a^2}{l} \left(1-i \frac{a}{l}\right) j \frac{a}{l} - \\ &-L \left(1-i \frac{a}{l}\right) \left[ i \frac{a}{l} - \left(1+2i \frac{a}{l}\right) j \frac{a}{l} \right] + \left\| j a (j-i) \right\| \end{aligned} \right\}; \\ b_{C3}^{u.3} &= 2(1+\mu) \frac{I_j}{L^2 \omega_j} j \frac{a}{L} \left(1-j \frac{a}{L}\right), \\ b_{C3}^{ж.3} &= b_{C3}^{u.3}, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

де  $\omega_j$  – площа стінки ПБ,  $a$  – постійна шпация.

Якщо деформація зсуву у стінках перехресних балок не враховується, то відповідні коефіцієнти впливу (15) приймаються рівними нулю.

Вузлові реакції  $R_{ji}$ , що входять у залежність (10), визначають через навантаження і опорні моменти БГН.

$$\left. \begin{aligned} R_{ji} &= R_{j-1,i} + R_{j+1,i}; \\ R_{j-1,i} &= R_{j-1,i} (Q_{j-1}) + \frac{M_{ji} - M_{j-1,i}}{b_{j-1}}; \\ R_{j+1,i} &= R_{j+1,i} (Q_j) + \frac{M_{ji} - M_{j+1,i}}{b_j}, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

де реакції опор однопрогонових балок від зовнішнього поперечного навантаження, розподіленого у загальному випадку за трапецієвидним законом, розраховуються на підставі залежностей [5]:

$$R_{j-1,i} (Q_{s-1}) = \frac{b_{j-1}}{6} (2q_j + q_{j-1}); \quad (17)$$

$$R_{j+1,i} (Q_j) = \frac{b_j}{6} (2q_j + q_{j+1}). \quad (18)$$

Тоді підстановка виразів для просадок пружних опор (10) в умови (4, 5) призводить до розрахункової системи неоднорідних алгебраїчних рівнянь відносно опорних моментів у вузлах  $M_{ji}$ . Ця система лінійних неоднорідних рівнянь  $m$ -го порядку відносно невідомих  $M_{j,i}$  має вид:

$$\left. \begin{aligned} C_{1,1} M_{1,1} + C_{1,2} M_{1,2} + C_{1,3} M_{1,3} &= D_1; \\ C_{2,1} M_{2,1} + C_{2,2} M_{2,2} + C_{2,3} M_{2,3} + C_{2,4} M_{2,4} &= D_2; \\ C_{j,i-2} M_{j,i-2} + C_{j,i-1} M_{j,i-1} + C_{j,i} M_{j,i} + C_{j,i+1} M_{j,i+1} &= D_i; \\ C_{n-1,m-3} M_{n-1,m-3} + C_{n-1,m-2} M_{n-1,m-2} + C_{n-1,m-1} M_{n-1,m-1} + C_{n-1,m} M_{n-1,m} &= D_{n-1}; \\ C_{n,m-2} M_{n-2} + C_{n,m-1} M_{n,m-1} + C_{n,m} M_{n,m} &= D_m, \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

де  $j = 3 - (n - 2)$ ,  $i = 3 - (m - 1)$ , а також використовуються позначення:

$$\left. \begin{aligned} C_{j,i-2} &= a_{j-2} a_{j-1} \theta_{j-1}; \\ C_{j,i-1} &= \lambda_{j-1} m_{j-1} - a_{j-1} \theta_{j-1} (a_{j-2} + a_{j-1}) - a_{j-1} \theta_j (a_{j-1} + a_j); \\ C_{j,j} &= 2(\lambda_{j-1} S_{j-1} + \lambda_j S_j) + a_{j-1}^2 \theta_{j-1} + (a_{j-1} + a_j)^2 \theta_j + a_j^2 \theta_{j+1}; \\ C_{j,j+1} &= \lambda_j m_j - a_j \theta_j (a_{j-1} + a_j) - a_j \theta_{j+1} (a_j + a_{j+1}); \\ C_{j,j+2} &= a_j a_{j+1} \theta_{j+1}, \quad j = 1 - n; \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} D_i &= \lambda_j (\beta_{j,j+1} + 6\Delta_j M_j) - \lambda_{j-1} (\beta_{j,j-1} + 6\Delta_{j-1} M_{j-1}) + F_j (w_{j+1}^0 + w_j^0) - \\ &- F_{j-1} (w_j^0 - w_{j-1}^0) + a_{j-1} \theta_{j-1} l_i [R_{j-1,i-2} (Q_{j-2}) + R_{j-1,i} (Q_{j-1})] - \\ &- (a_{j-1} + a_j) \theta_j l_i [R_{j,i-1} (Q_{j-1}) + R_{j,i+1} (Q_j)] + \\ &+ a_j \theta_{j+1} l_i [R_{j+1,i} (Q_j) + R_{j+1,i+2} (Q_{j+1})], \quad j = 1 - n. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

У формулах (20) та (21) використано такі залежності та позначення:

$$\left. \begin{aligned} \theta_j &= \frac{6EI_1}{l_1^3} A_j; \quad j = 1 - n; \quad \lambda_j = \frac{I_1}{I_j} \cdot \frac{l_j}{l_1}; \quad a_j = \frac{l_1}{l_j}; \quad \Delta_j = \frac{2(1+\mu)I_j}{l_j^2 \omega_j}; \\ S_j &= 1 + 3\Delta_j; \quad m_j = 1 - 6\Delta_j; \quad F_j = \frac{6EI_j}{l_j^2} \lambda_j, \quad j = 1 - (n-1); \\ \lambda_0 &= 6 \frac{EI_1}{l_1} A_1; \quad \lambda_n = 6 \frac{EI_1}{l_1} A_2; \quad S_0 = S_n = m_0 = m_n = 1; \\ \beta_{j,i-1} &= 6 \frac{EI_{j-1}}{l_{j-1}} \alpha_{j,i-1} (Q_{j-1}), \quad i = 2 - n; \quad \beta_{j,i+1} = 6 \frac{EI_j}{l_j} \alpha_{j,i+1} (Q_j), \quad j = 1 - (n-1); \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

$E$  – модуль пружності матеріалу балки;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

У залежностях (21)...(22) величини, які утворилися поза межами балки, приймаються рівними нулю; зокрема, варто прийняти:

$$\left. \begin{aligned} a_{-1} = a_0 = a_n = a_{n+1} &= 0; \quad \beta_{1,0} = \beta_{n,n+1} = 0; \quad \theta_0 = \theta_{n+1} = 0; \quad F_0 = F_n = 0; \\ R_{0,-1} (Q_{-1}) &= R_{0,1} (Q_0) = R_{j,0} (Q_0) = R_{n,n+1} (Q_n) = R_{n+1,n+2} (Q_{n+1} = 0); \\ C_{1,-1} = C_{1,0} = C_{2,0} &= C_{n,n+1} = C_{n,n+2} = C_{n-1,n+1} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

У результаті розв'язання системи рівнянь (19) розкривається статична невідомість стержневої моделі перекриттів із розрахунком опорних моментів  $M_{ji}$ :

$$\left. \begin{aligned} R_{j,i} &= R_{j-1,i} + R_{j+1,i}, \quad j = 1 - n, \quad i = 1 - m; \\ R_{j-1,i} &= R_{j-1,i} (Q_j) + \frac{M_{ji} - M_{j,j-1}}{C_{j-1}}; \\ R_{j+1,i} &= R_{j+1,i} (C_j). \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

На другому етапі задачі розрахунку згинання суднових перекриттів визначаються реакції  $R_{ji}$  (16) та просадки опор (10)  $w_{ji}$ .

За результатами розрахунку визначаються найбільш навантажені перерізи балок зі знаходженням максимальних значень, перерізаючи сил  $N_{\max}$ , згинальних моментів  $M_{\max}$ , нормальних напружень та дотичних напружень із перевіркою місцевої міцності балок перекриття.

За формулами алгоритму (1)-(24) створено комплекс комп'ютерних програм [5; 7-9] згинання суднових перекриттів із використанням М5М, які може бути використано на ранніх стадіях проектування з урахуванням їх особливостей за конструкцією та умовами деформування.

Задача про розрахунок згинання днищових перекриттів з урахуванням їх особливостей була подовжена у випадках спуску суден із поздовжнього похилого стапелю та постановок суден у сухий або плавучий доки для здійснення ремонтних робіт. Хоча в роботі [4] зазначено, що місцева міцність днищових перекриттів при докуванні, звичайно, забезпечується, але це не завжди пов'язано із задачами спуску суден із поздовжнього похилого стапелю та докувань суден зі значними звісами кінцевостей суден за межі ДОП.

Так, необхідно мати на увазі [8; 9], що під час спуску суден із поздовжнього стапелю та докування БГН днищового перекриття отримують навантаження інтенсивністю  $q = \frac{D_1}{l}$  – при спусканні суден, де  $D_1$  – спускова вага судна;  $l$  – довжина БГН (ширина перекриття);  $q = \frac{D_2}{l}$  – при постановці судна в сухий док, де  $D_2$  – докова вага судна;  $q = \frac{D_2 + \gamma V}{l}$  – при постановці суден у плавучий док,  $\gamma V$  – сила підтримки з боку води в доку. Полосове навантаження ДОП, яке сприймає ПБ від реакцій у місцях перетину з БГН, замінюється еквівалентним розподілом навантаження реакцій ДОП [8; 9]  $q_1 = \frac{R_{jCP}}{b_{jCP}}$ , де  $R_{jCP}$  – осереднені реакції

ДОП за осередньою відстанню між кільблоками  $b_{jCP}$  у межах перекриття. Реакції полосового навантаження на ПБ перекриття від спускової доріжки інтенсивністю  $q_2$  також слід розглядати через осереднені значення реакцій ПБ у місцях розміщення БГН. Розроблено комплекс комп'ютерно орієнтованих програм на основі М5М у задачах спуску суден та постановці в док.

Треба також зауважити, що, окрім забезпечення міцності балок днищових перекриттів, у процесах спуску судна з похилого поздовжнього стапелю і постановці в док треба контролювати відсутність втрати стійкості ослаблених вирізами стінок флорів, вертикального кіля, стрингерів, які зазнають значних стискаючих локальних навантажень. Виконання відповідних розрахунків стійкості цих елементів суднових днищових конструкцій із визначенням фактичних коефіцієнтів запасу стійкості [10] забезпечить безаварійну експлуатацію і ремонт суден.

**Висновки.** Розроблено алгоритм і розрахункову методику з розгляду задач розрахунку згинання перекриттів у процесі проектування суден, їх спуску з поздовжнього похилого стапелю та постановки в сухий або плавучий доки для виконання ремонтних робіт. Реалізована наближена балочна модель оцінки згинання суднових перекриттів на основі М5М, який поширений та універсалізований для практичних розрахунків з урахуванням таких факторів: нерегулярність розстановки балок перекриття, довільність їх граничних умов; розподіл навантаження

між балками обох напрямів і видів навантаження на перекриття; врахування деформації зсуву в стінках балок; врахування особливостей деформування днищових перекриттів суден при їх спуску з похилого поздовжнього стапелю і документування за рахунок розгляду полосового навантаження балок.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. РД 5.1033-80. Спуск судов. Прочность корпусов и спусковых устройств (1980). Москва : Изд-во стандартов. 165 с.
2. РД 5-076.011-82. Методические указания. Методы расчёта прочности. Расчёт на ЭВМ общей и местной прочности кораблей и судов при постановке в сухой и плавучий доки (1982). Ленинград : Судостроение. 237 с.
3. Козляков В.В., Финкель Г.Н., Хархурим И.Я. Проектирование доковых опорных устройств. Учебное пособие. Ленинград : Судостроение, 1973. 176 с.
4. Антоненко С.В. (2008) Обеспечение прочности, остойчивости и непотопляемости судов при ремонте. Владивосток : ДВПИ. 231 с.
5. Сердюченко А.М., Лугінін О.Є., Коршиков Р.Ю. та ін. Основи теорії пружності, будівельної механіки, міцності та вібрації суден. Навчальний посібник. Миколаїв : Видавництво НУК, 2012. 424 с.
6. Палий О.М. Справочник по строительной механике корабля. В 3-х томах. Ленинград : Судостроение. 1982. Т. 1. 376 с.
7. Лугінін О.Є., Філатова Н.А. Універсалізація використання методу п'яти моментів в розрахунках згину суднових перекриттів на ПК. *Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації та ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд* : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю, 20–21 травня 2018 р. Миколаїв : Видавництво «Торубара В.В.», 2018. С. 114–116.
8. Лугінін О.Є., Коршиков Р.Ю., Терлич С.В. Застосування інформаційних технологій в забезпеченні міцності і вібрації суден та їх конструкцій. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2018. Вип. 37. Серія: «Технічні науки». С. 120–128.
9. Лугінін О.Є., Терлич С.В., Коршиков Р.Ю. До розрахунку міцності днищових перекриттів з урахуванням особливостей при спусканні та постановці судна в док. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці* : матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, 24–25 вересня 2020 р. Миколаїв : НУК, 2020. С. 39–44.
10. Коростильов Л.І., Щедролюсєв О.В. Міцність суднового корпусу і його елементів при побудові, спуску та документуванні : навчальний посібник. Миколаїв : НУК, 2020. 68 с.

#### REFERENCES

1. РД 5.1033-80. (1980) Descent of ships. Strength of hulls and triggers [Spusk sudov. Prochnost' korpusov i spuskovykh ustroystv] Moscow: Publishing house of standards 165 p [In Russian].

2. ПД 5-076.011-82. Methodical instructions. Strength calculation methods. Computer calculation of the general and local strength of ships and vessels when placed in dry and floating docks (1982) [Metodicheskiye ukazaniya. Metody raschota prochnosti. Raschot na EVM obshchey i mestnoy prochnosti korably i sudov pri postanovke v sukhoy i plavuchiy doki] Leningrad: Shipbuilding. 237 p. [In Russian].
3. Kozlyakov V.V., Finkel G.N. & Kharkhurim I.Ya. (1973) Design of dock support devices. Tutorial. [Proyektirovaniye dokovykh opornykh ustroystv. Uchebnoye posobiye] Leningrad: Shipbuilding. 176 p. [In Russian].
4. Antonenko S.V. (2008) Ensuring the strength, stability and unsinkability of ships during repair [Obespecheniye prochnosti, ostoichivosti i nepotplyayemosti sudov pri remonte] Vladivostok: Far-East PI. 231 p. [In Russian].
5. Serdyuchenko A.M., Luginin O.Y., Korshikov R.Yu. & others (2012) Fundamentals of strength theory, structural mechanics, strength and vibration of ships. Tutorial [Osnovy teoriiy pruzhnosti, budivel'noyi mekhaniky, mitsnosti ta vibratsiyi suden. Navchal'nyy posibnyk] Nikolaev: NuOS Publishing. 424 p. [In Ukrainian].
6. Paliy O.M. (1982) Handbook of ship building mechanics. In 3. volumes. Leningrad: Shipbuilding. 376 p. [In Russian].
7. Luginin O.Ye. & Filatova N.A. (2018) Universalization of the use of the five-point method in the calculation of the bending of ship's floors on the PC. Proceedings of Ukrainian scientific and technical conference with international participation "Modern technologies for the design, construction, operation and repair of ships, marine equipment and engineering structures" (May 20–21, 2018) [Universalizatsiya vykorystannya metodu p'yaty momentiv v rozrakhunkakh z'hynu sudnovykh perekryttiv na PK. Materialy vseukrayins'koyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu «Suchasni tekhnolohiyi proektuvannya, pobudovy, ekspluatatsiyi ta remontu suden, mors'kykh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud» (20–21 travnya 2018 r.)]. Nikolaev: Publishing «Torubara V.V.». P. 114–116 [In Ukrainian].
8. Luginin O.Ye., Korshykov R.Yu. & Terlych S.V. (2018) The use of information technology in ensuring the strength and vibration of ships and their structures. Bulletin of the Azov State Technical University: Collection of scientific works. #. 37. Series: "Technical Sciences" [Zastosuvannya informatsiynykh tekhnolohiy v zabezpechenni mitsnosti i vibratsiyi suden ta yikh konstruksiy. Visnyk Pryazovs'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh prats'. Vyp. 37. Seriya: «Tekhnichni nauky».] Mariupol: «AzovSTU». P. 120–128 [In Ukrainian].
9. Luginin O.Ye., Terlych S.V. & Korshykov R.Yu. (2020) To calculate the strength of the bottom floors, taking into account the peculiarities of the descent and placement of the vessel in the dock. Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference "Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering" (September 24–25, 2020) [Do

rozrakhunku mitsnosti dnyshchovykh perekryttiv z urakhuvannyam osoblyvostey pry spuskanni ta postanovtsi sudna v dok. Materialy KHI Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi» (24–25 veresnya 2020 r.)] Nikolaev: NuOS. P. 39–44 [In Ukrainian].

10. Korostyl'ov L.I., Shedrolosiev O.V. (2020) The strength of the ship's hull and its elements in the construction, descent and docking: Textbook [Mitsnist' sudnovoho korpusu i yoho elementiv pry pobudovi, spusku ta dokuvanni: Navchal'nyy posibnyk] Nikolaev: NuOS. 68 p. [In Ukrainian].

## СУЧАСНА МЕТОДИКА ОЦІНКИ РІВНЯ БЕЗПЕКИ СУДНА ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ

О.М. Мельник<sup>1</sup>, Ю.В. Бичковський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., капітан далекого плавання,  
старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-9886-6069

<sup>2</sup>капітан далекого плавання,  
старший викладач кафедри навігації і керування судном,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна  
ORCID ID: 0000-0003-1459-9029

### Анотація

**Вступ.** Безпека на транспорті є основним пріоритетом, не виняток також сфера торговельного мореплавання. Забезпечення безпеки судноплавання завжди було серед актуальних питань, яким приділяється підвищена увага. Серед причин, що зумовлюють виникнення аварійних ситуацій на флоті та мають безпосередній вплив на показники статистичних даних з аварійності та загибелі суден окреме місце займає людський фактор. На морське судно в процесі експлуатації як об'єкт безпеки мореплавання цей чинник має істотний вплив. **Мета.** Мета статті полягає в дослідженні поняття «безпека судна», визначення складників людського фактора, його впливу на показники аварійності світового флоту, встановлення сукупності факторів, що формують людський фактор, його значення для безпеки мореплавання та шляхи її підвищення. **Результати.** У роботі розглядаються теоретичні аспекти поняття безпеки судна, сформульовано визначення людського елементу та сукупність факторів, що спряють його формуванню. Запропоновано авторський підхід щодо врахування людського фактора в оцінці ризиків. **Висновки.** У результаті дослідження було визначено основні фактори, що становлять загрозу безпеці судна, проаналізовано нормативні документи та принципи їх застосування щодо забезпечення моніторингу безпеки судна. Визначено складники впливу на людський елемент та індивідуальні фактори людського чинника. Представлені результати експерименту щодо рівня обізнаності членів плавскладу стосовно людського фактора.

**Ключові слова:** безпека судна, людський фактор, втома, стрес.

MODERN METHODS OF SHIP SAFETY LEVEL ASSESSMENT  
AND WAYS OF ITS IMPROVEMENT

O.M. Melnyk<sup>1</sup>, Yu.V. Bychkovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD, Master Mariner,

Senior Lecturer at the Department of Seamanship and Maritime Safety,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-9886-6069

<sup>2</sup> Master Mariner,

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Ship Handling,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-1459-9029

**Summary**

**Introduction.** Transport safety is one of the top priorities in the field of international shipping. Ensuring shipping safety has always been among the topical issues that are given increased attention. Among the reasons causing accidents in the shipping industry and directly influencing the statistics of accidents and fatalities, the human factor has a special place. This aspect has a significant impact on a seagoing vessel during its operation as an object of navigation safety. **Purpose.** The study of the concept of safety of ships, defining the components of the human factor, its impact on the accident rate of the world shipping, establishing a set of factors that form the human factor, its importance for the safety of navigation and ways to improve it. **Results.** The paper considers the theoretical aspects of the concept of ship safety, formulates the definition of the human element and a set of factors that contribute to its formation. The author's approach to taking into account the human factor in risk assessment is proposed. **Conclusions.** As a result of the study, the main factors that pose a threat to ship safety are identified; regulations and principles of their application to ensure the safety of the vessel are analyzed. The components of human factor exposure and individual human factors have been determined. The results of the experiment on the level of crewmembers' awareness of the human factor are presented.

**Key words:** ship's safety, human factor, fatigue, stress.

**Вступ.** Морське співтовариство визнає проблему людського фактора як одну з основних, що має позитивну динаміку зростання протягом певного часу, втім проблема залишається маловивченою та не вирішеною в багатьох аспектах. В основі вивчення феномена людського фактора в загальній практиці використовується психологічний підхід як основний, і сам фактор вважається психологічним.

**Постановка проблеми.** Аварійність морських суден та її наслідки становлять серйозну загрозу щодо берегової інфраструктури, населення та морського середовища, тому аналіз причин та розробка методів підвищення безпеки судна становлять практичний інтерес та потребують додаткових наукових досліджень. Із приводу цього забезпечення належного рівня безпеки судноплавства має досить актуальне значення та є проблемою, що потребує ґрунтовного аналізу з метою визначення шляхів її підвищення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням підвищення безпеки на морському транспорті, забезпеченню безпеки експлуатації суден завжди

приділяли увагу вчена спільнота і міжнародна міжурядова морська організація, зокрема в нормативних документах та щорічних звітах [1; 2; 4; 5]. У роботах [3; 6] висвітлюються питання забезпечення безпеки в судноплаванні та аналіз впливу людського фактора на аварійність суден. У роботі [7] наведені правові засоби зменшення впливу людського фактора в забезпеченні безпеки мореплавання, оцінка емоційного навантаження на судноводіїв в умовах колективного руху та впливу людського фактора – у роботах [10–12]. Хоча велика кількість дослідників віддають питанню безпеки судна постійну увагу, проблема визначення складників людського фактора в процесі оцінювання ризиків і зменшення його негативного впливу на безпеку судноплавання вимагає комплексного підходу і потребує додаткового вивчення.

**Виклад основного матеріалу.** Сукупність факторів, що становить загрозу безпеці судна у процесі експлуатації, можна умовно поділити на три групи: погодні умови, технічні характеристики судна та людський фактор (рис. 1).

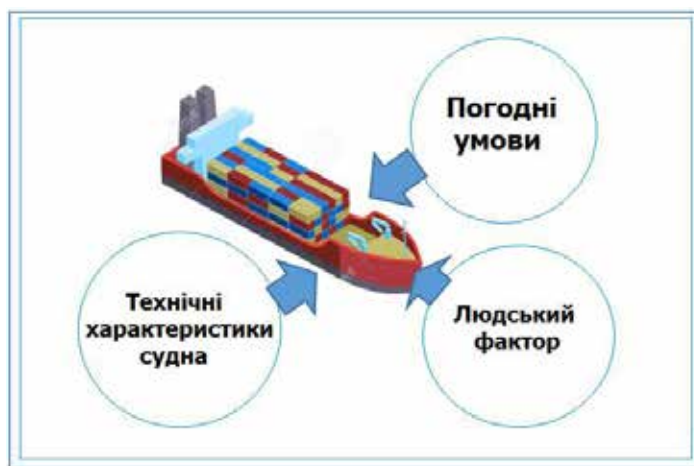


Рис. 1. Основні фактори впливу на безпеку судна

Аналізуючи статистичні дані аварійності морських суден у світовому масштабі останнього десятиріччя, необхідно зазначити, що загальна кількість аварій суден за останні роки має тенденцію до постійного зниження, у той же час обсяги наслідків від цих аварій постійно зростають.

Цей факт пояснюється тим, що технічні характеристики і головні розміри сучасних суден та вартість їх будівництва в поєднанні з обсягами перевезених вантажів, велика кількість з яких дуже небезпечна до довкілля, в комплексі значно підвищує рівень економічних збитків пропорційно кількості аварій морських суден (рис. 2).

Термін «безпека» має такий широкий спектр тлумачення, навіть у професійних працівників морської індустрії визначення цього питання може викликати певні складнощі. Але коли ми говоримо про «безпеку судноплавання», то маємо на увазі насамперед виконання вимог конвенцій та резолюцій ІМО, адміністрації держави прапора судна, вимог судноплавної компанії тощо (табл. 1).

Таблиця 1

Співвідношення конвенцій та їх призначення

Міжнародні угоди щодо безпеки торговельних суден	Призначення
Конвенція СОЛАС-74, з поправками, включаючи відповідні кодекси	Вимагає встановлення на судні відповідного обладнання і устаткування, проведення періодичних перевірок, тренувань, заходів із безпеки перевезень вантажів, охорони судна тощо;
Конвенція ПДНВ-78, з поправками	вимагає належного підходу до процесу дипломування та сертифікації плавскладу, крім того, встановлює правила несення ходової та стояночної вахти для палубного і машинного персоналу;
Конвенція МППЗС-72, з поправками	встановлює порядок розходження суден у морі та вимоги до встановлення вогнів та знаків на судах, відповідно до їх типу, довжини;
Конвенція МАРПОЛ 73/78, з поправками	вимагає підтримання постійних заходів щодо запобігання забруднення морського середовища з суден установки необхідного обладнання, дотримання відповідних положень щодо охорони довкілля від членів екіпажів суден;
Конвенція щодо Вантажної марки 1966 року, з поправками	вимагає дотримання необхідної висоти надводного борту, забезпечення герметичності судна в належному стані;
ІМО Резолюції № 947(23) від 27.11.2003 року «Бачення людського елемента, принципи та цілі організації»	вимагає постійно брати до уваги фактор «людського елемента», технологій виконання завантаження, перевезення та розвантажування вантажів вказаних у керівництвах ІМСBC Code, ISGOTT та інших
Кодекс з остійності непошкодженого судна 2020 року, з поправками	нормує вимоги щодо остійності судна у будь-яких перевезеннях, під час виконання спеціального перевезення зернових вантажів, згідно з вимогами ІМО Резолюції № 23 (59) від 23.05.1991 року, з поправками

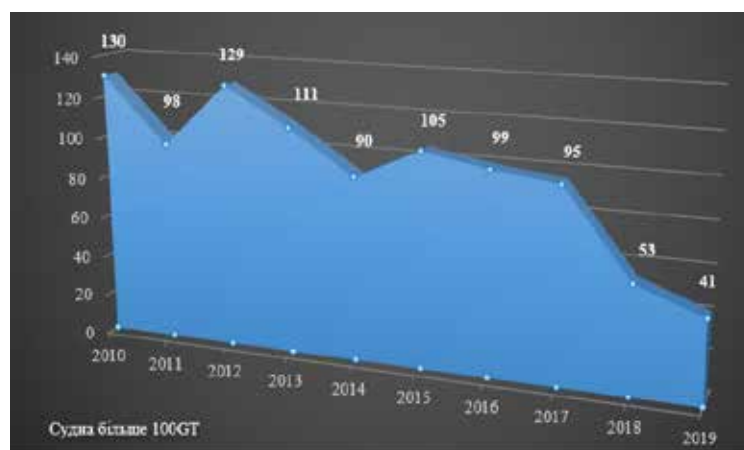


Рис. 2. Діаграма статистики загибелі суден, 2019 р. [1]

Безумовно, цей перелік не є повним, але на цьому етапі, на думку авторів, перелічених компонентів достатньо для підкреслення значення нормативної бази в цьому аспекті. Вимоги мають постійно контролюватися з боку широко кола організацій, які мають затверджені повноваження для виконання цих процедур (рис. 3).



Рис. 3. Забезпечення моніторингу безпеки судна

Паралельно до цього процесу впроваджуються новітні технології в суднобудуванні щодо змін у конструкції морських суден, які підвищують міцність їх корпусу, здійснюються розробки архітектурних форм корпусу суден для перевезення особливо небезпечних вантажів (наприклад, групи А, що мають високий ризик розріджування), підвищення автоматизації суден, встановлюється навігаційне обладнання нового покоління, устаткування морського зв'язку тощо. Тому відповідні комітети ІМО вносять постійні зміни в Конвенцію СОЛАС-74, спрямовані на підвищення безпеки мореплавства й охорону людського життя на морі. Але разом із тим треба зазначити, що суттєвих змін у питанні забезпечення належного рівню безпеки суден внаслідок цього не спостерігається. Нині стає очевидним, що збудований механізм контролю за безпекою не дає змоги досягти бажаних результатів. А це означає, що подолання наявних проблем, уникнення ризиків і підвищення безпеки судноплавства до максимального рівня не може бути забезпечено.

З огляду на цю реальність, необхідно розроблення нових підходів, що пропонують розгляд загальної безпеки мореплавства та шляхи її підвищення в іншій площині, а саме базуючись на принципі керування «людським елементом». До речі треба зазначити той факт, що для розв'язання цієї проблеми у 2003 році, ІМО прийняло Резолюцію № 947(23) від 27.11.2003 року «Бачення людського елементу, принципи та цілі організації». Цим документом ІМО чітко довело до усіх сторін важливість цього фактора в сучасному суднопластві. З огляду на це немає сумнівів у тому, що домінуючим фактором впливу на аварійність світового флоту є саме людський чинник. Ця теза також звучить практично на всіх проведених заходах, присвячених питанню аварійності.

Сукупність факторів, що формують «людський елемент», представлена на рисунку 4, де окреслено п'ять складників: індивідуальні людські чинники, судові

організаційні фактори, берегові організаційні фактори, фактори навколишнього середовища і робочі фактори. Завдяки постійному надзору від контролюючих органів стає можливим мінімізувати небезпеку від судових організаційних факторів та берегових організаційних факторів у багатьох випадках. Також стає можливим суттєво зменшити небезпеки від робочих факторів, але дуже малою мірою вплинути на фактори навколишнього середовища. Таким чином залишається спроба коригування системи індивідуальних людських факторів, причому в разі певного прогресу в цьому питанні буде цілком, вочевидь, очікуване зниження загальної аварійності світового флоту.

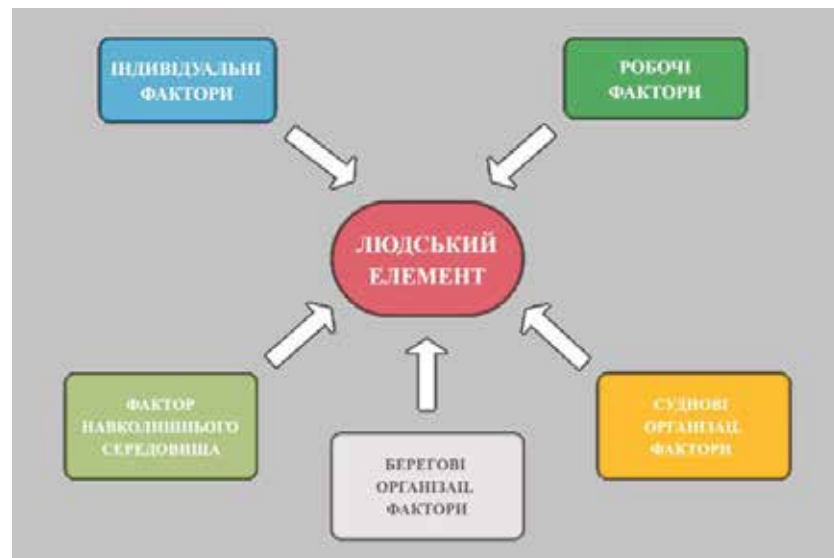


Рис. 4. Складники впливу на «людський елемент» [2]

У процесі виконаного дослідження такі фактори також варто включати до терміна «індивідуальні фактори людського чинника», а саме: стрес, втома, спілкування, ситуаційна обізнаність, культурні розбіжності та лідерство (рис. 5).

Для розуміння ситуації взагалі в цій публікації ми надаємо кілька відповідей на прості запитання, які пояснюють реальну ситуацію з головними індивідуальними факторами згідно з проведеним експериментом [9]. Для аналізу ситуації автори використовували відому формулу Таро Ямане (Ямане, 1973) з рівнем довіри 95% згідно з формулою (1):

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \quad (1)$$

де:

n – визначена кількість респондентів;

N – кількість українських моряків, які працюють на судах;

e – очікувана помилка під час досліджень.

Згідно з проведеним експериментом з опитування членів екіпажів морських суден визначено, що більшість має розуміння щодо поняття стресу, але не має базових знань про види стресу, інструменти контролю стресу, техніку зменшення рівня стресу під час рейсу.



Рис. 5. Індивідуальні фактори людського чинника

Інше опитування було проведено стосовно розуміння фактора втоми. Автори ставили за мету визначення рівню обізнаності українських моряків щодо ведення розрахунків існуючої втоми під час виконання рейсу. Це питання неодноразово піднімалося ІМО і, як слідує з тексту Циркуляру КБМ ІМО 1/Circ.1598 від 24 січня 2019 року «Керівництво втомою», це розуміння того, що має бути постійно впроваджено серед членів екіпажів на суднах світового флоту.

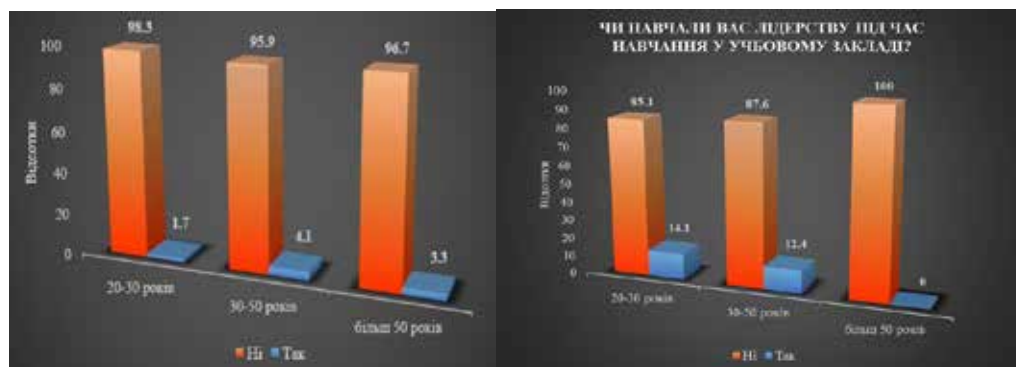


Рис. 6. Розуміння видів стресу серед українських моряків, згідно з проведеним дослідженням та аналізом питання лідерства в українських навчальних закладах [9]

Як відомо, сучасний торговельний флот являє собою велику кількість багатонаціональних суднових екіпажів. Це викликано цілою низкою причин. Наприклад, компанії, які підтримують гендерне різноманіття в керівних командах, мали на 21% більше шансів перевершити рентабельність та на 27% частіше мали вищу цінність. Компанії, що перебувають у найвищому ряду щодо етнічного/культурного

різноманіття у виконавчих командах, мали на 33% більше шансів отримати рентабельність у провідних галузях. Компанії в нижньому ряду як за гендерним, так і за етнічними/культурними різноманіттями мали на 29% менше шансів досягти прибутковості, вищої за середню [5]. Це яскраво пояснює той факт, що нині ми спостерігаємо прихильність судноплавних компаній світу до організації багатонаціональних екіпажів на судах і суттєвої знижки числа мононаціональних екіпажів суден. На жаль, питанню культурної різноманітності надають дуже мало уваги під час навчання в українських навчальних закладах.

З наданих вище результатів опитування українських моряків щодо головних факторів «індивідуальних факторів людського елемента» видно, що ситуація цілком підпадає під оцінку «погано». Наші опоненти можуть заперечити, що цей висновок є погано підтвердженим, але це не ставилось за мету в цій статті, тобто автори не намагалися наводити розширений опитувальник із відповідями українських моряків.

У рамках цього дослідження були поставлені інші цілі. Автори торкнулися питання індивідуальних чинників людського елемента та надали часткового результату щодо них для розуміння подальших кроків. Одним із найважливіших факторів у системі підтримки загальної безпеки судна є виконання процедури оцінки ризику (risk assessment). Ця процедура є останнім кроком безпосередньо перед виконанням кожної суднової операції. Неважливо, будь-то несення вахти, чи виконання суднової роботи. Нині у світі не існує компанії, де така процедура не була б впроваджена. Вона базується на принципі «світлофора» із зеленим, жовтим і червоним кольором. Відповідно до кольору припускається рівень небезпеки. Звичайно, простий, доступний у розумінні принцип. Однак у цієї простоти є дуже велика небезпека, на котру ми нині маємо звертати увагу, – це вплив індивідуальних факторів людського елемента на розуміння суті та якості виконання оцінки ризику. Як показує практика, здебільшого у процесі виконання оцінки ризику представлені форми або взагалі не враховують вплив людського елемента, або зміст цієї ідеї дуже розмитий, відсутнє пояснення, тощо. Як наслідок, існує багато підтверджень того, що після виконання оцінки ризику судно у змозі потрапити в аварійну ситуацію, пов'язану з низькою якістю виконання такої оцінки.

**Висновки.** Необхідно підкреслити, що проблема аварійності суден унаслідок людського фактору з-поміж тих факторів, що неналежно враховані, залишається не досить вивченою. Питання якісної оцінки ризику з урахуванням індивідуальних факторів людського елемента – це реальна можливість підвищити загальну безпеку міжнародного судноплавства та зменшити втрати від аварійності суден, а отже, забезпечити уникання негативного прояву від аварій на морське середовище. Саме тому впровадження в процедуру оцінки ризику врахування індивідуальних факторів людського чинника є цілком необхідною та реальною мірою, яка дасть змогу зменшити кількість навігаційних аварій у світі. З приводу цього розуміння сутності індивідуальних факторів людського елемента серед екіпажів суден з українських моряків необхідно визначити необхідність докорінної зміни підходу до методик викладання комплексу дисципліни в морських навчальних закладів, тренажерних центрах підготовки моряків, підвищення якості програми підготовки на курсах підвищення кваліфікації командного складу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Allianz Global Corporate & Specialty Safety and Shipping (2020) “An annual review of trends and developments in shipping losses and safety”. Review 2020.
2. International Maritime Organization (2003) Human element vision, principles and goals for the organization. IMO Resolution A.947 (23) adopted on 27 November 2003.
3. Правила обеспечения безопасности в судоходстве современности. *Морской портал для любителей и профессионалов*. 2016. URL: <https://sea-man.org/bezopasnost-moreplavaniya-v-sovremennom-sudohodstve.html>.
4. International Maritime Organization (IMO) MSC.1/Circ.1598 dated 24 January 2019 «Guidelines on Fatigue».
5. McKinsey & Company (2018) Delivering through diversity. McKinsey & Company, 55 East 52nd Street, New York, New York 10022.
6. Celik, M., Cebi, S. Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. In: Accident Analysis & Prevention, 2009, 66–75 pp. <https://www.newsinenglish.no/2019/06/24/navy-confirms-frigate-scraping/>
7. Плачкова Т.М. Людський фактор у забезпеченні безпеки мореплавства: правові засоби зменшення впливу. *Lex Portus* : юрид. наук. НУ «ОЮА», ГО «МА Святий Миколай». 2017. № 2. С. 182–197.
8. Григорьев Н.Н., Сигаев Д.Б. Формы и эффективность международной морской организации при борьбе с усталостью моряков. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. 2017. № 3 (43). С. 506–515.
9. Власні авторські дослідження, виконані авторами публікації протягом 2017–2020 років серед екіпажів суден з українськими моряками.
10. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Шуленина А.В. Оценка эмоциональной нагрузки на судоводителей в условиях коллективного движения. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. 2019. № 11 (4). С. 640–651.
11. Фадюшин С.Г. Человеческий фактор судовождения в аспекте кибернетического подхода. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. 2018. № 10 (5). С. 922–935.
12. Шахов А., & Бичковский Ю. Оцінка впливу людського елементу на безпеку морського судноплавства. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2020. № 2 (71). С. 102–112. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-2-102-112>.

REFERENCES

1. Allianz Global Corporate & Specialty Safety and Shipping (2020) “An annual review of trends and developments in shipping losses and safety”. Review 2020.

2. International Maritime Organization (2003) Human element vision, principles and goals for the organization. IMO Resolution A.947 (23) adopted on 27 November 2003.
3. Rules for ensuring safety in modern shipping. Marine portal for amateurs and professionals. 2016. URL: <https://sea-man.org/bezopasnost-moreplavaniya-v-sovremennom-sudohodstve.html>.
4. International Maritime Organization (IMO) MSC.1 / Circ. 1598 of 24 January 2019, Guidelines on Fatigue.
5. McKinsey & Company (2018) Delivering through diversity. McKinsey & Company, 55 East 52nd Street, New York, New York 10022.
6. Celik, M., Cebi, S., (2009) Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. In: Accident Analysis & Prevention, 66–75.
7. Plachkova T., (2017) The human factor in ensuring the safety of navigation: legal means of reducing the impact. Lex Portus: jurid. Science. OU OYUA (2), 182–197.
8. Grigoriev N., Sigaev D., (2017). Forms and effectiveness of the International Maritime Organization in combating seafarers' fatigue. [Formy i effektivnost mezhdunarodnoi morskoi organizatscii pri borbe s ustalosti moriakov] Bulletin of the State University of the Navy and River Fleet. Admiral SO Makarov, (3 (43)), 506–515.
9. Own author's researches performed by the authors during 2017–2020 years among the crew members on board of ships with Ukrainian seafarers.
10. Grinyak V., Devyatisilny A., Shulenina A. (2019). Assessment of the emotional load on the captains in the conditions of collective movement. [Otsenka emotsionalnoi nagruzki na sudovoditelei v usloviakh kollektivnogo dvizheniia] Bulletin of the State University of the Navy and River Fleet. Admiral S. Makarov, 11 (4), 640–651.
11. Fadyushin S. (2018). The human factor of navigation in the aspect of the cybernetic approach. [Chelovecheskii faktor sudovozhdeniia v aspekte kiberneticheskogo podkhoda] Bulletin of the State University of the Navy and River Fleet. Admiral SO Makarov, 10 (5), 922–935.
12. Shakhov, A., & Bichkovsky Yu., (2020). Assessment of the impact of the human element on the safety of maritime navigation. [Otsinka vplyvu liudskoho elementu na bezpeku morskoho sudnoplavstva] Development of methods of management and administration in transport, (2 (71), 102–112. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-2-102-112>.

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОПОЛІТИЧНИХ ПОДІЙ  
НА ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНА**

**Л.В. Пізінцалі<sup>1</sup>, О.М. Шумило<sup>2</sup>, Н.І. Александровська<sup>3</sup>, О.І. Россомаха<sup>4</sup>,  
О.А. Россомаха<sup>5</sup>, Т.В. Рабоча<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, професор кафедри забезпечення військ (сил),  
*Військова академія (м. Одеса), Одеса, Україна,*

доцент кафедри технічного обслуговування і ремонту суден,  
*Навчально-науковий інститут морського флоту  
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,*  
ORCID ID: 0000-0002-8046-0917

<sup>2</sup>к.т.н., професор,  
проректор із навчально-організаційної роботи,  
доцент кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації,  
*Навчально-науковий інститут морського флоту*

*Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,*  
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

<sup>3</sup>к.т.н., доцент,  
доцент кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації,  
доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,  
заступник директора,

*Навчально-науковий інститут морського флоту  
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,*  
ORCID ID: 0000-0001-6591-2068

<sup>4</sup>старший викладач кафедри технічного обслуговування і ремонту суден,  
*Навчально-науковий інститут морського флоту  
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,*  
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

<sup>5</sup>старший викладач кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації,  
*Навчально-науковий інститут морського флоту  
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,*  
ORCID ID: 0000-0002-0230-9453

<sup>6</sup>к.т.н., доцент,  
доцент кафедри забезпечення військ (сил)  
*Військова академія (м. Одеса), Одеса, Україна,*  
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

**Анотація**

**Вступ.** Стрімкий розвиток світової економіки в останні десятиліття призвів до значного скорочення життєвого циклу (ЖЦ) складних технічних систем, насамперед морських суден. Нині в умовах широкого використання системного аналізу в теорії і практиці управління складною, багатокомпонентною системою, якою є судно, виникають проблеми, пов'язані не тільки з властивостями складових частин судна, але і з закономірностями функціонування судна загалом – проблемами забезпечення та управління ЖЦ судна. Як основна модель під час вирішення задач підвищення ефективності експлуатації суден зазвичай використовується модель визначення вартості ЖЦ судна. Використання цієї моделі необхідне для вирішення

значного кола задач. Однак у зв'язку із значною тривалістю ЖЦ невизначеність параметрів моделі дуже висока, що призводить до значних похибок в розрахунку повної вартості. Запроваджене дослідження націлене на аналіз впливу геополітичних подій на вартість основної експлуатаційної витрати моделі – вартість палива.

**Метою дослідження** є аналіз впливу геополітичних подій на вартість основної експлуатаційної витрати моделі вартості ЖЦ судна – вартість палива.

**Результати.** У роботі проведено аналіз впливу геополітичних подій у світі на вартість основної експлуатаційної характеристики ЖЦ суден – паливо-мастильних матеріалів. Основною метою оцінки впливу є уявлення на основі об'єктивних подій та інформації, необхідних для прийняття обґрунтованого рішення щодо проведення аналізу впливу. Оцінка впливу може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням статистичних методів.

**Висновки.** У роботі проведено аналіз впливу геополітичних подій за останні 50 років та перші три місяці 2021 року на ціну палива, що є основною експлуатаційною складовою частиною вартості ЖЦ судна.

**Ключові слова:** Україна, модель вартості життєвого циклу, життєвий цикл, геополітичні події, вартість палива.

#### ANALYSIS OF THE IMPACT OF GEOPOLITICAL EVENTS ON THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE VESSEL

L.V. Pizintali<sup>1</sup>, O.M. Shumylo<sup>2</sup>, N.I. Aleksandrovska<sup>3</sup>, O.I. Rossomakha<sup>4</sup>,  
O.A. Rossomakha<sup>5</sup>, T.V. Rabocha<sup>6</sup>

<sup>1</sup>PhD, Associate Professor, Professor at the Department of Troops (Forces),  
Odesa Military Academy, Odesa, Ukraine,  
Associate Professor at the Department of Ship Maintenance and Repair,  
Educational and Scientific Institute of the Navy  
of Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-8046-0917

<sup>2</sup>PhD, Professor,  
Vice-rector for Educational and Organizational Work,  
Associate Professor at the Department of Ship Power Plants and Technical Operation,  
Educational and Scientific Institute of the Navy  
of Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

<sup>3</sup>PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Ship Power Plants and Technical Operation,  
Associate Professor at the Department of Navigation and Maritime Safety,  
Head's Assistant,  
Educational and Scientific Institute of the Navy  
of Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0001-6591-2068

<sup>4</sup>Senior Lecturer at the Department of Ship Maintenance and Repair,  
Educational and Scientific Institute of the Navy  
of Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

<sup>5</sup>Senior Lecturer at the Department of Ship Power Plants and Technical Operation,  
Educational and Scientific Institute of the Navy  
of Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-0230-9453

<sup>6</sup>PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Troops (Forces)  
Odesa Military Academy, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

### **Summary**

**Introduction.** *The rapid development of the world economy has led to a significant reduction in the life cycle (LC) of complex technical systems, especially ships in recent decades. The systematic analysis is used extensively in the theory and practice of managing a complex, multi-component system, which is a ship nowadays. There are problems related not only to the properties of the ship's components, but also to the laws of the ship as a whole. The model of defining the life cycle cost of vessels is usually used as the basic one of increasing the efficiency of ship operation. The use of this model is necessary to solve a wide range of problems. However, due to the significant duration of the LC, the uncertainty of the model parameters is very high. It leads to significant errors in calculating the total cost. The introduced article is devoted to the assessment of the geopolitical events impact on the main operating model cost (the fuel cost).*

**The aim of this paper** is to analyze the impact of geopolitical events on the main operating model cost of the vessel LCC – the cost of fuel.

**Results.** *The research highlights the impact of geopolitical events in the world on the cost of the main operational characteristics of ship life cycle, namely the fuels and lubricants. The main purpose of impact assessment is to present on the basis of objective events and information necessary to make an informed decision to conduct an impact analysis. The impact assessment can be performed with varying degrees of depth and detail using statistical methods.*

**Conclusions.** *The impact of geopolitical events over the past 50 years and the first three months of 2021 on the price of fuel has been analyzed. It should be noted that this is the main operational component of the vessel life cycle cost.*

**Key words:** *Ukraine, life cycle cost model, life cycle, geopolitical events, fuel cost.*

**Вступ.** Стрімкий розвиток світової економіки в останні десятиліття призвів до значного скорочення життєвого циклу (ЖЦ) складних технічних систем, насамперед морських суден. Нині зустріти на ринку морських перевезень судно старше 10–15-річного віку дуже складно. За даними інформаційно-аналітичного агентства *Sea News*, найстаріше судно, що відправили на утилізацію у 2019 році, побудоване у 1954 році, а наймолодше – у 2016 році [1].

Нині в умовах широкого використання системного аналізу в теорії і практиці управління складною, багатокомпонентною системою, якою є судно, виникають проблеми, пов'язані не тільки з властивостями складових частин судна, але і з закономірностями функціонування судна загалом – проблемами забезпечення та управління ЖЦ судна. Як основна модель у вирішенні задач підвищення ефективності експлуатації суден зазвичай використовується модель визначення вартості ЖЦ судна [2–4]. Використання цієї моделі необхідне для вирішення значного кола задач [3; 4], найбільш актуальною з яких, нині, на думку авторів, є економічна складова частина вартості ЖЦ судна – вартість палива.

**Постановка проблеми.** Однак у зв'язку із значною тривалістю ЖЦ невизначеність параметрів моделі дуже висока, що призводить до значних похибок у розрахунку повної вартості. Запроваджене дослідження націлене на аналіз впливу геополітичних подій на вартість основної експлуатаційної витрати моделі вартості ЖЦ судна – палива.

Ринок нафти – це глобальний ринок, від його впливу не можуть бути ізольовані будь-які країни.

У зв'язку з цим перетворення глобального нафтового ринку зачіпає інтереси широкого кола економічних суб'єктів, а дослідження сутності та ролі цього процесу є актуальною науково-практичною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наведена вище задача знаходиться в центрі уваги фахівців різних галузей знань вже тривалий час [2–4].

У роботі [2] в якості концепції запропоновано, що будь-яка система, незалежно від її масштабу і виду, проходить весь свій ЖЦ у суворій послідовності, відповідно до визначеного порядку. Крім того, сформульовані основні вимоги до означених моделей.

У роботі [3] в моделі визначення вартості ЖЦ судна автори врахували витрати і доходи від утилізації, що дозволяє визначити економічно обґрунтований момент часу утилізації судна.

У роботі [4] автори вдосконалили модель визначення вартості ЖЦ судна за рахунок впровадження методів аналізу ризиків.

Щодо складників моделі, то більше уваги приділено вартості побудови судна і значно менше – впливу геополітичних подій на складник моделі ЖЦ судна – вартість палива.

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є аналіз впливу геополітичних подій на вартість основної експлуатаційної витрати моделі вартості ЖЦ судна – вартість палива.

**Виклад основного матеріалу.** Основною експлуатаційною характеристикою ЖЦ судна є вартість палива. Морські судна й контейнеровози витрачають до 4,4 мільйонів баррелів нафти на добу, що становить 10% від витрачання нафти у всьому транспортному секторі, а весь міжнародний торговий флот – більше 400 мільйонів тон морського палива щорік [5]. Щорічний приріст на сорти палива, що котируються: IFO180, IFO380, MGO, становить приблизно 2,6%.

З 1 січня 2020 року відповідно до вимог Міжнародної морської організації (ІМО) вміст сірки в судновому паливі обмежується до 0,5% поза зонами особливого контролю (ЕСА). Раніше, з 1 січня 2015 року вміст сірки в судновому паливі в зонах ЕСА було обмежено до 0,1%.

Вимоги ІМО, у буквальному сенсі слова, змусили морське світове співтовариство шукати нові альтернативні види морського палива [6]:

- СПГ (зріджений природний газ, попит на який із кожним роком росте);
- ULSFO (ультра низькосірчастий мазут, із максимально допустимим вмістом сірки до 0,1%);
- VLSFO (дуже низькосірчастий мазут, із максимально допустимим вмістом сірки до 0,5%);
- HSFO (високосірчастий мазут, із максимально допустимим вмістом сірки до 3,5%) з установкою скрубера та ін.

Прогнозований світовий попит на різні види палива представлено на рис. 1.

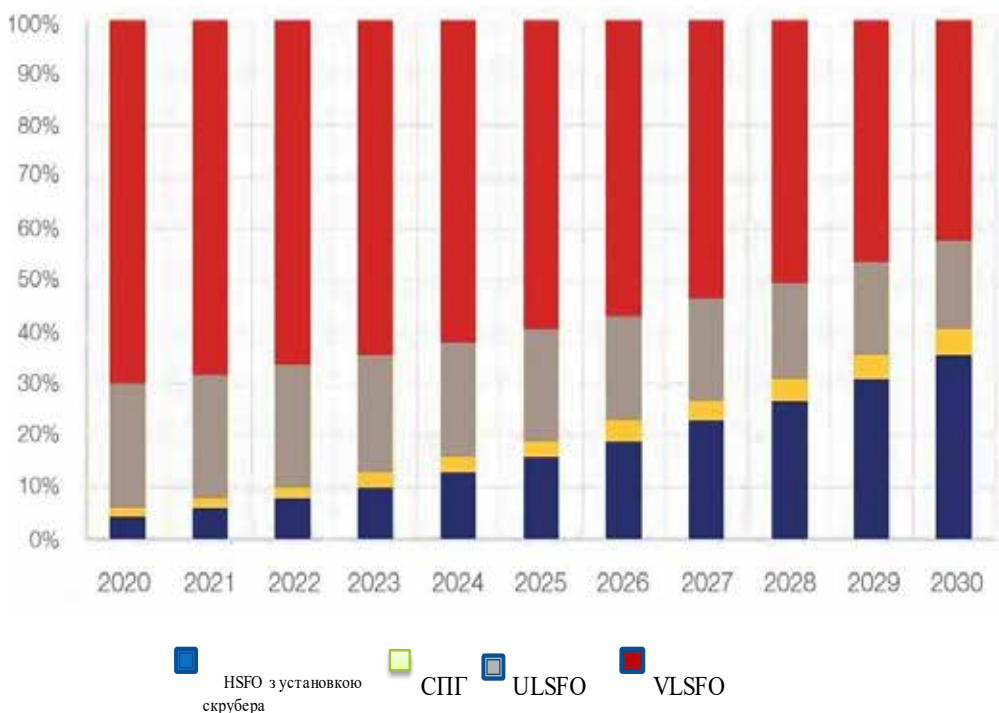


Рис. 1. Прогнозований світовий попит на різні види палива  
Джерело: ПортНьюс

На ціну палива впливає ціна нафти, яка дуже залежить від геополітичних подій, що відбуваються у світі.

Автори статті провели аналіз впливу геополітичних подій на ціну нафти (рис. 2) за останні 50 років на підставі даних [7–11] та описали окремо вплив геополітичних подій на ціну нафти за три місяці 2021 року (таблиці: 1, 2, 3) на підставі даних [12–26].

Таблиця 1

**Вплив геополітичних подій на ціну нафти у січні 2021 року**

Дата	\$	Події у світі
1	2	3
04.01.	Пн50,67	Падіння ціни на нафту пов'язане з річницею вбивства Касима Сулеймані. У Багдаді і Тегерані пройшли багатотисячні мітинги. Крім того, на падіння вплинуло відновлення зустрічі ОПЕК+, що зайшли в глухий кут, між нафтовидобувними державами щодо збільшення нафтовидобутку в лютому.
05.01.	Вт53,57	Ціни на нафту зростають на тлі рішення ОПЕК+ зберегти рівень видобутку у лютому на рівні січня. Напередодні Саудівська Аравія оголосила про додаткове зниження видобутку у лютому-березні.
06.01.	Ср54,15	
07.01.	Чт54,52	Джозеф Байден обраний Конгресом США новим президентом.

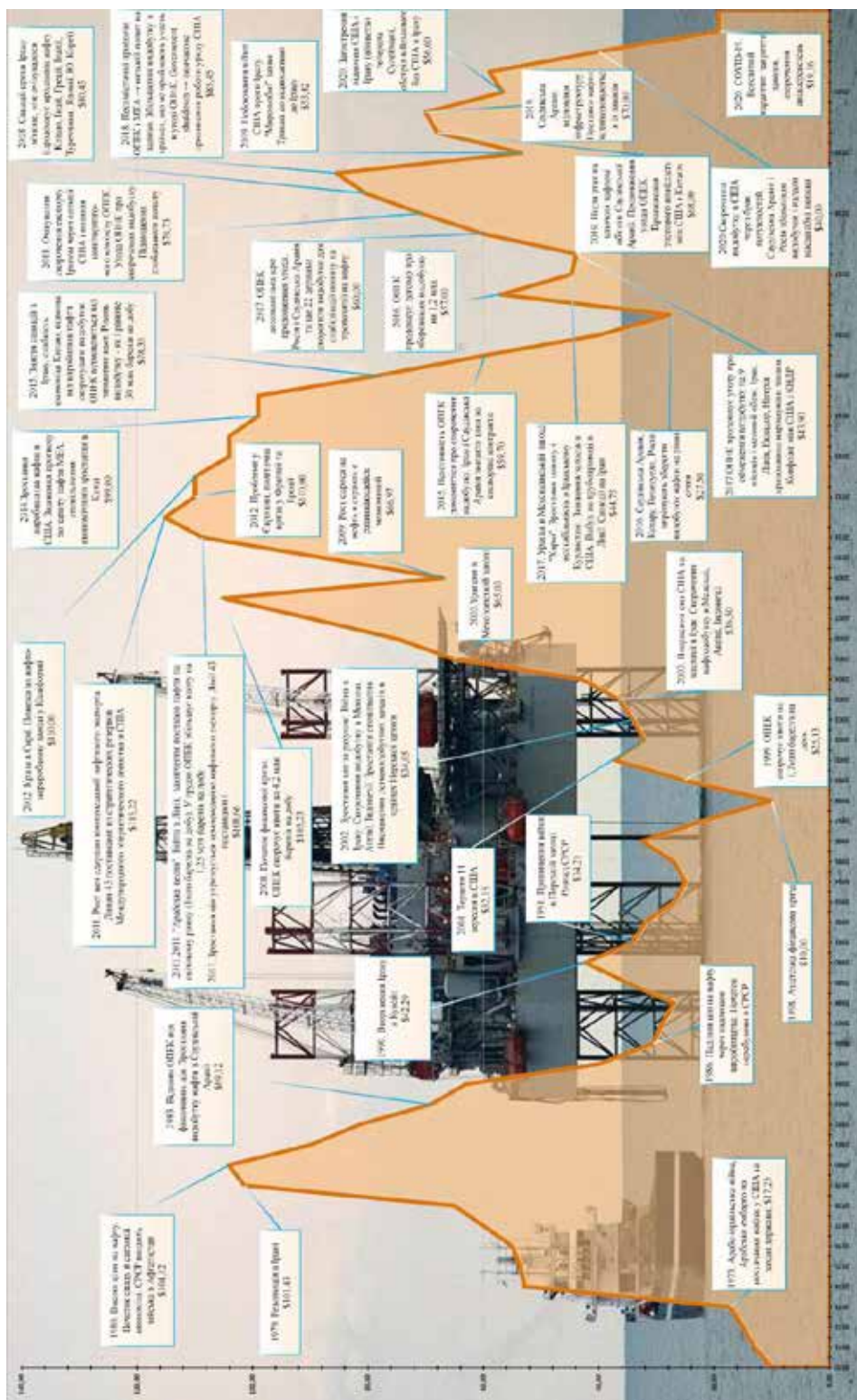


Рис. 2. Вплив геополітичних подій на ціну нафти з 1970 по 2020 роки  
Розроблено авторами на основі [7–11]

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ  
№ 2(9), 2021

Закінчення табл. 1

1	2	3
08.01.	Пт56,36	Зростання нафти зумовлено захоплення будівлі Конгресу США прихильниками Дональда Трампа у Вашингтоні, округ Колумбія, з метою відкинути офіційні результати президентських виборів 2020 року і підтримати вимогу Трампа до віце-президента Майка Пенса і Конгресу не визнавати перемогу Джо Байдена на виборах 2020 року. Під час штурму загинули 5 осіб.
10.01.	Вт55,97	Ціни на нафту знижуються у зв'язку з новими побоюваннями щодо світового попиту на паливо через суворі коронавірусні обмеження в Європі і посилення заходів у Китаї.
11.01.	Пн55,62	
12.01.	Вт56,781	Ціни на нафту підвищуються в очікуванні чергового скорочення запасів сирої нафти у Сполучених Штатах. Інвестори так само занепокоєні глобальним зростанням числа випадків коронавірусу у світі.
13.01.	Ср55,91	Зростання нафти визначено тим, що 13 січня Палата представників США проголосувала за імпічмент Дональда Трампа за підбурення до «озброєного повстання проти Америки». Тим самим Трамп став першим президентом в історії країни, якому оголосили імпічмент двічі..
14.01.	Чт56,46	
15.01.	Пт55,00	Нафта дешевшає на тлі низького попиту на паливо через неспадаючу хвилю коронавірусу в усьому світі. Ціни на нафту знижуються через локдаун у Китаї і зростання рівня безробіття у США.
17.01.	Вт55,010	Ціни на нафту знизилися через сумніви трейдерів щодо відновлення попиту на нафту у зв'язку з триваючим зростанням захворюваності на COVID-19.
18.01.	Пн54,79	
19.01.	Вт55,93	Ціна на нафту Brent у надії на те, що державні стимули у США будуть сприяти глобальному економічному зростанню. Вартість WTI, основні торги якої не проводилися напередодні через вихідний у США, стабільна.
20.01.	Ср55,69	Ціни на нафту зростають у середу, 20 січня, завдяки очікуванням, що нова адміністрація США схвалить масштабні державні видатки на стимулювання економіки країни, а вони своєю чергою призведуть до зростання попиту на паливо і скорочення запасів. Зростання нафти визвано вступом Джо Байдена на посаду президента США. Почалося падіння ціни, за даними Американського інституту нафти (API), що показали зростання запасів у США минулого тижня.
21.01.	Чт56,17	
25.01.	Пн55,91	Ціни на нафту знижуються, оскільки переговори, відновлені через локдаун COVID-19, викликали нові побоювання з приводу глобального попиту.
26.01.	Вт55,87	Ціни на нафту знизилися через зниження надій на швидке схвалення нових економічних стимулів у США і зростання нових випадків коронавірусу.
27.01.	Ср56,30	Ціни на нафту зросли після виходу даних Американського інституту нафти (API), що показали несподіване зниження запасів у США.
28.01.	Чт55,03	Ціни на нафту знижуються, незважаючи на сильне падіння запасів у США, занепокоєння щодо попиту на паливо і обмежень на поїздки, а також затримки з постачанням вакцин від коронавірусу чинять тиск на ціни.
29.01.	Пт55,10	Ціни на нафту незначно знижуються, оскільки карантинні заходи, введені для стримування поширення коронавірусної інфекції, обмежують туристичні поїздки і попит на паливо по всьому світу. Кількість підтверджених випадків COVID-19 у світі перевищила 100 мільйонів.

Розроблено авторами на основі [12–26]

Таблиця 2

**Вплив геополітичних подій на ціну нафти у лютому 2021 року**

Дата	\$	Події в світі
1	2	3
01.02	Пн56,21	Нафта дорожчала, оскільки очікувалося скорочення її пропозиції на ринку. Ціни на нафту зростають, оскільки країни ОПЕК+ чітко виконують умови угоди про обмеження видобутку, тому надлишку пропозиції на світовому ринку очікувати не варто.
02.02	Вт57,82	Нафта дедалі дорожчала, оскільки ОПЕК обмежила нафтовидобуток. Ціни на нафту зросли більш як на 1% у вівторок, після того як дані показали, що провідні виробники обмежують видобуток.
03.02	Ср58,67	Нафта дорожчала – на ринку побоювалися зниження її запасів. Ціни на нафту повільно зростали; очікувалося, що зусилля щодо обмеження нафтовидобутку викличуть зменшення світових запасів «чорного золота».
04.02	Чт59,11	3 лютого ф'ючерси вирости в ціні на 0,93 долара (1,7%). Підтримку ринку надала заява міністерського моніторингового комітету ОПЕК+, в якій наголошувалось на важливості негайного прискорення балансування нафтового ринку, пише Bloomberg. Комітет також заявив, що попит на нафту найближчим часом залишиться невизначеним, але поширення вакцин сприятиме його зростанню.
05.02	Пт 59,62	Нафта дорожчала через дані про зниження темпів захворюваності на COVID-19.
07.02	Нд 59,83	Нафтові ціни продовжують підвищуватися на тлі позитивних новин про уповільнення темпів захворюваності на COVID-19 протягом останніх кількох тижнів.
08.02	Пн 60,66	Ціни на нафту повернулися до рівня цін напередодні пандемії. Ціни на «чорне золото» відновилися на до пандемічному рівні після того, як торік досягли історичного мінімуму.
09.02	Вт 61,29	Міжпланетна станція «Аль-Амаль» («Надія»), створена в Об'єднаних Арабських Еміратах, успішно вийшла на орбіту Марса. Ціни на нафту зросли до найвищого рівня за 13 місяців на тлі скорочення поставок і очікувань повернення до доповідної моделі споживання у світі після кризи.
10.02	Ср61,10	Ціни на нафту знизилися, незважаючи на зменшення запасів у США, що супроводжувалося більшим, ніж очікувалося, збільшенням товарних запасів бензину.
11.02	Чт60,86	Ціни на нафту знижуються після стрибка напередодні, після даних про зниження запасів у США до 60,86.
12.02	Пт62,71	Ціна нафти виросла, коли уряди почали кампанії з вакцинації від COVID-19. Ціни на нафту у п'ятницю, 12 лютого, знизилися другий день поспіль, прискоривши падіння через побоювання щодо перспектив попиту на нафту після погіршення прогнозів Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) і ОПЕК.
14.02	Нд63,16	Ціни на нафту вирости через холоди, що призвели до закриття свердловин і нафтопереробних заводів у найбільшому нафтовидобувному штаті США – Техасі.
15.02	Пн63,33	Нафта дорожчала на тлі загострення напруженості на Близькому Сході. Ціни на нафту підвищилися у понеділок, 15 лютого, через напруженість на Близькому Сході, що спровокувала нові закупівлі сировини, а також надії на те, що економічні стимули у США та ослаблення карантинних обмежень підтримають попит на паливо. Світові ціни на нафту еталонних марок продовжували дорожчати й в ніч із неділі на понеділок 15 лютого та перевищили 63 долари за барель.

Закінчення табл. 2

1	2	3
16.02	Вт63,56	Ціни на нафту виросли 16 лютого через холоди, що призвели до закриття свердловин і нафтопереробних заводів у найбільшому нафтовидобувному штаті США – Техасі. Ціни на нафту незначно зросли у середу, 17 лютого, на фоні перебоїв у поставках на півдні США, викликаних арктичним штормом. Зростання цін обмежено очікуваннями, що група ОПЕК + може послабити обмеження видобутку після засідання у квітні.
17.02.	Ср64,89	
18.02.	Чт63,53	Нафта дешевшала через побоювання, що НПЗ буде потрібен час для відновлення роботи після рекордних холодів на півдні США і це призведе до розриву попиту. Обидва еталонні контракти зросли до 13-місячних максимумів у четвер через історичні морози у південних штатах США. За оцінками аналітиків, під час екстремальних холодів втрачена третина видобутку нафти у США, але тепер увага прикута на вплив на нафтопереробні підприємства. Відсутність попиту з боку техаських нафтопереробних заводів, ймовірно, призведе до збільшення запасів сирої нафти в найближчі тижні. Ціни на нафту знижувалися після публікації даних Американського інституту нафти (API) про зростання запасів «чорного золота» у США і відновлення роботи ряду нафтопереробних заводів (НПЗ).
19.02	Пт62,72	
22.02	Пн64,94	Нафта дорожчала на очікуваннях зростання попиту на паливо.
23.02	Вт64,22	Ціни на нафту підвищувалися на очікуваннях зростання попиту на паливо, незважаючи на дані про несподіване збільшення запасів нафти в США.
24.02	Ср66,45	
25.02	Чт66,05	
26.02	Пт65,58	Нафта трохи подешевшала в очікуванні засідання ОПЕК. Вартість нафти знижувалася, 26 лютого, оскільки експерти очікували від ОПЕК + збільшення нафтовидобутку. Американські ВПС за наказом президента Джо Байдена нанесли серію авіаударів по території Сирії. Метою ударів були склади, що належали угрупованню «Катаїб Хезболла» та деяким іншим, які підтримували Іран.

Розроблено авторами на основі [12–26]

Таблиця 3

**Вплив геополітичних подій на ціну нафти у березні 2021 року**

Дата	\$	Події у світі
1	2	3
01.03	Пн63,31	Нафта дорожчала на очікуваннях нових рішень країн ОПЕК + щодо рівня видобутку. Нафта дорожчала на очікуваннях нових рішень країн ОПЕК + щодо рівня видобутку
02.03	Вт62,62	Нафта дешевшала на очікуваннях збільшення поставок ОПЕК+, а також на уповільненні попиту в Китаї.
03.03	Ср64,02	Нафта дорожчала напередодні зустрічі ОПЕК+ Ціни на нафту зросли в середу, 3 березня, завдяки масовій вакцинації від коронавірусу і сподіванням на збільшення попиту, проте невизначеність результатів березневого міністерського саміту групи ОПЕК+ і різке збільшення запасів у США обмежили зростання цін.

Продовження табл. 3

1	2	3
04.03	Чт67,26	Нафта дорожчала через скорочення видобутку ОПЕК+ Ціни на нафту підвищувалися у четвер, 4 березня, другу сесію поспіль завдяки тому, що на засіданні ОПЕК+ виробники могли ухвалити рішення не збільшувати видобуток, а також на тлі падіння запасів палива у США.
05.03	Пт69,69	Рішення ОПЕК+ про скорочення видобутку «підігріває» ціни на нафту Ціни на нафту зростали у п'ятницю, 5 березня, завдяки рішенню групи ОПЕК+ продовжити діючий режим скорочення видобутку до квітня.
07.03	Нд70,71	Ціни на нафту зростають у вівторок, 9 березня, на тлі очікувань щодо відновлення світової економіки після схвалення сенатом програми стимулів на \$1,9 трильйонів, а також можливого скорочення запасів у США.
08.03	Пн 68,12	
09.03	Вт 67,30	
10.03	Ср67,26	Нафта дешевшала на тлі зростання її запасів у США. Ціни на нафту знизилися в середу, 10 березня, на даних Американського інституту нафти (API) про зростання запасів.
11.03	Чт69,62	Нафта дорожчала на тлі поліпшення економічних перспектив. Ціни на нафту вирости в четвер, 11 березня, на тлі різкого скорочення запасів бензину у США, а також поліпшення світової економічної перспективи у зв'язку з розширенням вакцинації, проте зростання запасів у США обмежив підйом цін.
12.03	Пт69,24	Нафта дешевшала, але може показати найбільше тижневе зростання. Ціни на нафту знизилися у п'ятницю, 12 березня, але коливалися поблизу позначки \$70/бар., тому що обмеження видобутку великими нафтовиробниками скоротило рівень пропозиції.
15.03	Пн68,79	Ціни на нафту знижувалися у вівторок, 16 березня, третю сесію поспіль через побоювання з приводу зростання запасів у США і попиту з боку таких країн, як Німеччина і Франція, які призупинили вакцинацію проти COVID-19 однією з вакцин.
16.03	Вт68,47	
17.03.	Ср67,74	Ціни на нафту зросли у середу, 17 березня, після публікації даних Американського інституту нафти (API) про несподіване зниження запасів у США.
18.03.	Чт62,87	Ціни на нафту знижувалася у четвер, 18 березня, за даними Мінергерго США про збільшення запасів нафти і моторного палива, а також на тлі невизначеності щодо перспектив попиту через пандемію.
19.03	Пт64,57	Нафта дешевшала через нову хвилю COVID-19, особливо в Європі, що спровокувала нові обмеження й ослабила надії на швидке відновлення попиту на паливо.
21.03	Нд 64,11	Ціни на нафту знизилися у понеділок, 22 березня, через побоювання з приводу падіння попиту на паливо у зв'язку з новими карантинними обмеженнями в Європі.
22.03	Пн64,29	
23.03	Вт60,38	Нафта дешевшала через третю хвилю коронавірусу. Ціни на нафту знизилися у вівторок, 23 березня, через побоювання, що нові заходи зі стримування пандемії та повільне розгортання вакцинації в Європі сповільнить відновлення попиту на паливо.
24.03	Ср62,54	24 березня контейнеровоз Ever Given довжиною 400 м сів на міліну та заблокував рух одним із найбільш завантажених транспортних шляхів у світі – Суецьким каналом, його відхилило від курсу сильним вітром. Судно, що сіло на міліну посеред Суецького каналу, заблокувало трафік товарів вартістю 9,6 мільярдів доларів щодня.

Закінчення табл. 3

1	2	3
25.03	Чт61,05	Ціни, що впали на початку тижня через занепокоєння з приводу жорсткіших карантинних обмежень в Європі і затримок із вакцинацією, стрімко підскочили вгору в середу через новини про посадку на міліну великого контейнеровоза в Суецькому каналі. Кількість використаних вакцин проти COVID-19 у всьому світі перевищила 500 мільйонів.
26.03	Пт62,59	Ціни на нафту зросли більш як на 1% у п'ятницю, 26 березня, після 4-відсоткового обвалу напередодні на тлі побоювань, що через гігантський контейнеровоз, що перекрив рух кораблів через Суецький канал, знизиться рівень пропозиції сировини та продуктів нафтопереробки. Ринок також був обережним напередодні засідання ОПЕК цього тижня, на якому мали вирішити, чи продовжувати обмеження поставок нафти.
28.03	Нд64,18	Іран та Китай підписують угоду про співпрацю на 25 років. Китай є головним торговельним партнером Ірану та ключовим ринком для експорту іранської сировини, що був жорстко обмежений санкціями США.
29.03	Пн63,37	Нафта дешевшала на повідомленнях про зняття з міліни контейнеровоза в Суецькому каналі. Ціни на нафту зменшились, оскільки ринки припускали, що розблокування Ever Given дозволить танкерам знову використовувати водний шлях. Понад 350 суден чекали на проходження каналом, на який припадає 12% світової торгівлі.
30.03	Вт64,62	Ціни на нафту знижувалися у вівторок, 30 березня, після помірного зростання напередодні, інвестори оцінюють ситуацію, що склалася на ринку, й очікують рішень ОПЕК + за підсумками засідання, запланованого на четвер.
31.03	Ср64,49	Ціни на нафту підвищувалися в середу, 31 березня, після падіння напередодні в надії, що ОПЕК+ продовжить обмеження поставок сировини до травня.

*Розроблено авторами на основі [12–26]*

Крім того, автори показали динаміку зміни ціни нафти за січень, лютий та березень 2021 року (рис. 3, 4, 5).

**Висновки.** Аналіз проведеного дослідження показав, що глобальний ринок нафти знаходиться в стані глибоких змін, впливаючи на текучі і перспективні можливості світового виробництва та споживання нафти.

Зміна нафтового ринку відбувається під впливом комплексу фундаментальних факторів, у просторі яких народжується нова економічна реальність нафтогазового виробництва, за суттю, нова «нафтова» реальність.

Один із факторів впливу – геополітичні події у світі.

Аналіз рис. 2 показав, що на ціну нафти впливають основні гравці на ринку палива – США, Саудівська Аравія та організація ОПЕК.

Якщо говорити про 2021 рік, то основними факторами впливу, на думку авторів, є, по-перше, світова пандемія COVID-19, по-друге, політика в області добування нафти в країнах ОПЕК+ та об'єктивні можливості організації впливати на світові ціни нафти, по-третє, головним гравцем на ринку палива залишаються США – драйвер нафтової галузі у світі, по-четверте, автори визначають, що наприкінці березня не помітити вплив подій у Суецькому каналі на ціну нафти просто не можливо.

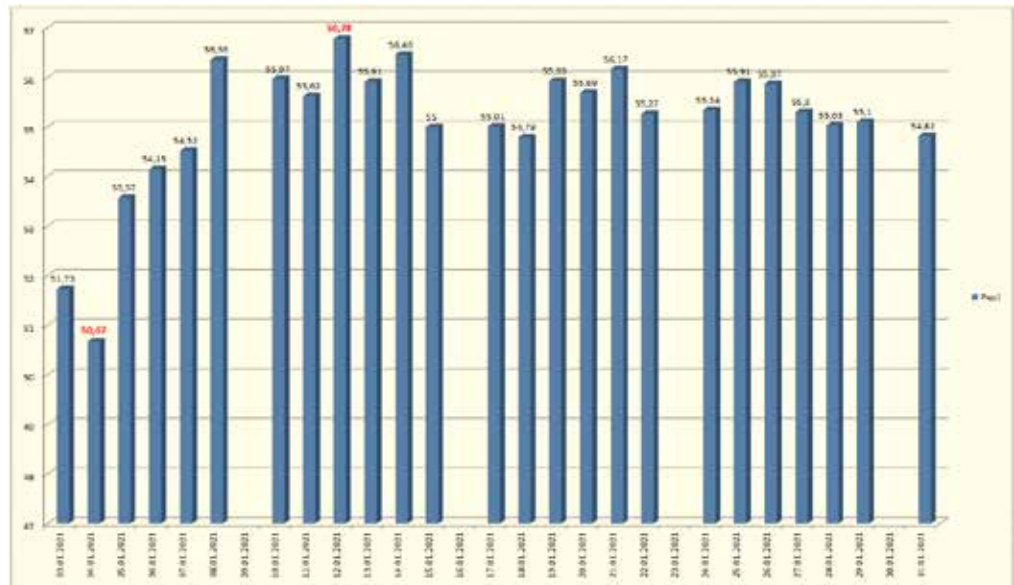


Рис. 3. Динаміка ціни на нафту у січні 2021 році  
Розроблено авторами на підставі [12–26]

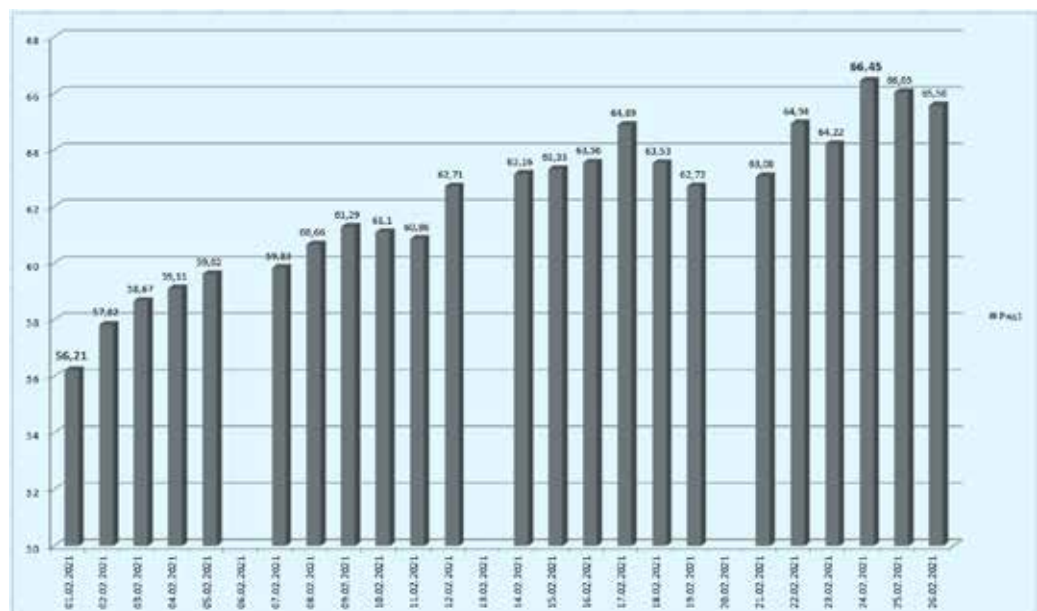


Рис. 4. Динаміка ціни на нафту у лютому 2021 році  
Розроблено авторами на підставі [12–26]

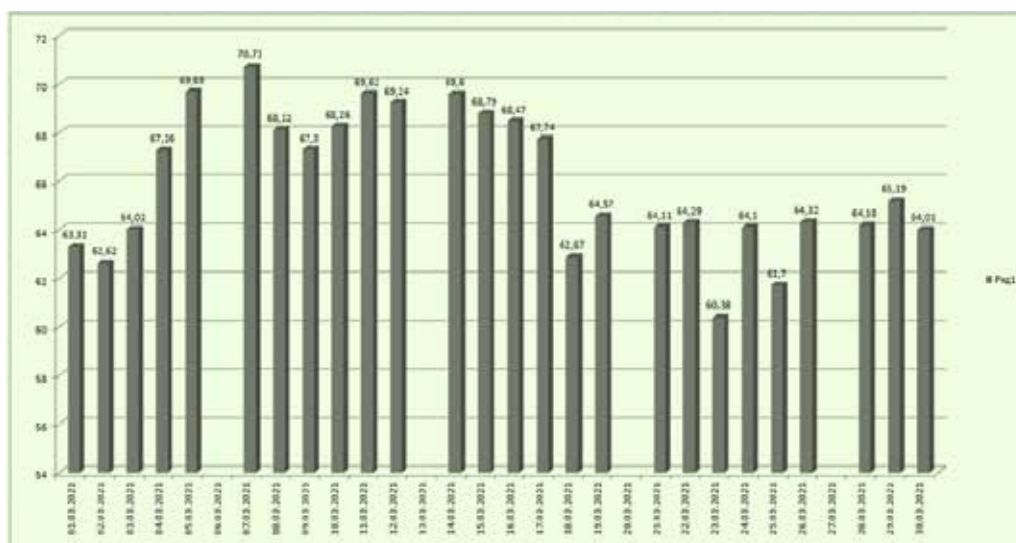


Рис. 5. Динаміка ціни на нафту у березні 2021 році  
Розроблено авторами на підставі [12–26]

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Утилізація судов сократилась... URL: <https://seanews.ru/2020/03/16/utilizacija-sudov-sokratilas/> (дата звернення 25.03.2021).
2. Курсин Д.А. Расчет стоимости жизненного цикла сложного машиностроительного изделия при принятии решения о совершенствовании проекта. *Наука и образование*. 2011. № 10. С. 38–49.
3. Шахов А.В., Пизинцали Л.В. Модель управления стоимостью жизненного цикла судна. *Проблемы техники: Научно-производственный журнал*. 2014. Вып. 3. С. 9–16.
4. Шумило О.М, Россомеха О.І., Шахов А.В. Удосконалення моделі визначення вартості життєвого циклу судна. *Розвиток транспорту*. 2021. № 1(8). С. 113–124.
5. ІМО 2020: Морские перевозки станут дороже. URL: <https://www.mumnet.com.ua/rus/news/morskie-perevozki/imo-2020-morskie-perevozki-stanut-dorozhe/> (дата звернення 28.01.21).
6. Пизинцали Л.В., Александровская Н.И, Рабочая Т.В. Анализ влияния современных экологических требований на рынок топлива мирового судоходства. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2020. Вып. 2(63) С. 146–162.
7. Ніконенко У.М. Роль країн близького сходу в формуванні світових цін на нафту. *Наукові записки [Української академії друкарства]. Серія: Економічні науки*. 2015. № 2. С. 23–31. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzec\\_2015\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzec_2015_2_5). (дата звернення 30.03.2021).
8. Михайло Крутіхін, експерт з питань енергетики. Укрінформ. URL: [www.ukrinform.ua](http://www.ukrinform.ua). (дата звернення 25.03.2021).

9. Справочный портал. Цена на нефть Brent (Brent) онлайн сегодня. 2017. URL: [calc.ru/kurs-Brent-online.html](http://calc.ru/kurs-Brent-online.html). (дата звернення 02.04.2021)
10. Справочный портал. Цена на нефть Brent (Brent) онлайн сегодня. 2018. URL: [calc.ru/kurs-Brent-online.html](http://calc.ru/kurs-Brent-online.html). (дата звернення 10.04.2021)
11. Пизинцали Л.В., Александровская Н.И., Рабочая Т.В. Анализ влияния современных экологических требований на рынок топлива мирового судоходства. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2020. Вип. 2(63). С. 140–158.
12. 100 million coronavirus cases recorded worldwide – a year after virus first officially diagnosed. URL: <https://news.sky.com/story/covid-19-100-million-coronavirus-cases-recorded-worldwide-a-year-after-virus-first-officially-diagnosed-12191487> (дата звернення 31.03.2021).
13. Подписан закон о ратификации Соглашения о продлении Договора между Россией и США о мерах по дальнейшему сокращению и ограничению стратегических наступательных вооружений. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/64949> (дата звернення 31.03.2021).
14. Википедия 2021. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/2021\\_%D0%B3%D0%BE%D0%B4](https://ru.wikipedia.org/wiki/2021_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) (дата звернення 25.03.2021).
15. Ціна нафти. URL: <https://www.ukrinform.ua/tag-cina-nafti> (дата звернення 31.03.2021).
16. У світі знову подешевшала нафта. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/02/11/novyna/ekonomika/sviti-znovu-podeshevshala-nafta> (дата звернення 30.03.2021).
17. У світі знову подешевшала нафта. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/02/19/novyna/svit/sviti-znovu-deshevshaye-nafta> (дата звернення 02.04.2021).
18. Ціни на нафту піднялися до максимумів за рік і продовжують зростати. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/02/4/670676/> (дата звернення 02.04.2021).
19. Нафта дешевшає на тлі новин з Суецького каналу. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/03/29/672390/> (дата звернення 31.03.2021).
20. Ціни на нафту стрімко падають через нові спалахи коронавірусу. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/03/23/672221/> (дата звернення 30.03.2021).
21. Нафта зросла на понад 4% через блокування Суецького каналу. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/03/26/672361/> (дата звернення 02.04.2021).
22. Заблокований Суецький канал: вже сотні суден чекають у черзі. URL: <https://www.pravda.com.ua/news/2021/03/27/7288073/> (дата звернення 26.03.2021).
23. Суэцкий канал заблокирован контейнеровозом. Что будет с ценами на нефть. URL: <https://quote.rbc.ru/news/article/605b39c19a79475afa8bbb2> (дата звернення 26.03.2021).
24. На нефтяном рынке началась настоящая ценовая война... URL: [www.vedomosti.ru > articles](http://www.vedomosti.ru/articles) (дата звернення 03.02.21).

25. Затор в Суэцком канале может спровоцировать логистический кризис. URL: <https://usm.media/zator-v-sueczkom-kanale-mozhet-sprovocirovat-logisticheskij-krizis/> (дата звернення 25.03.2021).
26. Динаміка цін на нафту марки Brent. URL: <https://index.minfin.com.ua/markets/oil/brent/2020-12/> (дата звернення 25.03.2021).

#### REFERENCES

1. Utilization of courts has decreased... [Utylyzatsyia sudov sokratylas...] URL: <https://seanews.ru/2020/03/16/utilizacija-sudov-sokratilas/> (data zvernennia 25.03.2021).
2. Kursyn D.A. Calculation of the cost of the life cycle of a complex machine-building product when deciding to improve the project. [Raschet stoymosti zhyznennoho tsykla slozhnoho mashynostroytelnoho yzdelyia pry pryniatuu resheniya o sovershenstvovanyu proekta]. Nauka y obrazovanye. 2011. № 10. S. 38–49.
3. Shakhov A.V., Pyzyntsaly L.V. Model of ship life cycle cost management. [Model upravleniya stoymosti zhyznennoho tsykla sudna]. Problemy tekhniki: Naukovo-vyrobnychi zhurnal. 2014. Vyp. 3. S. 9–16.
4. Shumylo O.M., Rossomakha O.I., Shakhov A.V. Improving the model of determining the value of the life cycle of the vessel [Udoskonalennia modeli vyznachennia vartosti zhyttievoho tsyklu sudna]. Rozvytok transportu. 2021. № 1(8). S. 113–124.
5. [IMO 2020: Morskye perevozky stanut dorozhe]. URL: <https://www.mum-net.com.ua/rus/news/morskie-perevozki/imo-2020-morskie-perevozki-standut-dorozhe/> (data zvernennia 28.01.21).
6. Pyzyntsaly L.V., Aleksandrovskaia N.Y., Rabochaia T.V. Analysis of the impact of modern environmental requirements on the global shipping fuel market. [Analyz vliyaniya sovremennykh ekologicheskyykh trebovaniy na rynok toplyva myrovoho sudokhodstva]. Visn. Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu. 2020. Vyp. 2(63). S. 146–162.
7. Nikonenko U.M. The role of the Middle East in the formation of world oil prices [Rol krain blyzkoho skhodu v formuvanni svitovykh tsin na naftu]. Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii druzarstva]. Seriya: Ekonomichni nauky. 2015. № 2. S. 23–31. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzec\\_2015\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzec_2015_2_5). (data zvernennia 30.03.2021).
8. Mykhailo Krutikhin, energy expert. Ukrinform [ekspert z pytan enerhetyky]. Ukrinform. URL: [www.ukrinform.ua](http://www.ukrinform.ua). (data zvernennia 25.03.2021).
9. Reference portal. Brent oil price online today [Spravochnyi portal. Tsena na neft Brent (Brent) onlain sehodnia]. 2017. URL: [calc.ru/kurs-Brent-online.html](http://calc.ru/kurs-Brent-online.html). (data zvernennia 02.04.2021)
10. Reference portal. Brent oil price online today [Spravochnyi portal. Tsena na neft Brent (Brent) onlain sehodnia]. 2018. URL: [calc.ru/kurs-Brent-online.html](http://calc.ru/kurs-Brent-online.html). (data zvernennia 10.04.2021)
11. Pyzyntsaly L.V., Aleksandrovskaia N.Y., Rabochaia T.V. Analysis of the impact of modern environmental requirements on the global shipping fuel

- market. [Analyze vliyaniya sovremennykh ekologicheskikh trebovani na rynek toplyva myrovoho sudokhodstva]. Visn. Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu. 2020. Vyp. 2(63). S. 140–158.
12. 100 million coronavirus cases recorded worldwide – a year after virus first officially diagnosed. URL: <https://news.sky.com/story/covid-19-100-million-coronavirus-cases-recorded-worldwide-a-year-after-virus-first-officially-diagnosed-12191487> (data zvernennia 31.03.2021).
  13. A law on the ratification of the Agreement on the Extension of the Treaty between Russia and the United States on Measures to Further Reduce and Limit Strategic Offensive Arms was signed. [Podpysan zakon o ratyfikatsyyi Sohlasheniya o prodleny Dohovora mezhdu Rossyey i SShA o merakh po dalneishemu sokrashcheniyu y ohranycheniyu stratehicheskikh nastupatelnykh vooruzheniy]. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/64949> (data zvernennia 31.03.2021).
  14. Wikipedia 2021. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/2021\\_%D0%B3%D0%BE%D0%B4](https://ru.wikipedia.org/wiki/2021_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) (data zvernennia 25.03.2021).
  15. The price of oil. [Tsina nafty]. URL: <https://www.ukrinform.ua/tag-cina-nafti> (data zvernennia 31.03.2021).
  16. In the world, oil has fallen in price again. [U sviti zнову podeshvshala nafta]. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/02/11/novyna/ekonomika/sviti-znovu-podeshevshala-nafta> (data zvernennia 30.03.2021).
  17. In the world, oil has fallen in price again. [U sviti zнову podeshvshala nafta]. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/02/19/novyna/svit/sviti-znovu-deshevshaye-nafta> (data zvernennia 02.04.2021).
  18. Oil prices have risen to year highs and continue to rise. [Tsiny na naftu pidnialysia do maksimumiv za rik i prodovzhuiut zrostaty]. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/02/4/670676/> (data zvernennia 02.04.2021).
  19. Oil is getting cheaper against the background of news from the Suez Canal. [Nafta deshevshaie na tli novyn z Suetskoho kanalu] URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/03/29/672390/> (data zvernennia 31.03.2021).
  20. Oil prices are falling sharply due to new outbreaks of coronavirus. [Tsiny na naftu strimko padaiut cherez novi spalakhy koronavirusu]. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/03/23/672221/> (data zvernennia 30.03.2021).
  21. Oil has risen by more than 4% due to the blockade of the Suez Canal. [Nafta zrosla na ponad 4% cherez blokuvannia Suetskoho kanalu]. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/03/26/672361/> (data zvernennia 02.04.2021).
  22. Suez Canal blocked: hundreds of ships are already waiting in line. [Zablokovanyi Suetskyi kanal: vzhe sotni suden cherkaiut u cherzi]. URL: <https://www.pravda.com.ua/news/2021/03/27/7288073/> (data zvernennia 26.03.2021).
  23. The Suez Canal is blocked by a container ship. What will happen to oil prices. [Suetskyi kanal zablokyrovan konteinerovozom. Chto budet s

- tsenamy na نفت]. URL: <https://quote.rbc.ru/news/article/605b39c19a79475afa8bbbb2> (data zvernennia 26.03.2021).
24. A real price war has started on the oil market ... [Na نفتianom rinke nachalas nastoiashchaia tsenovaia voina ...]. URL: [www.vedomosti.ru > articles](http://www.vedomosti.ru/articles) (data zvernennia 03.02.21).
25. The traffic jam in the Suez Canal could provoke a logistical crisis. [Zator v Suetskom kanale mozhет sprovotsyrovat lohystycheskyi kryzys]. URL: <https://usm.media/zator-v-sueczkom-kanale-mozhet-sprovocirovat-logisticheskij-kryzis/> (data zvernennia 25.03.2021).
26. Dynamics of Brent oil prices. [Dynamika tsin na نفتu marky Brent]. URL: <https://index.minfin.com.ua/markets/oil/brent/2020-12/> (data zvernennia 25.03.2021).

**КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ СУДНО-ПОРТ-ВАНТАЖ  
З УРАХУВАННЯМ НАЯВНИХ МЕТОДИК ОЦІНКИ РИЗИКІВ  
ТА ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**О.І. Сагайдак**

старший викладач кафедри судноводіння та морської безпеки,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-8294-8828

**Анотація**

**Вступ.** Вантажопотоки в усьому світі значно вирости останнім часом. Зросли не тільки кількість та об'єм вантажів, виникло також і багато нових вантажопотоків. Це зумовлює більшу, ніж до того, вірогідність виникнення збоїв або затримок у процесі перевезення. Будь-яка затримка може привести до порушення графіків роботи портів, графіків постачання вантажів та збоїв в інших логістичних ланцюжках. **Мета.** У цій статті аналізуються деякі наявні системи автоматизації транспортного процесу, розроблені з метою оптимізації роботи суден як на лініях, так і у трамповому режимі. Крім того, розглядаються системи автоматизації роботи портів, що використовують комп'ютерні прогнози розвитку ситуації. **Мета статті** – сформулювати концепцію розробки сучасного рішення проблем автоматизації та можливих збоїв у рамках взаємодії судно-порт-вантаж із залученням методів оцінки ризиків. **Результати.** На основі проведеного аналізу можна припустити, що наявні системи автоматизації не задовольняють сучасні вимоги, особливо щодо прорахунку можливих негараздів, що можуть виникнути під час транспортування вантажу. Використання можливостей сучасних обчислювальних систем, зокрема систем із використанням штучного інтелекту, дасть поштовх розвитку усієї транспортної ланки, особливо якщо прогнозувати розвиток ситуації, не тільки базуючись на аналізі минулих подібних ситуацій, але й із застосуванням методик оцінки ризиків. **Висновки.** У цій статті ми показуємо, що, на наш погляд, найбільш перспективним напрямом розвитку автоматизації транспортного процесу є застосування елементів штучного інтелекту з широким використанням методик оцінки ризиків на всіх напрямках взаємодії у трикутнику судно-порт-вантаж. Тобто реалізація окремих проєктів не дасть істотного якісного покращення роботи усього транспортного комплексу, для досягнення стабільної мети потрібна взаємодія усіх стейкхолдерів, у тому числі на рівні взаємодії програмного забезпечення, або розробка єдиного програмного забезпечення, що забезпечить якісними даними усіх користувачів.

**Ключові слова:** судно, порт, вантаж, оптимізація взаємодії, оцінка ризиків, електронні технології.

CONCEPT OF OPTIMIZATION OF SHIP-PORT-CARGO INTERFACE,  
TAKING INTO ACCOUNT EXISTING RISK ASSESSMENT METHODS  
AND USE OF ELECTRONIC TECHNOLOGIES

O.I. Sagaydak

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Marine Safety,  
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-8294-8828

**Summary**

**Introduction.** *Cargotrade increased significantly all over the world nowadays. It is not about volumes only, but also about creating many new trades. This causes increasing of the probability of potential problems and delays in delivery of goods. Any delay can cause the breaking of the port operation schedule, cargoes' delivery schedule and malfunction of other logistic chains. Purpose.* There is an analysis of some existing transport process automation systems, which were developed for optimization of ships' work in liner and tramp mode, in this paper. Also the systems of port automation, using computer situation development prognosis, are overlooked. The purpose is to formulate the concept of development of modern solution for the problems of automation and problems of possible malfunctions in the frames of cooperation ship-port-cargo, using risk assessment methods. **Results.** *Basing on the analysis made, we can assume that existing automation systems are not respond modern challenges, especially regarding pre-calculation of possible malfunctions, which can appear while transporting the cargo. Using advantages of modern computer systems, especially artificial intellect systems, will push the development of all transport industry. It will be even more effective, if we will make prognosis basing not on the background analysis of similar situations, but using methods of risk assessment also. Conclusions.* In this paper we show, that according to our views, the most prospective direction of the transport process automation development, is using of artificial intelligence elements with wide implementation of risk assessment at all sides of cooperation in the triangle ship-port-cargo. That means, the implementation of particular projects will not bring the significant improvement of all transport complex work, for the stable achieving of this target the close cooperation of all stakeholders is necessary, including cooperation in software development, or development of the common software, which will provide all users with quality data.

**Key words:** *ship, port, cargo, interface optimization, risk assessment, electronic technologies.*

**Вступ.** Нині існують істотні складності, які пов'язані зі зростанням вантажо-потоків у всьому світі, – судна можуть втрачати багато часу в очікуванні обробки, з іншого боку, трапляються об'єктивні неочікувані затримки судна, що пов'язані з погодними умовами та іншими факторами. Будь-яка така затримка веде до порушення графіку роботи порта, збоїв у роботі логістичних ланцюжків та збитків власників вантажу. Наявні методи та процедури комунікації не дають змоги забезпечити взаємодію та обмін інформацією на достатньому рівні. Це веде до затримки у прийнятті рішень, які своєю чергою рідко бувають погоджені з усіма учасниками процесу перевезення вантажу завдяки таким затримкам.

Безумовно, ще одним негативним фактором, який дуже впливає на результати роботи транспортної системи, є неочікувані зовнішні чинники, такі як раптові зміни погоди, політичні та військові фактори, надзвичайні ситуації, трафік суден та інші. І, якщо зміни погоди ще можна передбачити, то стосовно інших чинників, такі прогнози враховуються дуже рідко і, як правило, не мають під собою наукової основи.

**Постановка проблеми.** Задача оптимізації морського транспортного процесу зводиться до забезпечення комунікації та коректної взаємодії трьох основних сторін виробничого процесу: порта, судна та фрахтовника у режимі реального часу з одночасним прогнозуванням можливих варіантів розвитку ситуації. При цьому під портом ми розуміємо служби контролювання за переміщенням суден, лоцманську службу, термінальних операторів, стивідорні компанії, контроль Держави порту, під судном – капітана судна, його оператора, агента, інших осіб, які виступають від імені перевізника та мають потребу в найсвіжійшій інформації. Під фрахтовником потрібно розуміти власника вантажу, його агента, а також осіб, які діють від його імені.

Вказані три сторони транспортного процесу далеко не завжди взаємодіють оптимальним чином, крім того, вирішення проблеми між двома сторонами, може призвести до неочікуваних наслідків у третьої сторони, які складно піддаються прогнозуванню.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині вже існують розробки, які дозволяють частково вирішити вказану проблему взаємодії, такі як система «Пронто» (“Pronto”), яка тестується в порту Роттердам. Ця система дає змогу відслідковувати ситуацію у режимі реального часу. За інформацією розробників, вона використовує дані, які є в публічному вжитку, дані, надані портом та судном, дані систем автоматичної ідентифікації суден (AIS), а також прогнози, здійснені за допомогою систем штучного інтелекту. Це надає дуже великі можливості, хоча існує суттєве обмеження: “Pronto” не поширює інформації щодо вантажу. Важливою особливістю цієї розробки є намагання встановити єдині стандарти розробки таких систем (зокрема, стандарти осадки, глибини підхідних фарватерів та інші подібні, встановлені за участі Міжнародної асоціації капітанів морських портів) [1].

Такі розробки існують вже досить давно – у 1999 році в Австралії була розроблена система оптимізації транспортування добрив між вісьмома портами Австралії. Ця розробка і досі цікава тим, що автори врахували не тільки можливість більш точного планування розкладу суден та своєчасної подачі вантажу, але і фінансові аспекти робочого процесу, такі як ціна вантажу та фрахту суден. Розробники винайшли алгоритм, який враховує наявність вільних складських приміщень у портах-дистрибуторах, наявність вантажу в постачальника, наявність вільного тоннажу в перевізників та прогнозовану ціну на добрива (ця ціна досить сильно варіюється в Австралії залежно від погоди, сезону, та багатьох інших чинників), а також прогнозований фрахт. Усе це дозволило замовникам оптимізувати не тільки розклад подачі суден у середньостроковій перспективі (рік і більше), а й витрати на перевезення (фрахт) [2].

Широкий вжиток мають системи оптимізації руху контейнерних суден, включаючи фінансову оптимізацію руху в межах конкретної контейнерної лінії. Такі

системи можуть не тільки вибрати оптимальну ротацію портів (враховуючи кількість наявних завантажених та порожніх контейнерів, відстань між портами, наявність бункеру на борту та оптимальний порт бункеровки та інше), та й розрахувати план розміщення вантажу, параметри морехідності судна та ін. Та недоліком такої системи є її надто вузька спеціалізація і обмеженість вирішуваних задач суто «контейнерними» питаннями [3].

Танкерний флот також має свої ідеї оптимізації роботи на основі взаємодії з капітанами портів та завчасної підготовки до заходу у порт. Цей варіант оптимізації враховує також і фінансові аспекти, пов'язані з часом стоянки у порту, розміром фрахту та його змінами на фінансовому ринку. Знову недоліком цієї системи є концентрація на наливному флоті, що є дуже специфічним [4].

З іншого боку, як вже було вказано, порти теж намагаються оптимізувати свою роботу. Яскравим прикладом є оптимізація роботи порту Лісабон (цим займається компанія “Hexagon”). Ця система нагадує розробки порту Роттердам, згадані вище. Система забезпечує функціонування документообігу, аналізу ситуації та візуалізацію деяких процесів. Такий функціонал сприяє прийняттю правильних рішень на багатьох рівнях [5].

На сучасному рівні розвитку технологій не можна обійти увагою технології блокчейну. Таку технологію використовує компанія Maersk, що допомагає перевести обіг вантажних документів в електронну площину. Звісно, для побудови такої системи потрібна широка кооперація та чітка робота усіх стейкхолдерів. Та, за інформацією компанії, вже більше 300 компаній доєдналися до цього проєкту. Цей факт промовляє сам за себе – перспектива розвитку такої технології досить вагома [6].

Продовжуючи тему блокчейна, можна згадати розробку компанії з Казахстану – “KTZ Express”. Ця компанія не тільки впроваджує електронний документообіг на усьому Транскаспійському транспортному шляху за допомогою блокчейн-технологій, але й зробила можливим використання не тільки цифрових документів, але й сканованих. Тобто це робить можливим на певному етапі транспортного процесу досить просто перейти з паперового документа на електронний [7].

Нині можуть бути автоматизовані навіть переміщення та контроль за відносно невеликими партіями вантажу – як, наприклад, доставка вантажівками зерна від елеватору до порту або безпосередньо на борт судна. При цьому контролюється увесь процес, включно зі зважуваннями на кількох етапах. Дані зважувань, як і номери вантажівок, час та проби зерна заносяться в базу даних автоматично для подальшого генерування судових вантажних документів (наприклад, номери вантажівок вносяться з камер спостереження, а не вручну). Таким чином можуть бути сформовані усі дані для виготовлення коносаменту в електронній або паперовій формі [8].

Багато порівняно невеликих компаній мають свої розробки диджиталізації транспортного процесу, навіть з урахуванням мультимодальних перевезень та логістики протягом доставки вантажу від виробника до порту та завантаження його на судно. Типовий приклад – розробка компанії “JIT+”, що дає змогу усім учасникам процесу від виробника зерна і до борту судна вирішувати проблеми в єдиному інформаційному просторі, без посередників. Це дозволяє позбутися людського

фактора на цьому етапі та зменшити або взагалі виключити простої судна та час зберігання зерна на портовому елеваторі [9].

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є формулювання концепції розробки сучасного рішення проблем автоматизації взаємодії судно-порт-вантаж з урахуванням можливих відхилень та збоїв у процесі перевезення із залученням методів оцінки ризиків.

**Виклад основного матеріалу.** Цифровізація логістики – це ще далеко не все, що можна зробити у сфері оптимізації роботи транспортного комплексу. Візьмемо, наприклад, процес оформлення прибуття судна в порт.

Фактично здебільшого усі процеси оформлення судна починаються у порту з моменту прибуття судна. Звісно, в чартері оговорюються витрати часу на оформлення документів та інші формальності, але ж цей час є непродуктивним для усіх сторін, що пов'язані з договором перевезення. Усі необхідні судові документи цілком можна заздалегідь доправити до інспекції держави порту у сканованому або електронному вигляді, можна навіть погодити декларації та інші документи, що подаються на прибуття судна. Але поки що це робиться далеко не завжди. Крім того, відсутність достатньої інформації про готовність вантажу часто не дає змоги капітану вибрати оптимальний ходовий режим на морському переході, що приводить до рейдових простоїв. Базуючись на наведених вище прикладах, можна зробити висновок, що потрібно досягти кращого ступеня взаємодії між усіма учасниками процесу перевезення. Це дозволить не тільки зберегти кошти судовласників, фрахтовників та й інших учасників транспортного процесу, але й може суттєво зменшити шкідливі викиди в атмосферу за рахунок оптимізації руху судна і можливості вибору найбільш економного ходового режиму. Наведені вище приклади доводять, що таке можна зробити на сучасному етапі. Крім того, сучасні можливості дають змогу розробити таку систему, яка максимально буде відповідати наведеним викликам.

Оптимальним рішенням для прискорення інформаційного обміну може слугувати електронна система обміну даних в Інтернет-мережі, заснована на ідеї так званої SAAS (software as a service) технології. За цією технологією програмне забезпечення розміщується на віддаленому сервері, тобто немає необхідності встановлювати його на кожному пристрої кожного користувача. Така система дає змогу відображувати усі дані в режимі реального часу, тобто усі учасники транспортного процесу, маючи доступ до системи, бачать одне і те ж відображення ситуації, що відмінняє необхідність обміну повідомленнями. Оскільки в наш час більшість суден мають вихід до Інтернету, розробка такої системи зводиться до розробки відповідного вебпорталу на віддаленому сервері з необхідним набором функціоналу. При цьому така система (Рис. 1), вочевидь, буде працювати на будь-якому пристрої (включаючи смартфони та інші мобільні дівайси) з будь-якою операційною системою. Ще одним досягненням такої схеми роботи є відсутність необхідності робити періодичне перевстановлення та оновлення системи (якщо розробники її покращили, наприклад).

Кожен з учасників процесу отримує свій індивідуальний доступ до системи, параметри якого не можуть змінюватися впродовж усього часу її використання. Так, судно та його менеджер можуть заходити до системи під своїми номерами

ІМО, при зміні назви змінюється обліковий запис, але основні дані зберігаються. Під час первинної реєстрації кожного з учасників процесу (конкретні співробітники получають свій індивідуальний код ідентифікації) створюється індивідуальна карта з набором основних даних, перемінних даних та статусом. Внесені один раз дані не можуть бути змінені довільно, вони фіксуються в електронних журналах (який точно співробітник і коли вніс або змінив дані), архів даних зберігається щонайменше п'ять років. При цьому оговорюється і процедура доступу до інформації за минулі періоди. Необхідно передбачити і додаткові опції, такі як стан та прогноз погоди, наприклад. При цьому інформацію про стан погоди теж бажано зберігати в архіві ті ж п'ять років. Звісно, об'єм такого архіву має бути досить великим, але ж він буде зберігатися на тому ж віддаленому сервері (або на аналогічному сервері), що й поточна інформація. Безумовно, необхідно забезпечити дублювання усієї (поточної та архівної) інформації для запобігання її втрати.



Рис. 1. Схематичне зображення ідеї електронної взаємодії судно-порт-вантаж

Нижче наведені основні типи даних, якими можуть користуватися учасники процесу.

Порт (адміністрація порту, його менеджмент, адміністрація та менеджмент терміналу, стивідорні компанії тощо):

- місцезнаходження порту, місця прийому лоцманів;
- план (мапа) порту, його межі, глибини на фарватерах;
- обмеження по осадці, повітряній осадці, довжині та ширині суден;
- специфіка порту (наприклад замерзання взимку);
- опис порту (з лоції) – навігаційний, гідрографічний, гідрометеорологічний;
- загальні норми завантаження/розвантаження;
- погода (поточна та прогноз);
- встановлений у порту рівень безпеки;
- термінова інформація про надзвичайні ситуації, попередження;
- портові правила;
- різноманітні форми документів, які використовуються в порту, з можливістю їх завантаження та можливістю заповнення онлайн;

– візуалізована система планування роботи порту, яка відображує вільні та зайняті причали, з ймовірним часом завершення обробки поточного судна та швартовки наступного судна.

Судно (власник, оператор, менеджер, портовий агент тощо):

- основні дані (назва, власник/менеджер/оператор, номер ІМО, прапор);
- інша важлива інформація (максимальна та мінімальна осадка, висота, довжина, ширина тощо);
- загальний опис та загальне розміщення відсіків;
- найменування та кількість вантажу на борту, його розміщення по відсіках (бейплан для контейнеровозів) або готовність приміщень до прийому вантажу;
- нотиси про готовність, очікуваний час підходу (постійно корегується);
- координати судна (необхідно передбачити зв'язок системи з системою AIS);
- суднові сертифікати – назви, дати видачі та строки закінчення дії, хто їх видав, скановані копії.

Вантаж (власник, фрахтувальник, агент фрахтувальника):

- опис вантажу (назва, міжнародна назва, хімічна формула, основні характеристики);
- об'єм, вага, основні виміри, кількість;
- місцезнаходження вантажу (склад, термінал, у дорозі, та ін.) – з можливістю візуалізації;
- ціна та умови контракту (ця інформація має бути доступна тільки для відповідних користувачів для збереження комерційної таємниці – сучасний рівень забезпечення конфіденційності дозволяє це зробити);
- базові умови чартеру;
- чи був виданий коносамент, його тип, статус та інша інформація.

Така система буде зручною не тільки в повсякденній роботі, але й у разі надзвичайних подій – уся інформація для рятувальних служб зберігається в одному місці в доступній формі, при цьому вона змінюється в режимі реального часу. Тобто рятувальній бригаді не потрібно шукати план розміщення вантажу на палаючому судні (який дуже часто не знаходиться в обумовленому місці) – уся потрібна інформація може бути знайдена керівником у будь-який час на своєму планшеті.

Вказаних опцій буде достатньо для початкового етапу створення системи. Однак цього буде явно недостатньо на сучасному етапі розвитку електронних технологій та систем управління. На другому етапі розвитку системи необхідно включити до неї елементи прогнозування, тобто розрахунки вірогідності настання тієї чи іншої події з урахуванням зміни ситуації та присутніх ризиків. Такі розрахунки можна здійснювати за допомогою різних методів, наприклад методу Монте-Карло.

Для деяких ситуацій розрахунок вірогідності настання події та оцінки ризику за допомогою суто статистичних методів може бути неможливим або утрудненим. У цьому разі до роботи може долучатися група експертів. Така група не є постійною – вона скликається у разі потреби, крім того, опитування членів групи може здійснюватися за допомогою електронної пошти або спеціально розробленого в рамках цієї концепції програмного забезпечення (в тій же системі в режимі онлайн). Критерії для добору експертів формулюються залежно від наявних задач.

За допомогою методів прогнозування стане можливим прораховувати, наприклад, варіанти розвитку ситуації в порту за несприятливих погодних умов на маршруті певного судна, у разі стихійних лих у порту чи просто при затримці вантажу, відмови в роботі механізмів (наприклад, суднового вантажного обладнання), аварій, розливів, затримання судна, визнання судна неморехідним, а також в інших позаштатних ситуаціях. Маючи на озброєнні методи прогнозування, можна моделювати розвиток позаштатної ситуації та програвати варіанти вирішення проблеми.

Важливим елементом системи комплексної взаємодії судно-порт-вантаж, безумовно, має стати економічний чинник, тобто розраховані варіанти розвитку ситуації, а також варіанти вирішення проблем повинні мати економічне визначення. Наприклад, більший, ніж за умовами чартеру, час обробки судна веде до демереджу, який можна розрахувати та довести до уваги зацікавлених сторін. Звісно, кожен договір фрахтування може мати певний ступінь конфіденційності, однак сучасні засоби програмування можуть забезпечити доступ до конфіденційних даних тільки безпосередніх сторін такого договору. Звісно, їм доведеться подолати певний психологічний бар'єр, пов'язаний із внесенням конфіденційних даних чартеру до системи, однак вигоди від можливості наочного уявлення ситуації та прорахування багатьох варіантів її розвитку будуть набагато вищі.

Крім того, достатньо просто з технічного боку реалізується система попереджень про нештатний розвиток ситуації – це стосується не тільки технічних аспектів (таких як можливість відмови обладнання або затримки судна через його неморехідність), але й економічних аспектів також – менеджер судна буде попереджений про можливі економічні втрати при невчасному врученні нотиса про готовність судна або поганої зачистки, наприклад, вантажних приміщень. В останньому випадку менеджер судна може прорахувати варіанти вирішення проблеми зачистки трюмів: залучити додаткові сили екіпажу з виплатою понаднормових або ризикнути пред'явити трюми, зачищені звичайним составом палубної команди, що може привести до вимоги повторної зачистки. Якщо згідно з чартером є запас часу, це може бути економічно виправданим. Крім того, програма може вирахувати і сам час зачистки на основі надбаного свого досвіду та досвіду інших аналогічних суден, а також розрахувати понаднормові для екіпажу та витрати на додаткову роботу судових механізмів.

Взята загалом система виглядає доволі складною, тому для більш якісного технічного її рішення доцільно розбити усю систему на окремі фрагменти, поступово її ускладнюючи та вдосконалюючи, виходячи з вже працюючих сегментів. Розглянемо один із таких окремих сегментів на прикладі взаємодії судна та контролю Держави порту. Оскільки ступінь налагодженості такої взаємодії має прямий вплив на якість роботи судна, окрема частина електронної системи взаємодії судно-порт-вантаж точно має бути присвячена контролю Держави порту. Так звана «паперова робота» займає багато часу, досить часто не може виконуватися паралельно з вантажними операціями, потребує багато уваги, є нецікавою і може коштувати досить дорого з позиції можливих помилок. Тому є прямий резон комп'ютеризувати цю працю та робити її завчасно – ще на підході до порту. Деяка частина такої роботи вже виконується – наприклад, в Індії вже давно існує система завчасної подачі декларацій про баластну воду. Старший помічник капітана

заповнює таку форму в режимі онлайн ще на підході до порту, що дає змогу представникам портового контролю завчасно проаналізувати її та виробити рішення щодо проведення інспекції судна та її об'єму. Нині немає технічних проблем для розповсюдження цієї практики не тільки на баласт, але й на інші аспекти контролю Держави порту [10].

Як відомо, в наш час існують два основних шляхи в оцінці ризиків з позиції контролю Держави порту: загальний (відомий також під назвою «принцип парасольки», або «принцип ковдри») та виборчий (селективний). У першому випадку Держава порту перевіряє усі судна, що заходять до її портів, на загальній основі, при цьому об'єм усіх перевірок є однаковим (як правило – максимальним). У другому випадку Держава порту провадить попередню оцінку ризиків для кожного судна, після чого приймається рішення про необхідність проведення інспекції та її об'єм. Другий підхід, незважаючи на досить великий об'єм попередньої роботи, може скоротити час перевірок та ресурси, необхідні для їх проведення.

Більшість країн вибирають селективний підхід, хоча методи його здійснення можуть бути суттєво відмінними. У загальному випадку органи контролю Держави порту аналізують інформацію, що є по цьому судну, таку як, наприклад, вік судна, його прапор, тип судна, історію попередніх заходів (чи були зауваження під час попередніх перевірок) та інші дані, які існують. Базуючись на такому аналізі, приймають рішення про проведення перевірки судна та її об'єм. Проблема більшості процедур полягає в тому, що служба контролю певного порту може не мати інформації з історії суднозаходів цього судна, а іноді і базової інформації про судно до його прибуття. Таким чином, завчасне планування стає неможливим.

Крім того, судно могло не заходити у цей порт взагалі або в осяжному минулому, внаслідок чого історія відсутня у файлах порту. Така ситуація типова в наш час для українських портів з огляду на зменшену кількість заходів суден. У такій ситуації міг би допомогти аналіз результатів перевірок суден в інших портах, він мав би також суттєво полегшити планування та проведення інспекцій.

Таким чином, можна запропонувати в рамках єдиної системи взаємодії судно-порт-вантаж створити систему оцінки ризиків із позиції контролю Держави порту (рис. 2), яка б враховувала таку інформацію:

- про судно (рік будівництва, тип, розмір, прапор, класифікаційне товариство, судновласник/менеджер), надається завчасно в електронній формі;
- інформація із загальної бази даних контролю Держави порту України (історія заходів певного судна до українських портів – кількість, строки, найменування портів, кількість зауважень та їх характер, строки усунення зауважень, чи були повторні зауваження, чи були затримання);
- меморандуми про взаєморозуміння (Паризький, Токійський, Чорноморський та інші);
- інформація, отримана безпосередньо від колег з інших країн – наприклад, інформація про видані разові дозволи на перехід;
- інформація ІМО (база даних GISIS);
- відомості, отримані від третіх осіб – членів екіпажу, профспілок, професійних об'єднань або будь-яких інших юридичних або фізичних осіб, зацікавлених у безпеці судна.

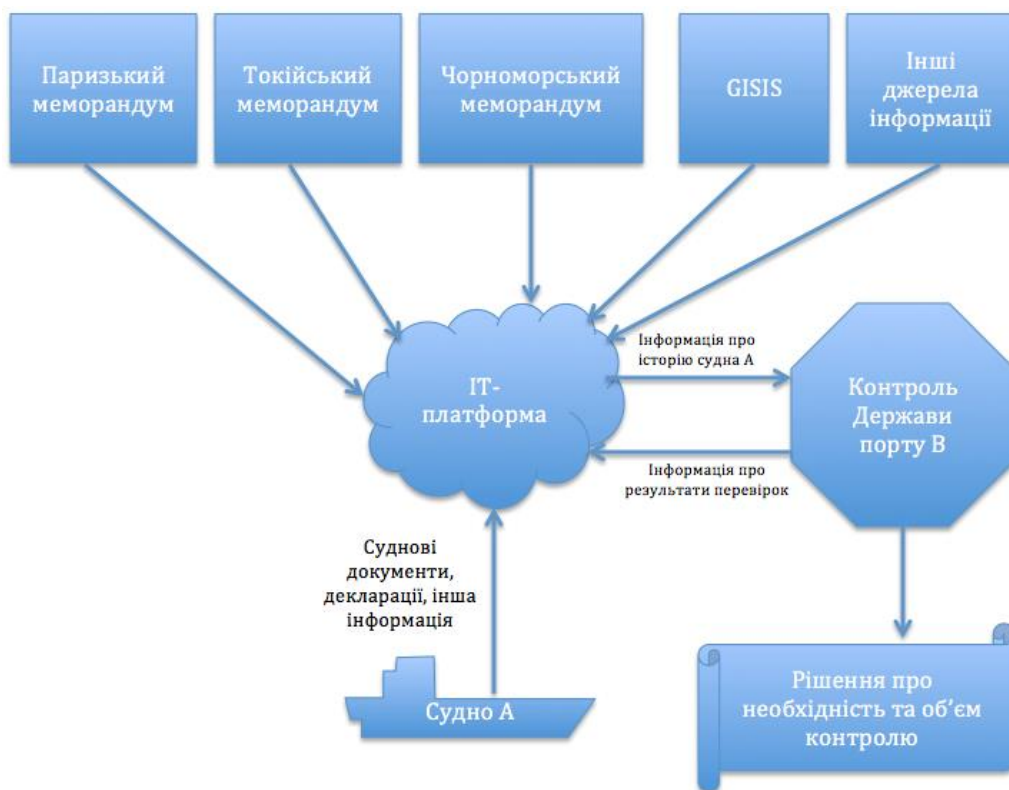


Рис. 2. Схема попередньої взаємодії судна з контролем Держави порту

Треба зауважити, що немає сенсу аналізувати інформацію за період, більший ніж десять років, оскільки стан судна може змінюватись достатньо швидко, а крім того, можуть змінюватися назва, прапор судна, його власник, класифікаційне товариство та інше.

Слід також враховувати джерело інформації, бо існують різні методи оцінки безпеки судна, тому можуть мати право на існування спеціальні коефіцієнти для різних меморандумів, наприклад. Крім того, слід враховувати серйозність зауважень, які були відображені в протоколах минулих перевірок.

Для досягнення максимальної простоти використання системи пропонується базувати систему оцінки на 10-бальній шкалі, де 0 – мінімальний ризик, а 10 – максимальний. Ця шкала має періодично переглядатися і корегуватися на постійній основі, особливо в початковий період роботи системи. Система остаточної оцінки ризиків також має періодично переглядатися задля покращення її функціонування, результатом роботи системи має бути чітке рішення – чи провадити перевірку і, якщо провадити, в якому об'ємі.

Як вже було описано вище, оцінку ризиків із позиції контролю Держави порту потрібно виконувати, базуючись на статистичних даних, зібраних із різних джерел, – це дасть максимум об'єктивності процесу оцінки. Крім того, видається розумним ввести систему додаткових штрафних балів, якщо, наприклад, судно мало кілька зауважень поспіль, особливо якщо ці зауваження стосувалися таких порушень.

Якщо контроль Держави порту отримає достовірну інформацію про порушення, перевірка має провадитися в будь-якому разі, незалежно від висновків системи.

На основі отриманих даних формується електронна база даних суден, в якій зберігаються уся отримана інформація, результати перевірок та усі документи, з ними пов'язані. Усі судна, які відвідують порт, заносяться до такої бази даних та зберігаються там на весь період існування (потім дані переміщуються до архіву, оскільки історія навіть вже списаних суден свідчить про рівень роботи компанії-судновласника і має впливати на її рейтинг при оцінці ризиків). Крім того, важливо заносити судно до бази даних під номером ІМО, щоб зміна назви та/або власника не впливала прямо на рейтинг судна (звісно, новий власник може поліпшити або погіршити цей рейтинг, та важливо аби при зміні назви він не обнулювався взагалі і судно не було розцінене як таке, що ще не було у порту).

У разі прийняття рішення про проведення перевірки треба визначитись з її глибиною (тільки документальна перевірка, або відразу більш детальна). Заздалегідь, ще до впровадження системи, потрібно передбачити алгоритм розрахунку її економічної вартості для запобігання невиправданих затримок судна, які є неприйнятними. Треба пам'ятати, що деякі перевірки можуть коштувати набагато більше, ніж ті збитки, які вони мають попередити.

Тут потрібно зауважити, що методи оцінки ризиків зі сторони порту, або судна будуть різні: це пов'язано з різними типами цих ризиків. Звісно, відрізняються і ризики, що потрібно оцінити з однієї зі сторін, наприклад, зі сторони судна. Це також веде до вибору різних методів їх оцінки. Приклади можливого застосування різних методів оцінки ризиків до різних ситуацій наведено в таблиці 1. Потрібно зазначити, що з отриманням досвіду подібних розрахунків методи обчислення певного ризику потрібно буде аналізувати та, в разі потреби, змінювати на альтернативні для досягнення більш вірогідних та оптимальних (з позиції витрат та ресурсів) результатів.

Так, наприклад, контроль Держави порту може приймати рішення про ступінь інспектування судна за допомогою простої матриці ризиків, де практично усі дані вже є або можуть бути представлені у цифровому вигляді. Індeksi ризиків також можуть бути застосовані в цьому випадку. У разі потреби задачу можна ускладнити – якщо нам потрібно прорахувати можливість технічних відмов або аварій за участі певного судна (якщо йдеться про термінал, де перевантажуються небезпечні вантажі, наприклад (друга строка Табл. 1)). У цьому разі доцільно використовувати статистичний аналіз випадків із подібними суднами на таких терміналах, а не тільки історію цього певного судна.

З позиції судна теж видається можливим застосування оцінки ризиків (наприклад, для оцінки наступного договору фрахтування). Але у цьому випадку краще застосовувати метод Монте-Карло: розглядати фрахтовий договір як наступний проєкт, а сам метод застосовувати з позиції управління проєктами. Як альтернативу у цьому випадку можна розглядати СВА аналіз. Ну а прогнозування погодних умов і вибір оптимального з позиції погоди шляху судна рекомендується робити за допомогою Марківського аналізу (що вже давно застосовується для прогнозування погоди) [11; 12].

Таблиця 1

**Приклади можливого застосування різних методів оцінки ризиків**

Хто оцінює	Приклад параметру, що потрібно оцінити (ризик)	Можливий метод оцінки ризиків	Альтернативний метод оцінки ризиків
Порт (Контроль держави порту)	Вибір методу інспектування судна	Матриця «наслідок-імовірність»	Індекси ризиків
Порт (менеджмент)	Можливість аварії за участі певного судна	Статистичний аналіз	Матриця «наслідок-імовірність»
Судно	Вибір шляху з урахуванням прогнозу погоди	Марківський аналіз	Статистичний аналіз
Судно	Вибір оптимальної з позиції фінансів пропозиції фрахту	Монте-Карло	СВА аналіз
Вантаж (фрахувальник)	Вибір найкращого для перевезення певного вантажу судна	Матриця «наслідок-імовірність»	Багатокритерійне аналізування рішень (MCDA)
Вантаж (фрахувальник)	Вибір порту призначення	Багатокритерійне аналізування рішень (MCDA)	Матриця «наслідок-імовірність»

**Висновки.** Резюмуючи усе вищесказане, пропонується здійснити прямий контакт основних учасників морського транспортного процесу (судно-порт-вантаж) у режимі реального часу у віртуальному просторі. При цьому використати усі сучасні можливості ІТ-технологій, у першу чергу прогнозування різних сценаріїв розвитку подій за допомогою глибокої оцінки ризиків задля скорочення невиробничого часу суден, зайвих витрат пального та пов'язаних із цим шкідливих викидів, а також оптимізації робочого процесу персоналу як на судні, так і на березі.

Звісно, починати впровадження такої системи логічно з одного або кількох портів, щоб потім врахувати помилки та недоліки, які обов'язково виявляться в такій досить складній системі, потім поширити таку електронну систему комунікації на усі порти країни і запропонувати використовувати її на регіональному рівні. При цьому слід визначити, що найбільшої ефективності така система може досягти тільки в разі її впровадження на глобальному рівні. Навіть якщо нею будуть користуватися не всі судна (наприклад, тільки судна, більші за певний розмір) і не всі порти (наприклад, тільки порти з певним вантажопотоком), це суттєво змінить ситуацію в морській транспортній сфері на краще.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Офіційна інтернет сторінка порту Роттердам. URL: <https://www.portofrotterdam.com/en/shipping/sea-shipping/other/port-call-optimisation>; <https://www.portofrotterdam.com/en/tools-services/pronto> (дата звернення 18.01.2019)
2. Fox, M. & Herden, D. Ship Scheduling of Fertilizer Products, OR Insight (June 1999).

3. Judith Mulder and Rommert Dekker. Optimization in container liner shipping. Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam, the Netherlands. Econometric Institute Report 2016-05
4. Ingrid I.E.M. Römers. Port Call Optimization in three oil shipping markets. Master thesis Erasmus University Rotterdam International Economics & Business Studies Port and Transport Economics. Rotterdam, October 2013.
5. Tasev A. Innovative instruments for the management of port infrastructure. Presentation to the Honest Thursday Seminar, Odessa, 25 February 2021.
6. Balaban S. IMO 2020 Journey Tradelens. Presentation to the Grain & Maritime Days in Odessa Conference. Odessa. 31 May 2019.
7. Дрозд Т. Создание цифрового коридора на «Транскаспийском международном транспортном маршруте» Презентація на семінарі «Чесний четвер». Одеса, 25 лютого 2021 р.
8. Базаров Д., Комлик С. Модернизация инфраструктуры с точки зрения безопасности и повышения эффективности учета. Presentation to the Grain & Maritime Days in Odessa Conference. Odessa. 31 May 2019.
9. Биколов В. Повышение эффективности использования ресурсов в условиях разрушенной инфраструктуры. Presentation to the Grain & Maritime Days in Odessa Conference. Odessa. 31 May 2019.
10. Офіційна сторінка для заповнення форми декларації про баластну воду Індії. URL: [www.bwmindia.com](http://www.bwmindia.com) (дата звернення 18.01.2019)
11. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines. ISO official web-page URL: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en> (reference date 05.07.2021)
12. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (IEC/ISO 31010:2009, IDT) ДСТУ IEC/ISO 31010:2013. Київ, Мінекономрозвитку України, 2015.

#### REFERENCES

1. Rotterdam port official web-page. URL: <https://www.portofrotterdam.com/en/shipping/sea-shipping/other/port-call-optimisation>; <https://www.portofrotterdam.com/en/tools-services/pronto> (reference date 18.01.2019)
2. Fox, M. & Herden, D. Ship Scheduling of Fertilizer Products, OR Insight (June 1999).
3. Judith Mulder and Rommert Dekker. Optimization in container liner shipping. Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam, the Netherlands. Econometric Institute Report 2016-05
4. Ingrid I.E.M. Römers. Port Call Optimization in three oil shipping markets. Master thesis Erasmus University Rotterdam International Economics & Business Studies Port and Transport Economics. Rotterdam, October 2013
5. Tasev A. Innovative instruments for the management of port infrastructure. Presentation to the Honest Thursday Seminar, Odessa, 25 February 2021
6. Balaban S. IMO 2020 Journey Tradelens. Presentation to the Grain & Maritime Days in Odessa Conference. Odessa. 31 May 2019

7. Drozd T. Creation of the digital corridor on the “Transcaspian International Transport Route” [Sozdanie tsifrovogo koridora na “Tfanskapskiiskom mezhdunarodnom transportnom marshrute”]. Presentation to the Honest Thursday Seminar, Odessa, 25 February 2021.
8. Bazarov D., Komlik S. Modernization of Infrastructure from the security and accounting effectiveness increasing point of view. [Modernizatsiia infrastruktury s toчки zreniia bezopasnosti i povysheniia effektivnosti ucheta.] Presentation to the Grain & Maritime Days in Odessa Conference. Odessa. 31 May 2019.
9. Bikulov V. Increasing of the effectiveness of resources using in the conditions of destroyed infrastructure. [Povyshenie effektivnosti ispolzovaniia resursov v usloviakh razrushennoi infrastruktury.] Presentation to the Grain & Maritime Days in Odessa Conference. Odessa. 31 May 2019.
10. Official BWM forms web-page of the Port State Control of India. URL: [www.bwmindia.com](http://www.bwmindia.com) (reference date 18.01.2019)
11. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines. ISO official web-page URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en> (reference date 05.07.2021)
12. Risk Management. Methods of general risk assessment [Keruvannia ryzykom. Metody zahalnoho otsiniuvannia ryzyku.] (IEC/ISO 31010:2009, IDT) ДСТУ IEC/ISO 31010:2013, Kyiv, Ministry of economic development of Ukraine, 2015.

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.073:656.136

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.06>

### МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОПОЇЗДІВ

**Р.А. Хабутдінов<sup>1</sup>, Т.О. Костюк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., професор,

завідувач кафедри транспортних технологій,  
Національний транспортний університет, Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-1329-5739

<sup>2</sup>аспірант кафедри транспортних технологій,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-8608-517X

#### **Анотація**

*Автопоїзди, що використовуються для виконання міжнародних вантажних перевезень, нині являють собою широкий модельний ряд автомобільної техніки, який постійно оновлюється і до якого висувається низка вимог (ресурсозбереження, екологічність, паливна економічність тощо). У процесі обґрунтування оновлення парку автопоїздів необхідно враховувати велику різноманітність їх конструктивних параметрів та широкий діапазон дорожніх умов перевезень. До того ж дуже капіталоемний, наукоємний процес оновлення парку має відповідати концептуальній ідеї інноваційного і експлуатаційно-технологічного енерго- і ресурсозбереження (ІЕТЕРЗ) на автотранспорті. Наявні методи аналізу ефективності та вибору рухомого складу, які використовуються для вирішення задач організації міжнародних автомобільних перевезень, не забезпечують технологічно-інноваційні проекти транспортних процесів і не відповідають концепції ІЕТЕРЗ, тому що вони базуються на розрахункових схемах віртуального транспортування вантажів і пасажирів. Крім того, в цих схемах враховуються нематеріальні вимірювачі результатів перевезень – тоннокілометр або пасажирокілометр. Тому для подолання вказаних принципових недоліків наявної теорії організації автомобільних перевезень і забезпечення концептуального підходу до оновлення парку автопоїздів використані принципи, розрахункові схеми і математичні моделі теорії енерго-ресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу і технологічних процесів автомобільних перевезень (ЕРЕАТПАП), яка розроблена на кафедрі транспортних технологій Національного транспортного університету.*

*У статті показані результати моделювання та аналізу впливу зміни деяких конструктивних параметрів автопоїзда як ресурсно-технічного засобу транспортного виробництва на його транспортну енергоефективність, а також виявлена перспективність практичної реалізації на автотранспорті концептуальної ідеї інноваційного і експлуатаційно-технологічного енерго- і ресурсозбере-*

ження (ІЕТЕРЗ), яка може бути використана для обґрунтування оновлення парку рухомого складу.

Метою роботи є представлення результатів проведення моделювання та отримання кількісних характеристики впливу зміни деяких конструктивних параметрів автопоїзда на показник його транспортної енергоефективності.

Результати статті можуть бути впроваджені в міжнародних транспортних компаніях, що здійснюють перевезення вантажів.

**Ключові слова:** автопоїзд, транспортна енергоефективність, експлуатаційні та технічні фактори, транспортна операція, концепція енергозбереження.

#### MODELING AND ANALYSIS OF TRANSPORT ENERGY EFFICIENCY OF TRAINS

R.A. Khabutdinov<sup>1</sup>, T.O. Kostiuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DSc, Professor, Head of the Department of Transport Technologies,  
National Transport University, Kyiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-1329-5739

<sup>2</sup>Postgraduate Student at the Department of Transport Technologies,  
National Transport University, Kyiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0001-8608-517X

#### **Summary**

Road trains that nowadays are used for international freight transport include a wide range of automotive equipment, which is constantly updated, and for which a number of requirements (resource conservation, environmental friendliness, fuel economy, etc.) are put forward. When justifying the renewal of the fleet of road trains it is necessary to take into account the great variety of their design parameters and a wide range of road conditions. Besides, the very capital-intensive, science-intensive process of park renewal must correspond to the conceptual idea of innovative and operational-technological energy and resource saving (IIOTERS) in motor transport. Existing methods of efficiency analysis and rolling stock selection, which are used to solve the problems of international road transport, do not provide technological and innovative projects of transport processes and do not meet the concept of IIOTERS because they are based on calculation schemes of virtual transportation of goods and passengers. In addition, these schemes take into account intangible meters of transportation results – ton-kilometer or passenger-kilometer. Therefore, to overcome these fundamental shortcomings of the theory of road transport and in order to provide a conceptual approach to the renewal of the fleet of trains used principles, calculation schemes and mathematical models of the theory of energy efficiency of the generalized type and technological processes of road transport (TEEGTTPRT) was designed by Department of Transport Technologies of the National Transport University.

The article shows the results of modeling and analysis of the impact of changes in some constructive parameters of the road train as a resource and technical means of transport production on its transport energy efficiency, as well as the prospects of practical implementation of the conceptual idea of innovative and operational-technological energy and resource saving (IIOTERS), which can be used to justify the renewal of rolling stock.

*The aim of the work is to present the results of modeling and obtain quantitative characteristics of the impact of changes in some constructive parameters of the road train on the indicator of its transport energy efficiency.*

*The results of the article can be implemented in international transport companies that engaged in the transportation of goods.*

**Key words:** road train, transport energy efficiency, operational and technical factors, transport operation, energy saving concept.

**Вступ.** Для забезпечення керованості процесами розвитку техніки та технологій перевезень згідно з концептуальною ідеєю ІЕТЕРЗ методи підвищення ЕРЕАТПАП необхідно реалізовувати з урахуванням функціональної структури автотранспорту як сфери матеріального виробництва автотранспортних послуг. У роботі [1] представлена ця структура у вигляді сукупності трьох функціональних компонентів автотранспорту: а) управляюча надбудова транспорту (УНТ), в яку входять капіталовласники, управлінці, організатори, транспортні інженери, економісти та маркетологи; б) ресурсно-технологічна база (РТБ) – це сукупність всіх технологічних (технічних, енергетичних, трудових) ресурсів автотранспорту, моделей і методів аналізу транспортних технологій, а також правил виконання транспортних і термінальних операцій процесів перевезень; в) транспортно-технологічні процеси (ТТП), які базуються на схемах енергетичного перетворення технологічних ресурсів у фізичний продукт автотранспорту. Стратегічна задача УНТ полягає у взаємозлагодженій та гармонізованій реалізації концептуальної ідеї ІЕТЕРЗ в усіх трьох вищезгаданих компонентах автотранспорту для довгострокового концептуально-інноваційного управління розвитком РТБ і ТТП [1]. Оперативні задачі УНТ полягають в організації доставки вантажів і пасажирів при поточному незмінному стані РТБ та ТТП.

**Постановка проблеми.** У роботах [1; 4; 6] під автотранспортною технологією (АТТ) розуміється операційно-доцільна і формалізована сукупність матеріально-креативних, машинно-енергетичних і ергатичних способів створення якісного продукту автотранспорту з урахуванням виробничих вимог до транспортної операції, умов руху і комплексу властивостей автомобіля як носія технічних ресурсів. Звідси витікає, що в разі концептуального обґрунтування міжнародних автопоїздів необхідно використати їх технологічно-суттєві показники транспортної енергоефективності та врахувати моделі аналізу основних компонент АТТ: способів створення продукту, енерго-перетворювального механізму забезпечення виробничих вимог до транспортної операції, комплексу ресурсно-технічних властивостей автопоїзду, умов руху і фізичного продукту автотранспорту. Крім того, в методиці вибору автопоїздів необхідно враховувати еволюцію конструктивних параметрів АТЗ, а також різноманіття умов перевезень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** у напрямі організації внутрішніх і міжнародних автомобільних перевезень показує, що в них використовуються відомі показники продуктивності АТЗ і собівартості перевезень, які базуються на аксіомах і розрахункових схемах віртуального і нетехнологічного руху автомобілів. У цих схемах не враховуються процеси енергетичного перетворення технологічних ресурсів у продукт автотранспорту, процедури і процеси транспортних

технологій, впливи конструктивно-технічних, дорожніх і транспортно-експлуатаційних факторів. У роботах Р.А. Хабутдінова, І.В. Хмельова [1; 5; 7; 9] розглядається суттєво новий та актуальний метод технологічно-інноваційного підвищення транспортної енергоефективності автомобільних перевезень у процесі оновлення рухомого складу.

**Формулювання цілей статті.** У статті як приклад наведено результати моделювання функціонування автопоїзду як ресурсо-технічного засобу виробництва з використанням методики імітаційно-тестового аналізу [4]. Розглядається вплив максимальної потужності двигуна ( $Nm$ ) і радіусу колеса ( $Rk$ ) на показники транспортної енергоефективності автопоїзду DAF FTR – 95 xF. На основі таких результатів досягається можливість прогнозування придатності різних варіантів автопоїзду DAF до енергозберігаючих технологій. Згідно з метою вирішені такі задачі: а) вибір розрахункових схем транспортних операцій; б) адаптація математичних моделей показників енергоефективності до руху автопоїздів згідно з концепцією ІЕТЕРЗ [1; 3; 8]; в) моделювання та аналіз впливу таких конструктивних параметрів, як потужність двигуна і радіус ведучого колеса сідельного тягача на показник енергоефективності.

**Виклад основного матеріалу.** У роботах [1; 3; 10] встановлено, що для формування методики концептуального обґрунтування автомобілів із технічною новизною необхідно забезпечити: а) використання нового принципу DDT (developed and described technology), замість наявного в теоріях економіки та організації транспортного процесу принципу FUT (freezing undescribed technology); б) максимізацію значення показників транспортної енергоефективності нових автомобілів; в) етапне (за періодами планування інвестицій) підвищення енерготехнологічної ефективності проєктів перевезень; г) довгострокове планування високо-технологічного ресурсо- і енергозберігаючого виробництва автотransпортних послуг.

Вказані вище задачі не можуть бути вирішені з використанням відомих показників продуктивності АТЗ і собівартості перевезень [2]. Математичні моделі цих показників є непридатними для удосконалення транспортних технологій, тому в роботі [4] встановлено, що ідеєю удосконалення транспортних технологій є поетапне підвищення величини показника енерговіддачі  $\rho_e$  (в окремому випадку – показника ресурсовіддачі  $\rho_R$ ) перевезень. Для реалізації цієї ідеї при обґрунтуванні нового рухомого складу використовується безрозмірний показник транспортної енергоефективності АТЗ. Його величина визначається по формулі:

$$P_e = \rho_e / \rho_{ет} \quad (1)$$

де  $\rho_e$  – показник транспортної енерговіддачі нового АТЗ на розрахунковому маршруті, який враховує енергоефективність нового АТЗ у тестових операціях (міському, магістральному, змішаному і еталонному), розрахункову долю роботи АТЗ у міських умовах і розподілення пробігу АТЗ по категоріях доріг [4];  $\rho_{ет}$  – еталонне значення показника транспортної енерговіддачі АТЗ.

На основі (1) отримана наступна розрахункова формула показника транспортної енергоефективності АТЗ:

$$P_e = \frac{k_{vp} \cdot \gamma_{cm}}{k_{ep} (\eta_q + \gamma_{cm})}, \quad (2)$$

де  $k_{vp}$  – безрозмірний коефіцієнт середньої швидкості АТЗ на розрахунковому маршруті,  $k_{vp} = V_{cp} / V_{et}$ , де  $V_{cp}$  – середня швидкість АТЗ на розрахунковому маршруті,  $V_{et}$  – еталонна (постійна) швидкість АТЗ;  $k_{ep}$  – безрозмірний паливний коефіцієнт пробігу АТЗ на розрахунковому маршруті,  $k_{ep} = Q / Q_{et}$ , де  $Q$  – величина витрати палива АТЗ на розрахунковому маршруті,  $Q_{et}$  – еталонна витрата палива;  $\eta_q$  – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ;  $\gamma_{ct}$  – коефіцієнт використання вантажності АТЗ.

У цій формулі показники  $k_{vp}$  і  $k_{ep}$  являють собою дві функціональні залежності від множини конструктивних параметрів автопоїзда, що можна відобразити таким чином:

$$k_{vp} = f_1(Nm, Rk, U_{ki}, U_0, \dots), \quad k_{ep} = f_2(Nm, Rk, U_{ki}, U_0, \dots),$$

де  $Nm$  – максимальна потужність двигуна автопоїзда,

$Rk$  – радіус ведучого колеса тягача,

$U_{ki}$  та  $U_0$  – передаточні числа коробки передач і головної передачі. Згідно з цими залежностями розглядається вплив конструктивних параметрів на показник транспортної енергоефективності автопоїзда.

Розрахункова формула для визначення коефіцієнтів швидкості  $k_v$  і пробігу  $k_e$  в тестових операціях мають такий вигляд:

$$k_v = \frac{\alpha_1(a_2 - a_3 \cdot \psi_{cp})}{a_4 \cdot t_p + \alpha_5}, \quad (3)$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  – постійні параметри, які визначаються для тестових транспортних операцій з урахуванням наданих умов руху АТЗ та його конструктивних параметрів;  $\psi_{cp}$  – середнє значення коефіцієнта опору дороги,  $t_p$  – час розгону АТЗ до розрахункової швидкості в наданій тестовій операції.

Значення коефіцієнту швидкості АТЗ на розрахунковому маршруті визначається за формулою:

$$k_{vp} = k_{v_2} \cdot \alpha_z + k_{vm} \cdot (1 - \alpha_z), \quad (4)$$

де  $\alpha_z$  – частка часу роботи автопоїзду в міських умовах,  $k_{v_2}$  і  $k_{vm}$  – значення коефіцієнтів швидкості для міського і магістрального тестових операцій відповідно.

Величина коефіцієнту пробігу  $k_e$  в тестових операціях визначається таким чином:

$$k_e = \frac{b1 \cdot (b2 \cdot \psi + b3) \cdot k_d \cdot H \cdot \rho}{b4 \cdot q \cdot (\gamma_{cm} + \eta_q) + b5 \cdot H_a \cdot B_a}, \quad (5)$$

де  $k_d$  – коефіцієнт дорожніх умов руху,  $H$  – загальна норма витрати палива на 100 км пробігу;  $\rho$  – об'ємна маса палива ( $\rho = 0,76$  для бензину;  $\rho = 0,84$  для дизельного палива);  $q$  – вантажопідйомність АТЗ, т;  $H_a$  і  $B_a$  – висота і ширина АТЗ, м;  $b1, b2, b3, b4, b5$  – постійні параметри, які визначаються для тестових транспортних операцій з урахуванням умов експлуатації АТЗ та його конструктивних параметрів.

Паливний коефіцієнт пробігу автомобіля для розрахункового маршруту визначається як:

$$k_{ep} = k_{e_2} \cdot \alpha_z + k_{em} \cdot (1 - \alpha_z), \quad (6)$$

де  $k_{e_2}$  і  $k_{em}$  – значення паливних коефіцієнтів пробігу АТЗ для міського і магістрального тестових операцій.

Як приклад далі проаналізовано вплив зміни таких конструктивних параметрів автопоїзду як максимальна потужність двигуна та радіус ведучого колеса тягача на його транспортну енергоефективність, а також на показники витрат палива та енергії автопоїзду DAF FTR – 95 xF у тестовій магістральній операції (при  $\alpha_r=0$ ). У структуру операції входять фази руху автопоїзду з різними постійними швидкостями (3–22 м/с), фази розгону автопоїзду за фіксованого положення педалі подачі палива 85% на різних передачах, фази гальмування, коефіцієнт опору дороги становить  $\psi=0,03$ . На основі розрахункових даних побудовані графіки зміни показників  $P_e$  енергетичної ефективності АП, витрат енергії  $A_c$  і палива  $Q_c$  від зміни максимальної потужності двигуна та радіуса колеса. Такі графіки представлені на рисунках 1, 2, 3.

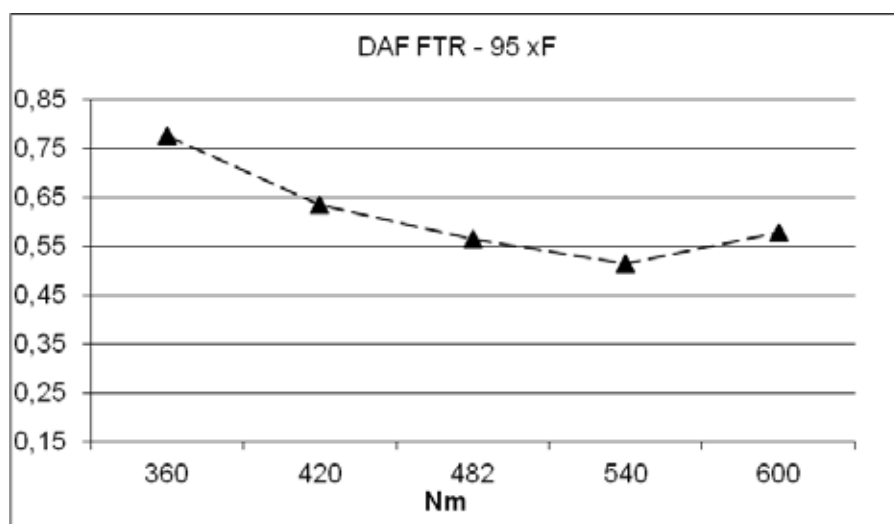


Рис. 1. Графік зміни показника енергетичної ефективності АП на розрахунковому маршруті (при  $\alpha_s = 0$ ) від зміни максимальної потужності двигуна

На основі проведеного розрахунку на прикладі автопоїзду DAF FTR – 95 xF встановлено, що за умови збільшення максимальної потужності двигуна ( $Nm$ ) значення показника енергетичної ефективності ( $Pe$ ) варіюється в межах від 0,51 до 0,76. При цьому найбільшого значення показник енергетичної ефективності набуває при  $Nm= 360$  квт. Тобто в разі збільшення максимальної потужності двигуна показник енергетичної ефективності зменшується на 74%, а після досягнення значення 540 квт спостерігається підвищення показника енергетичної ефективності.

З рисунку 2 видно, що при збільшенні максимальної потужності двигуна ( $Nm$ ) значення показника витрат енергії ( $A_c$ ) збільшується, а мінімального значення 3 МДж набуває при максимальній потужності двигуна 360 квт, при цьому при значенні 540 квт набуває максимального значення 4,5 МДж після чого можемо спостерігати подальший спад значення показника витрат енергії.

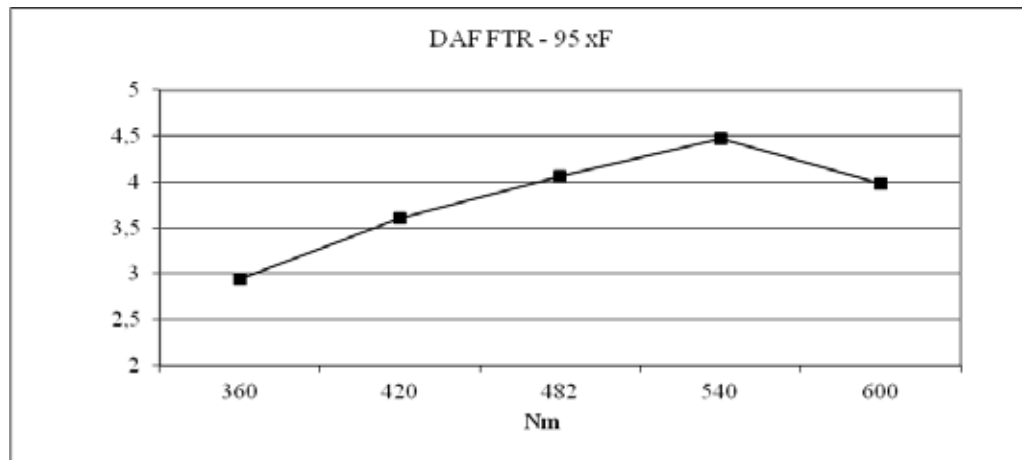


Рис. 2. Графік зміни показника витрат енергії  $A_e$  (Мдж) АП у тестовій магістральній операції від зміни максимальної потужності двигуна

Виявлено, що в разі збільшення показника максимальної потужності двигуна ( $N_m$ ) показник витрат палива ( $Q_c$ ) збільшується та набуває максимального значення 3745,9 г при максимальній потужності двигуна 560 кВт, при цьому мінімальне значення показника витрат палива 1590,33 г досягається при максимальній потужності двигуна в 360 кВт (рис. 3).

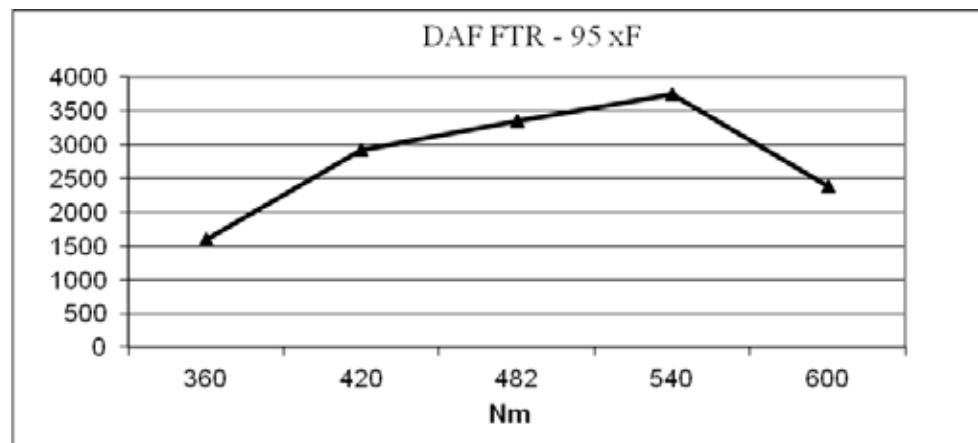


Рис. 3. Графік зміни показника витрат палива  $Q_c$  (г.) АП у тестовій магістральній операції від зміни максимальної потужності двигуна

Встановлено, що в разі збільшення радіусу колеса ( $R_k$ ) значення показника енергетичної ефективності ( $Pe$ ) варіюється в межах від 0,5 до 0,7. При цьому найбільшого значення показник енергетичної ефективності набуває при  $R_k = 0,55$  м. Тобто в разі збільшення радіусу колеса автопоїзда до 0,55 м показник збільшується на 78% порівняно з використанням на більшості сучасних автопоїздів коліс розміром у середньому 0,5 м.

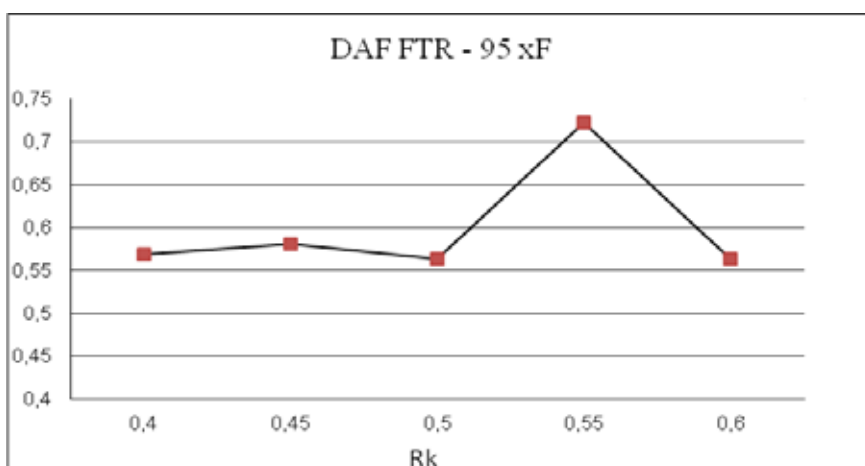


Рис. 4. Діаграма зміни показника енергетичної ефективності АП в тестовій магістральній операції від зміни радіусу колеса

Виявлено, що в разі збільшення радіусу колеса ( $R_k$ ) значення витрат палива ( $Q_c$ ) зменшується. При цьому мінімального значення 1684,25 г показник витрат палива досягає при радіусі колеса 0,55 м. Згідно з діаграмою можна проаналізувати, що значення показника витрат палива при радіусі колеса зменшується на 50%, тобто при радіусі колеса 0,55 м набуває найвигіднішого значення.

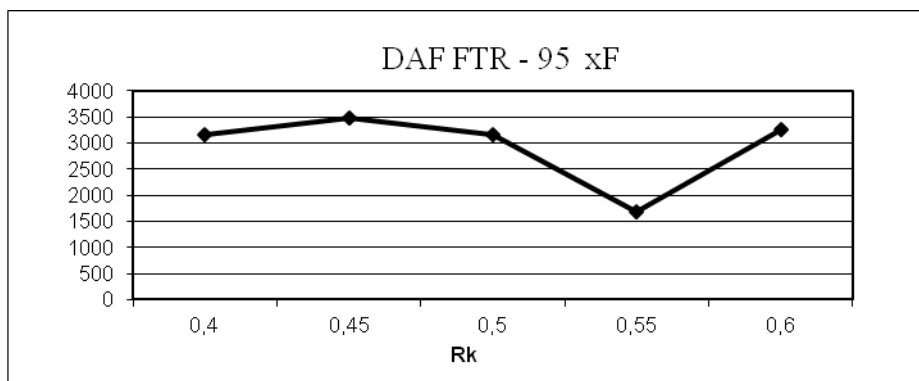


Рис. 5. Діаграма зміни показника витрат палива  $Q_c$  (г) АП в тестовій магістральній операції від зміни радіусу колеса

**Висновки.** Виявлено, що для рішення задач експлуатаційного аналізу транспортної енергоефективності автопоїздів необхідно використовувати адаптовані до структури автопоїзду математичні моделі теорії енергоресурсної ефективності автомобілів та методику їх імітаційного і еталонно-порівнювального аналізу.

Виявлена актуальність практичної реалізації на автотранспорті концептуальної ідеї інноваційного і експлуатаційно-технологічного енерго- і ресурсозбереження (ІЕТЕРЗ).

За результатами операційно-імітаційного моделювання показана достатня чутливість математичних моделей стосовно задач порівнювального аналізу варіантів автопоїздів із технічною новизною, отримано кількісні характеристики впливу зміни таких конструктивних параметрів автопоїзду DAF FTR – 95 xF, як максимальна потужність двигуна і радіус ведучого колеса тягача, на показники його транспортної енергоефективності, витрат палива та енергії.

На основі проведених досліджень обґрунтовано доцільність використання методики імітаційно-тестового аналізу для підвищення транспортної енергоефективності нових автопоїздів як ресурсно-технічних засобів транспортного виробництва з урахуванням зміни їх конструктивних параметрів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Хабутдінов Р.А. Транстехнологічна парадигма і методологія новаційного управління автомобільними перевезеннями. *Вісник Національного транспортного університету*. 2011. № 24. С. 237–240.
2. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. Київ : Вища школа, 1986. 447 с.
3. Хабутдінов Р.А. Методологічні основи транспортно-технологічної енергології. Київ : Збірник наукових праць «Проблеми транспорту». 2006. С. 164–168
4. Хабутдінов Р.А., Коцюк О.Я. Енергоресурсна ефективність автомобіля. Київ, 1997. 197 с.
5. Хмельов І.В., Гусев О.В., Піцик М.Г. Методика аналізу енергетичної ефективності транспортних засобів з урахуванням умов перевезень. *Вісник Національного транспортного університету*. 2014. № 29. С. 348–353.
6. Хабутдінов Р.А. Системна проблема інноваційного розвитку автотранспорту в умовах теоретичного заперечення транспортних технологій і виробництва. *Вісник Національного транспортного університету*. 2016. № 34. С. 491–496.
7. Хабутдінов Р.А., Костюк Т.О. Підвищення енергетичної ефективності вантажних міжнародних автопоїздів згідно концепції інноваційно-технологічного розвитку автотранспорту. *Вісник Національного транспортного університету*. 2017. № 34.
8. Хабутдінов Р.А. Системна концепція енергоресурсної синергії та методологія технологічно-інноваційного управління на автотранспорті. *Вісник Національного транспортного університету*. 2020. № 46. DOI: 10.33744/2308-6645-2020-1-46-365-374.
9. Kostiuk T.O., Khabutdinov, R.A. (2019) The increasing of energy efficiency of international freight truck trains under the concept of energy innovative technologies development motor transport. Lviv, 2019: MATEC Web of Conferences. DOI: 10.1051/MATECCONF/201929401015 (Web of Science: Transportation Science & Technology, WOS:000591512300015, ISSN: 2261-236X) [In English]

10. Khabutdinov R.A., Khabutdinov A.R.(2019) Conceptual-innovative and energy-resource management on motor transport. Lviv, 2019 : MATEC Web of Conferences. DOI 10.1051/MATECCONF/201929401003 (Web of Science: Transportation Science & Technology, Vol. 294, article 01003.//) [In English]

#### REFERENCES

1. Khabutdinov R.A. Transtechnological paradigm and methodology of innovative road transport management [Transtekhnolohichna paradyhma i metodolohiia novatsiinoho upravlinnia avtomobilnymy perevezenniamy]. Bulletin of the National Transport University, 2011. № 24. P. 237–240 [In Ukrainian]
2. Vorkut A.I. Freight road transport [Transtekhnolohichna paradyhma i metodolohiia novatsiinoho upravlinnia avtomobilnymy perevezenniamy]. Kyiv: Higher School, 1986, 447 p. [In Russian]
3. Khabutdinov R.A. Methodological bases of transport-technological energy [Metodolohichni osnovy transportno-tekhnolohichnoi enerholohii]. Kyiv: Collection of scientific works “Problems of transport”, 2006. 164–168 p. [In Ukrainian]
4. Khabutdinov R.A., Kotsyuk O.Ya. Energy efficiency of the car [Enerhoresurna efektyvnist avtomobilia]. Kyiv, 1997. 197 p. [In Ukrainian]
5. Khmelev I.V., Gusev O.V., Pitsyk M.G. Methods of analysis of energy efficiency of vehicles taking into account the conditions of transportation [Metodyka analizu enerhetychnoi efektyvnosti transportnykh zasobiv z urakhuvanniam umov perevezen]. Bulletin of the National Transport University, 2014. № 29. P. 348–353. [In Ukrainian]
6. Khabutdinov R. A Systemic problem of innovative development of motor transport in the conditions of theoretical negation of transport technologies and production[Systemna problema innovatsiinoho rozvytku avtotransportu v umovakh teoretychnoho zaperechennia transportnykh tekhnolohii i vyrobnytstva]. Kyiv: Bulletin of the National Transport University, 2016. № 34. Pp. 491–496. [In Ukrainian]
7. Khabutdinov R.A., Kostyuk T.O. Improving the energy efficiency of international freight trains according to the concept of innovative and technological development of road transport [Pidvyschennia enerhetychnoi efektyvnosti vantazhnykh mizhnarodnykh avtopoizdiv zghidno kontseptsii innovatsiino-tekhnolohichnoho rozvytku avtotransportu]. Bulletin of the National Transport University, 2017. № 34. [In Ukrainian]
8. Khabutdinov R.A. System concept of energy resource synergy and methodology of technological and innovative management on motor transport [Systemna Kontseptsii Enerhoresurnoi Synerhii Ta Metodolohiia Tekhnolohichno-Innovatsiinoho Upravlinnia Na Avtotransporti. Kyiv Visnyk Natsionalnoho Transportoho Universytetu]. Bulletin of the National Transport University, 2020. № 46 [In Ukrainian]

9. Kostiuk, T.O., Khabutdinov, R.A. (2019) The increasing of energy efficiency of international freight truck trains under the concept of energy innovative technologies development motor transport. Lviv, 2019: MATEC Web of Conferences. DOI: 10.1051/MATECCONF/201929401015 (Web of Science: Transportation Science & Technology, WOS:000591512300015, ISSN: 2261-236X) [In English]
10. Khabutdinov R.A., Khabutdinov A.R. (2019) Conceptual-innovative and energy-resource management on motor transport. Lviv, 2019 : MATEC Web of Conferences. DOI 10.1051 MATECCONF/201929401003 (Web of Science: Transportation Science & Technology, Vol. 294, article 01003.//) [In English]

Наукове видання

## РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Випуск 2(9), 2021

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською  
та англійською мовами*

Видається з жовтня 2016 р.

Формат 70×108/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 7,88.  
Замов. № 0721/265. Наклад 200 прим.

---

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефон +38 (048) 709 38 69  
+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.

Scientific publication

# TRANSPORT DEVELOPMENT

**Scientific journal**

**Issue 2(9), 2021**

Founded by Odessa National Maritime University

*In Ukrainian, Russian and English*

Since October 2016

Format 70×108/16. Times New Roman Font.  
Offset. Digital printing. Conventional printed sheet 7.88.  
Order No 0721/265. Edition of 200 copies.

---

Publishing House “Helvetica”  
65101, Ukraine, Odessa, 6/1 Inglizi St.  
Phone +38 (048) 709 38 69  
+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Certificate of publishing entity  
ДК № 6424 as of 04.10.2018