

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

*Науковий журнал*

**ВИПУСК 2(21), 2024**

*Заснований у жовтні 2016 року*



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

**ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ  
НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

№ 2(21)  
2024

Заснований у жовтні 2016 року

Виходить 4 рази на рік

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:  
Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення  
№ 1547 від 09.05.2024 року

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

**Засновник:**

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

**Редакційна колегія:**

Головний редактор – д.т.н., проф. *Руденко С.В.*  
Заступник головного редактора – д.е.н., проф. *Савельєва І.В.*  
Відповідальний секретар – д.т.н., доц. *Мінчев Д.С.*

**Члени редакційної колегії:**

*Варбанець Р.А.*, д.т.н., проф., ОНМУ;  
*Дубровський М.П.*, д.т.н., проф., ОНМУ;  
*Єгутов К.В.*, д.т.н., проф., ОНМУ;  
*Постан М.Я.*, д.е.н., проф., ОНМУ;  
*Кириллова О.В.*, д.т.н., проф., ОНМУ;  
*Ланкіна І.О.*, д.е.н., проф., ОНМУ;  
*Пітерська В.М.*, д.т.н., проф., ОНМУ;  
*Малаксіано М.О.*, д.т.н., проф., ОНМУ;  
*Немчук О.О.*, к.т.н., доц., ОНМУ;  
*Мельников С.В.*, к.е.н., доц., ОНМУ;  
*Філіна-Давидович Л.С.*, д.т.н., Західноморський технологічний університет, Щецин, Польща;  
*Аймелек Мурат*, PhD, Ізмірський університет імені Катіна Челебі, Туреччина;  
*Малекі Вішкіаї Бехзад*, PhD, Вільний міжнародний університет соціальних досліджень імені Гвідо Карлі, Італія;  
*Колмикова Анна*, DSc, Бременський університет, Німеччина;  
*Любомиров Славі Ясенов*, PhD, Пловдивський університет імені Паїсія Глендарського, Болгарія;

*Духовник Йосе*, DSc, Люблянський університет, Словенія;  
*Гасанов В.*, д.т.н., проф., Азербайджанська державна морська академія, Азербайджан;  
*Садигов В.*, к.т.н., доц., Азербайджанська державна морська академія, Азербайджан;  
*Дашковський Сергій*, DSc, Вюрцбурзький університет імені Юліуса та Максиміліана, Німеччина;  
*Клюс Олег*, DSc, Морська Академія в Щецині, Польща;  
*Цисар Чаба*, PhD, Будапештський університет технології та економіки, Угорщина;  
*Нзок Ан Міл*, PhD, Технологічний університет Кочі, Японія;  
*Медведев Олександр*, DSc, Інститут транспорту та зв'язку, Латвія;  
*Попова Олена*, DSc, Інститут транспорту та зв'язку, Латвія;  
*Мезітіс Марекс*, DSc, Транспортна академія, Латвія;  
*Нам Кю Парк*, PhD, Університет ТонгМьонг, Південна Корея.

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Одеського національного морського університету  
(протокол № 12 від 26.06.2024 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(21), 2024**

*Founded in October 2016*



Publishing House  
"Helvetica"  
2024

ODESSA  
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY  
TRANSPORT DEVELOPMENT  
SCIENTIFIC JOURNAL

№ 1(20)  
2024

Founded in October 2016

Frequency: four times a year

Registration of Print media entity:  
Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine  
No. 1547 as of 09.05.2024

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

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

**Editorial Board:**  
Editor-in Chief: Doctor of Engineering, Professor *Rudenko S.V.*  
Deputy Editor-in Chief: DSc, Professor *Savelieva I.V.*  
Executive Secretary: DSc, Associate Professor *Minchev D.S.*

**Editorial Board Members:**

DSc, Prof. *Varbanets R.A.*, ONMU;  
DSc, Prof. *Dubrovskiy M.P.*, ONMU;  
DSc, Prof. *Yehupov K.V.*, ONMU;  
DSc, Prof. *Postan M.Ia.*, ONMU;  
DSc, Prof. *Kyryllova O.V.*, ONMU;  
DSc, Prof. *Lapkina I.O.*, ONMU;  
DSc, Prof. *Piterska V.M.*, ONMU;  
DSc, Prof. *Malaksiano M.O.*, ONMU;  
PhD, Associate Prof. *Nemchuk O.O.*, ONMU;  
PhD, Associate Prof. *Melnykov S.V.*, ONMU;  
*Filina-Davidovych L.S.*, Doctor of Engineering,  
West Pomeranian University of Technology,  
Szczecin, Poland;  
*Aymelek Murat*, PhD, Izmir Katip Celebi University,  
Turkey;  
*Maleki Vishkaei Behzad*, PhD, Luiss University,  
Italy;  
*Kolmykova Anna*, DSc, University of Bremen,  
Germany;  
*Lyubomirov Slavi Yassenov*, PhD, University  
of Plovdiv Paisii Hilendarsk, Bulgaria;

*Duhovnik Joze*, DSc, University of Ljubljana, Slovenia;  
*Gasanov V.*, Doctor of Engineering, Professor,  
Azerbaijan State Marine Academy, Azerbaijan;  
*Sadigov V.*, PhD in Engineering, Associate Professor,  
Azerbaijan State Marine Academy, Azerbaijan;  
*Dashkovskiy Sergey*, DSc, Julius-Maximilians  
University of Wurzburg, Germany;  
*Klyus Oleh*, DSc, Maritime University of Szczecin,  
Poland;  
*Csiszar Csaba*, PhD, Budapest University  
of Technology and Economics, Hungary;  
*Ngoc An Minh*, PhD, Kochi University  
of Technology, Japan;  
*Medvedev Alexander*, DSc, Transport  
and telecommunication institute, Latvia;  
*Popova Jelena*, DSc, Transport  
and telecommunication institute, Latvia;  
*Mezitis Mareks*, DSc, Transport Academy, Latvia;  
*Nam Kyu Park*, PhD, TongMyong University,  
South Korea.

Recommended for printing by the Academic Council of Odessa National Maritime University  
(Minutes No 12 dated June 26, 2024)

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

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

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

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

З М І С Т

**МЕНЕДЖМЕНТ**

**В.В. Щербина**  
Зернова логістика в забезпеченні сталого розвитку міст та регіонів.....7

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

**О.В. Грицюк**  
Аналіз присутності прогресивних рішень вітчизняного високообертового малолітражного дизеля у двигунах світового автомобільного транспорту.....17

**О.В. Єриганов, В.Ю. Гунченко, В.С. Глєбов**  
Визначення геометричних розмірів деталей кривошипно-шатунного механізму за результатами індиціювання.....28

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)**

**Ю.А. Бондаренко, С.П. Онищенко**  
Система техніко-експлуатаційних показників роботи суден-контейнеровозів у рамках лінійних сервісів.....35

**О.О. Волохов, О.В. Щербина**  
Проблеми та перспективи розвитку річкового транспорту в Україні.....51

**О.В. Кириллова, В.Ю. Кириллова, О.Р. Магамадов, В.Л. Ромах**  
Smart port: новітні технології і міжнародний досвід їх упровадження .....62

**Н.Л. Костьян**  
Реалізація нейро-нечіткої моделі для оцінювання ефективності транспортної системи.....75

**В.І. Літвяк, О.В. Щербина**  
Сучасний стан контейнерних перевезень через українські порти Дунаю.....88

**Г.О. Черепашук, О.П. Потильчак, Т.В. Бикова**  
Оптимізація процесу завантаження контейнерів під час контейнерних перевезень.....100

**Д.С. Шапошніков, Л.М. Белаковський, Л.О. Заборський**  
Аналіз альтернативних схем доставки українських вантажопотоків.....111

C O N T E N T S

---

**MANAGEMENT**

<b>V.V. Shcherbyna</b> Grain logistics in ensuring sustainable development of cities and regions.....	<b>7</b>
---	----------

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING**

<b>O.V. Grytsyuk</b> Analysis of the presence of advanced solutions of the domestic high-revving small-capacity diesel in the engines of the world automobile transport.....	<b>17</b>
<b>O.V. Yeryganov, V.Yu. Gunchenko, V.S. Glebov</b> Calculation of crank mechanism geometric dimensions according to the results of performance diagram.....	<b>28</b>

**TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPE)**

<b>Yu.A. Bondarenko, S.P. Onyshchenko</b> Container shipping lines performance indicators system .....	<b>35</b>
<b>O.O. Volokhov, O.V. Shcherbina</b> Problems and prospects of river transport development in Ukraine.....	<b>51</b>
<b>O.V. Kyryllova, V.Yu. Kyryllova, O.R. Mahamadov, V.L. Romakh</b> Smart port: the latest technologies and international experience in their implementation.....	<b>62</b>
<b>N.L. Kostian</b> Implementation of a neuro-fuzzy model for evaluating the efficiency of the transport system.....	<b>75</b>
<b>V.I. Litviak, O.V. Shcherbyna</b> The current state of container transportation via the Ukrainian ports of the Danube.....	<b>88</b>
<b>G.O. Cherepashchuk, O.P. Potylchak, T.V. Bykova</b> Optimization of the process of loading containers during container transportation.....	<b>100</b>
<b>D.S. Shaposhnikov, L.M. Belakovskiy, L.O. Zaborskiy</b> Analysis of Ukrainian freight flows alternative delivery schemes.....	<b>111</b>

## МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 658.7:633.1

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.01>

### ЗЕРНОВА ЛОГІСТИКА В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСТ ТА РЕГІОНІВ

**В.В. Щербина**

к.е.н., доцент, доцент кафедри «Підприємництво та туризм»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-3917-3617

#### *Анотація*

**Вступ.** Одними з найважливіших цілей сталого розвитку, ухвалених ООН, є подолання голоду та покращення якості життя населення. Саме розвиток сільського господарства та зернової логістики може стати інструментом для боротьби з голодом та бідністю. Особливо важливою при цьому є роль країн – експортерів зерна, таких як Україна, у забезпеченні продовольчої безпеки не лише власної країни, а й світу в цілому. Україна відома як аграрна країна, яка постачає на світовий ринок високоякісне зерно. Але зараз у країні йде війна, зерно вирощують і збирають на розмінованих полях під обстрілами ракет. На жаль, сьогодні українське зерно знищується на кордонах із Польщею через торговельні обмеження та бюрократичні перешкоди. Це стається в той час, коли мільйони людей по всьому світу голодують. Зернова логістика стикається з проблемами та викликами, які необхідно вирішити на шляху до сталого розвитку міст та регіонів. **Мета.** Метою даної статті є дослідження проблем зернової логістики та їхнього впливу на сталий розвиток міст та регіонів. **Результати.** У роботі здійснено аналіз зернової логістики, досліджено вплив змін у доставці зернових на експорт. Проведене дослідження дало змогу виділити ключові проблеми та виклики, які стоять перед транспортно-логістичною системою в аграрному секторі, а також визначити основні напрями вирішення виявлених проблем та розробити рекомендації щодо покращення зернової логістики з метою підтримки сталого розвитку міст та регіонів. **Висновки.** Україна має потенціал, щоб стати ключовим гравцем у світовій зерновій логістиці та сприяти сталому розвитку міст та регіонів як у власній країні, так і за її межами. Проте для досягнення цих цілей необхідно звернути увагу на вирішення низки проблем і викликів, із якими стикається зернова логістика, включаючи війну, торговельні обмеження, недостатній розвиток інфраструктури.

**Ключові слова:** зернова логістика, сталий розвиток, транспортно-логістична система, міста, регіони.

GRAIN LOGISTICS IN ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
OF CITIES AND REGIONS

V.V. Shcherbyna

PhD of Economic Sciences, Associate Professor  
at the Department «Entrepreneurship and Tourism»,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-3917-3617

**Summary**

**Introduction.** One of the most important goals of sustainable development adopted by the UN is to overcome hunger and improve the quality of population life. It is the development of agriculture and grain logistics that can become tools for the fight against hunger and poverty. Especially important is the role of grain exporting countries, such as Ukraine, in ensuring food security not only of their own country, but also of the world as a whole. Ukraine is known as an agricultural country that supplies high-quality grain to the world market. But now there is a war in Ukraine, grain is grown and harvested in demined fields under rocket fire. Unfortunately, today Ukrainian grain is destroyed at the borders with Poland due to trade restrictions and bureaucratic obstacles. This is happening at a time when millions of people around the world are starving. Grain logistics faces problems and challenges that must be solved on the way to sustainable development of cities and regions. **Purpose.** The purpose of this article is to study the problems of grain logistics and their impact on the sustainable development of cities and regions. **Results.** In this paper analysis of grain logistics was carried out, the impact of changes in grain delivery on export was investigated. The conducted research made it possible to identify the key problems and challenges facing the logistics system in the agricultural sector, as well as to determine the main directions for solving the identified problems and to develop recommendations for improving grain logistics in order to support the sustainable development of cities and regions. **Conclusions.** Ukraine has the potential to become a key player in global grain logistics and contribute to the sustainable development of cities and regions both in its own country and abroad. However, in order to achieve these goals, it is necessary to pay attention to solving a number of problems and challenges faced by grain logistics, including war, trade restrictions, insufficient infrastructure development.

**Key words:** grain logistics, sustainable development, transport and logistics system, cities, regions.

**Вступ та постановка проблеми.** Війна в Україні призвела до значних викликів для зернової логістики, зокрема через обмеження доступу до певних територій, руйнування інфраструктури та підвищення небезпеки перевезень. Це ставить під загрозу не лише стабільність постачання зернових культур для внутрішнього споживання, а й суттєво впливає на економічний розвиток міст та регіонів, які є ключовими центрами агропромислового виробництва.

Умови воєнного стану породжують нестабільність у виробництві та транспортуванні зерна. Це призводить до зниження експортних цін зернових унаслідок воєнних ризиків, зростання логістичних витрат, зниження доступності

продовольства для населення та загрози голоду у світі. Таким чином, розв'язання проблем зернової логістики має велике стратегічне значення для сталого розвитку міст та регіонів в умовах війни, яке потребує комплексного підходу та співпраці всіх зацікавлених сторін.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідженню проблем розвитку аграрного сектору економіки України присвячено багато праць науковців. Зернову логістику досліджували Н.В. Булеца, В.М. Герзанич, І.І. Савко, Я.І. Савко, С.В. Качуровський, Л.В. Мацюк, В.А. Колодійчук та ін. [1–12]. Ці наукові праці мають стратегічне значення для визначення шляхів подолання проблем та вдосконалення логістики в аграрному секторі, сприяючи сталому розвитку економіки України. Але зараз країна перебуває у стані війни, що активно впливає на розвиток зернової логістики. Виклики та проблеми, які постають перед зерновою логістикою, та їхній вплив на сталий розвиток регіонів та міст потребують ретельного вивчення.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є дослідження проблем зернової логістики та їхнього впливу на сталий розвиток міст та регіонів. Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз зернової логістики, оцінити вплив змін у доставці зернових на експорт та визначити основних імпортерів українського зерна. Це дасть змогу з'ясувати ключові проблеми та виклики, які стоять перед логістичною системою в аграрному секторі, а також визначити основні напрями вирішення виявлених проблем і розробити рекомендації щодо покращення зернової логістики з метою підтримки сталого розвитку міст та регіонів.

**Виклад основного матеріалу.** Зернова логістика не лише забезпечує ефективну доставку зернової продукції, а й сприяє сталому розвитку міст та регіонів, створюючи нові робочі місця та стимулюючи економічне зростання.

У регіонах, де вирощують зернові культури, розвивається сільське господарство. Припортові міста та міста з розвинутою транспортною інфраструктурою стають важливими вузлами для транспортування зерна, що забезпечує додаткові можливості для розвитку бізнесу. Це сприяє підвищенню життєвого рівня населення у цих регіонах.

Україна є одним із головних експортерів зернових культур і продуктів переробки олійних. Їх виробництво всередині країни значно перевищує внутрішнє споживання. Отже, зернова продукція є дуже важливим експортним товаром, який забезпечує значні грошові надходження до України, а також сприяє продовольчій безпеці у світі. Коли під час повномасштабного вторгнення не було можливості транспортувати українську зернову продукцію, у світі заговорили про продовольчу кризу та загрозу голоду.

До війни 99% усіх зернових, відправлених на експорт, було відвантажено через морські порти. Розвиток портової інфраструктури є необхідною умовою нарощування зернового експорту і має становити інтерес для потенційних інвесторів. Термінал із перевалки зернових є ланкою логістичного ланцюга, що обслуговує доставку зерна від виробника до закордонного покупця. Ключовим учасником, який організує роботу логістичного ланцюга постачань, є зернотрейдер, що взаємодіє з усіма іншими учасниками зернової логістики. Типову схему ланцюга постачання в зерновій логістиці наведено на рис. 1.

Із початком повномасштабного вторгнення український зерновий експорт практично зупинився, елеватори перестали відвантажувати й приймати зерно, майже всі українські порти були заблоковані, окрім Ізмаїльського, Усть-Дунайського та Ренійського, які могли приймати та обробляти судна, але їхня частка в загальному експорті завжди була незначною й коливалася в межах 5–10% загального обсягу перевалки. Попри всі докладені зусилля для збільшення відвантажень, зокрема агропродукції, суттєво наростити їх обсяг так і не вдалося. Річ у тім, що через обмежені глибини акваторій і причалів цих портів вони в змозі обробляти тільки маломірні судна й баржі [3].

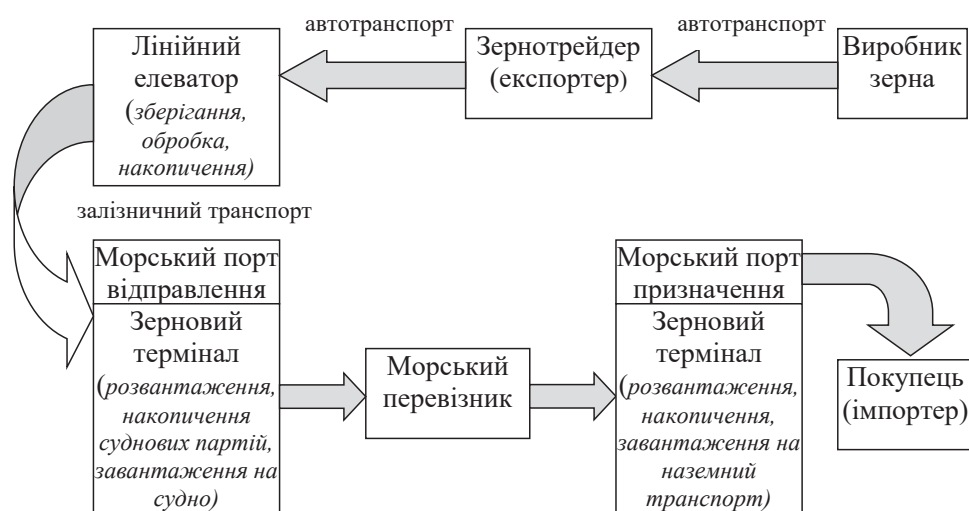


Рис. 1. Схема ланцюга постачання в зерновій логістиці

Джерело: складено автором за [5]

Експорт зерна через дунайські порти з подальшим перевезенням до порту Констанца виявився неефективним через недостатню пропускну спроможність Сулинського каналу і нестачу потужностей румунського порту для обробки великих обсягів зерна. Ця схема хоча й допомогла трохи розвантажити морський експорт у перші місяці війни, швидко досягла своєї межі, коли черги на відвантаження сягали кількох місяців.

Зараз ситуація у портах Дунаю також непроста. Із літку 2023 р. активно обстрілюються портова інфраструктура та зерносховища Ізмаїлу, Рені та Кілії. За таких умов експортери стали надавати перевагу прямому варіанту перевантаження на судна, аби не ризикувати вантажем на складах. Але під обстріли попали й автомобілі, які перевозили зерно. Отже, зернотрейдери зазнають фінансових утрат унаслідок ракетних ударів по складах та елеваторах, а також тривалого очікування на розвантаження в порту [4].

У перші місяці війни невеликі обсяги українського зерна доставлялися за кордон як залізницею, так і автошляхами. Автомобільний і залізничний транспорт став основною силою експорту, допомагаючи поступово розвантажувати зернові

елеватори. Проте автотранспортні перевезення стикалися з численними викликами, такими як блокування на дорогах, пошкоджені ворожими обстрілами ділянки доріг та дефіцит пального. Незважаючи на це, автотранспортний коридор продовжував працювати, хоча ціни на доставку зросли через військові ризики та затримки.

Загалом від початку війни всіма залученими засобами Україні вдавалося нарощувати експорт зерна на 20–30% щомісяця. Чимала заслуга у цьому й залізничників, адже «Укрзалізниця» і Мінінфраструктури робили все можливе, щоб збільшити вивезення агропродукції з країни сталевими шляхами. Уже у березні УЗ почала опрацьовувати логістику доставки зерна до кордонів із Румунією, Угорщиною, Словаччиною та Польщею, звідки збіжжя мало доставлятися до портів і логістичних хабів ЄС. Основною проблемою залізничного експорту донині є різна ширина європейської й української залізничних колій, через що вагони на кордоні доводиться переставляти на інші колісні пари або ж перевантажувати зерно з українських хоперів у європейські. І те й інше забирає час і суттєво гальмує залізничний експорт зерна з України, тож паралельно триває робота зі збільшення технічного обладнання переходів і будівництва на них перевантажувальних зернових терміналів. У цьому залучено не лише українських залізничників, а й їхніх європейських колег [3].

Стрімкий експорт зерна з України на європейський ринок призвів до того, що аграрії Польщі, Угорщини, Румунії, Болгарії і Словаччини влаштували масові акції протесту, блокуючи сільгосптехнікою пункти пропуску й дороги, що знову призвело до блокування експортних можливостей, знищення зернової продукції та зниження обсягів експорту.

Незважаючи на всі зусилля України збільшити експорт зерна, обсяги вивезення були набагато менше, ніж до початку війни. Тим часом відсутність українського зерна на світовому ринку призвела до дефіциту, ставлячи під загрозу продовольчу безпеку в багатьох країнах. Тому питання про відновлення повноцінного експорту українського зерна активно обговорювалося як у самій Україні, так і за її межами.

Наприкінці липня ООН та Туреччина озвучили ініціативу щодо створення у Чорному морі коридору, яким українське зерно мало б змогу безпечно постачатися на світовий ринок. 1 серпня вперше з початку війни з Одеського порту вийшло судно, завантажене українським продовольством. Фактично зернова ініціатива працювала ефективно перші три місяці. Із серпня по жовтень 2022 р. нею скористалося 421 судно. Далі РФ заявила про свій вихід із «зернової угоди», мотивуючи це тим, що ініціатива не виправдовує свою мету – запобігання голоду в найбідніших країнах Африки й Азії, а зерно відправляється переважно у Європу. Тому в Україні після зупинки зернової ініціативи почали реалізовувати альтернативний зерновий коридор без участі російської сторони. Безпекою коридору у Чорному морі опікуються ВМС ЗСУ [4].

Отже, зернова логістика розвивається, з'являються альтернативні маршрути, можливості відновлення морських експортних шляхів. Так, за даними [4], Україна у 2023 р. на ринки інших країн вивезла 44,8 млн т зерна, що перевищило результати 2022 р. на 16%. Виторг від експорту українського зерна у 2023 р. скоротився на 9% і становив 8,3 млрд дол. США, що свідчить про зниження цін на українське зерно. Таким чином, ціни на зерно зменшилися, а на його доставку – зросли.

Головною зерновою продукцією, яку експортувала Україна в 2023 р., була пшениця. За 12 місяців 2023 р. експорт пшениці становив 16,17 млн т. Більшість цього обсягу поставляли через морські та річкові порти – 13,7 млн т. Залізницею перевезли трохи менше ніж 2 млн т, а автомобілями – пів мільйона тонн (рис. 2) [1].

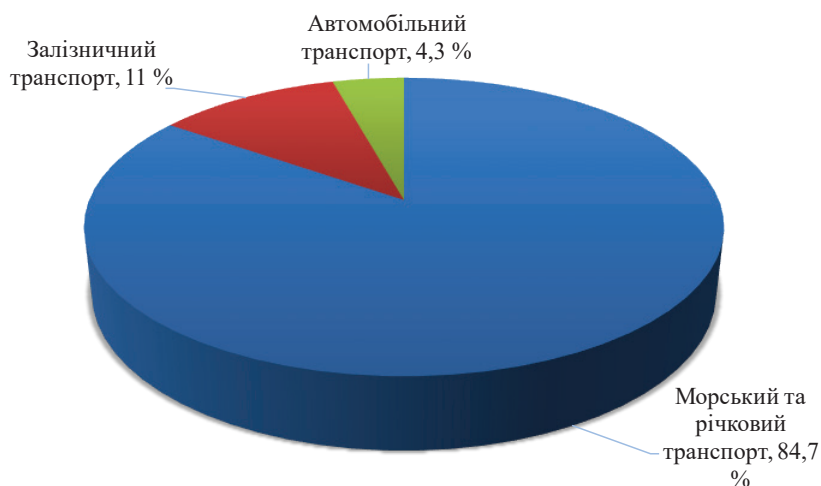


Рис. 2. Структура експорту пшениці України в 2023 р.

Джерело: складено автором за даними [1]

У 2023 р. головним імпортером української пшениці стала Іспанія (табл. 1). Через повномасштабне вторгнення та переформатування логістики Індія перестала бути в трійці покупців пшениці з України. Ці зміни в рейтингу імпортерів відображають динаміку та зміни на світовому ринку пшениці. У 2023 р. експортували 26 млн т кукурудзи. Це 23% від загального обсягу агроекспорту України. Основним імпортером української кукурудзи залишається Китай. Частка експорту в цю країну минулого року становила 21%. Загалом за 2023 р. український експорт інших зернових культур – жита, ячменю, вівса та сорго – коштував 376 млн дол. США. Найбільше відправили за кордон ячменю – 2,5 млн т. Головними покупцями культури стали Туреччина, Китай та Іспанія, а загалом експорт приніс 362 млн дол. США. Хоча це не зрівняється з експортом у 2021 р., коли дохід від продажу ячменю становив більше мільярда доларів. Постачання вівса та жита також знизилася впродовж останніх трьох років. Особливо це стосується жита: у 2021 р. експорт був на рівні 136 тис т, а в 2023 р. – лише 6 тис т [1].

Через високі витрати на логістику виробництво й експорт зерна у 2024 р. в Україні можуть скоротитися вдвічі порівняно з минулим роком. Українська зернова асоціація оцінює потенційний урожай у 2024 р. на рівні 76,1 млн т зернових та олійних. Тоді як урожай 2023 р. становив 82,6 млн т. Потенційне зниження врожаю в новому сезоні буде викликано скороченням посівних площ переважно під зерновими культурами через несприятливу цінову кон'юнктуру на світовому ринку та порівняно дорогу логістику експорту. За таких умов експорт у новому сезоні 2024/2025 може

становити близько 43,7 млн т (рис. 3). У поточному сезоні експорт зернових та олійних може сягнути 53,1 млн т зернових та олійних за умов безперешкодної роботи українського морського коридору та Дунайського шляху [9].

Таблиця 1

**Рейтинг імпортерів зернових з України в 2023 р., %**

<b>Пшениця</b>		<b>Кукурудза</b>		<b>Ячмінь</b>	
Іспанія	23	Китай	21	Туреччина	21,5
Туреччина	15	Іспанія	13,5	Китай	19
Румунія	14	Румунія	10	Іспанія	17
<b>Жито</b>		<b>Овес</b>		<b>Соя</b>	
Польща	39	Німеччина	23	Єгипет	23,9
Німеччина	33	Італія	17	Туреччина	23,7
Словаччина	24	Швейцарія	13	Нідерланди	9
<b>Ріпак</b>		<b>Соняшник</b>		<b>Олія соняшникова</b>	
Німеччина	30	Румунія	28	Румунія	18
Румунія	19	Туреччина	16,5	Туреччина	16
Бельгія	9	Бельгія	9	Китай	11

*Джерело: складено автором за даними [1]*

**Висновки.** В умовах війни міста та регіони України стикаються з проблемами забезпечення сталого розвитку. Військові дії призводять до руйнування інфраструктури, екологічних катастроф, втрати людських ресурсів та руйнування соціально-економічного середовища. Зернова логістика може відігравати важливу роль у забезпеченні сталого розвитку міст та регіонів. З одного боку, забезпечення стабільного доступу до продовольства для населення, з іншого – розвиток зернової логістики можуть сприяти відновленню економічної діяльності в постраждалих районах шляхом створення нових робочих місць, підтримки сільського господарства та збільшення експортних потоків, що сприятиме економічному зростанню.

У результаті дослідження було визначено основні проблеми зернової логістики, серед яких можна виділити:

- блокування українських портів, зміну логістичних маршрутів експорту;
- неготовність інфраструктури, як нашої, так і європейської, великі черги на кордонах;
- кадрові проблеми (відтік людського капіталу, мобілізація, втрати внаслідок обстрілів);
- перебої в електропостачанні через атаки на енергетичну інфраструктуру;
- зростання цін на пальне;
- втрату виробничих потужностей та обладнання;
- високі ризики;
- зниження ціни зернової продукції з України, що не стимулює фермерів сіяти зернові.

Подолання цих проблем вимагає комплексного підходу та співпраці між урядовими органами, сільськогосподарськими підприємствами, транспортно-логістичними компаніями та іншими зацікавленими сторонами. Необхідно вдосконалювати існуючу інфраструктуру, ураховуючи потреби зернової логістики, спрощувати

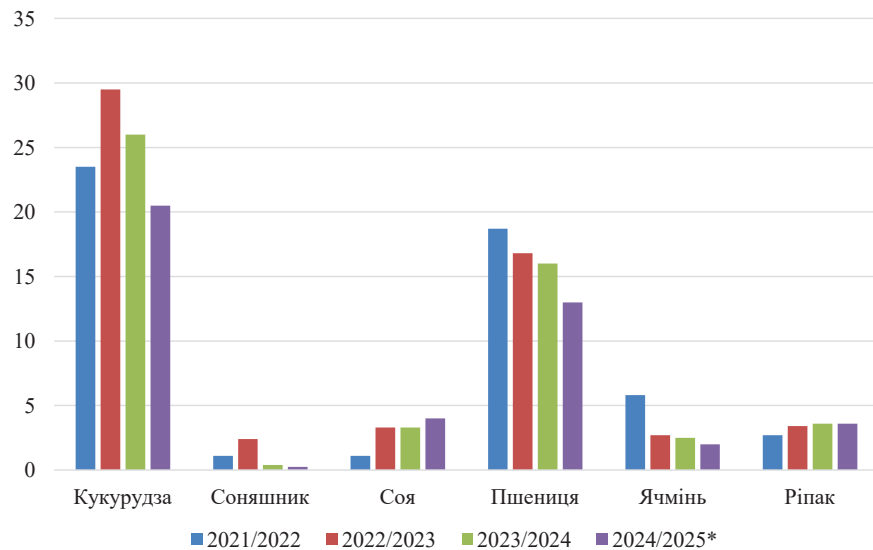


Рис. 3. Прогноз потенційного експорту зернових та олійних у 2024/2025 МР, млн т

Джерело: [9]

та уніфікувати процедури експорту, розвивати стратегічні партнерства з міжнародними партнерами для забезпечення стабільності та надійності поставок.

Тож серед ключових напрямів подальшого розвитку зернової логістики можна виділити:

- підвищення безпеки альтернативного морського коридору;
- підтримку та відновлення логістичної інфраструктури;
- оптимізацію логістичних ланцюгів постачання зерна;
- удосконалення сухопутних логістичних маршрутів;
- збільшення пропускної спроможності Дунаю;
- запровадження механізму страхування перевезень зернових;
- розвиток міжнародного співробітництва та створення спільних проєктів з іншими країнами для сприяння експорту зернових з України.

Україна має потенціал стати ключовим гравцем у світовій зерновій логістиці та сприяти сталому розвитку міст та регіонів як у власній країні, так і за її межами. Проте для досягнення цих цілей необхідно звернути увагу на вирішення низки проблем і викликів, із якими стикається зернова логістика, включаючи війну, торговельні обмеження, недостатній розвиток інфраструктури.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Аграрний експорт-2023: скільки і куди продали зерна та олії. 2024. URL: <https://elevatorist.com/spetsproekt/210-agrarniy-eksport-2023-skilki-i-kudi-prodali-zerna-ta-oliyi>
2. Булеца Н.В., Герзанич В.М., Савко І.І., Савко Я.І. Сучасний стан та шляхи підвищення ефективності логістики зернових перевезень.

- Науковий вісник Ужгородського університету*. № 1(61). С. 15–18. URL: <http://visnyk-ekon.uzhnu.edu.ua/article/view/278157>
- Експортна логістика у воєнний час. 2022. URL: <https://agrotimes.ua/article/eksportna-logistyka-u-voennyj-chas/>
  - Зернова логістика вересня, старі заборони та нові обрії. 2023. URL: <https://elevatorist.com/blog/read/868-zernova-logistyka-veresnya-stari-zaboroni-ta-novi-obryi>
  - Качуровський С.В., Мацюк Л.В. Транспортна інфраструктура логістики зернових культур. *Приазовський економічний вісник*. 2019. № 1(12). С. 34–38. URL: <http://www.vsau.vin.ua/repository/getfile.php/19946.pdf>
  - Колодійчук В.А. Методологічні засади розвитку зернової логістики. 2016. URL: <http://global-national.in.ua/archive/9-2016/29.pdf>
  - Логістика в умовах війни. Як зберегти та підтримувати експортні поставки? 2023. URL: <https://www.mikhailenko.com.ua/24-05-2023/logistyka-v-umovah-vijny-yak-zberegty-ta-pitrymuvaty-eksportni-postavky/>
  - Маслак О. Розвиток зернової логістики в Україні. 2016. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ekonomichni-hektar/item/7937-rozvytok-zernovoi-lohistryky-v-ukraini.html>
  - Прогноз: У 2024 році врожай зернових та олійних сягне 76,1 млн т. 2024. URL: <https://www.railinsider.com.ua/prognoz-u-2024-roczivrozhaj-zernovyh-ta-olijnyh-syagne-761-mln-t/>
  - Теоретичні та практичні засади організації морського бізнесу : колективна монографія. Одеса : ОНМУ, 2022. 404 с. DOI: 10.31375/978-966-7716-89-9
  - Berezhna N.G., Bilyayeva O.S., Voitov V.A., Goryainov O.M. Problems of transport and logistics support in the agricultural sector. Monograph. Kharkiv, 2019. 180 p.
  - Shramenko N., Muzylyov D., Manukian, A. Analysis of the grain market in Ukraine and the directions of the development of grain cargo transportation logistics. 18. 2020. 70–79. URL: <http://ts.khntusg.com.ua/index.php/ts/article/view/479/483>

## REFERENCES

- Agrarian Export-2023: How much and where grain and oil were sold. [Agrarniy eksport-2023: skilki i kudi prodali zerna ta oliyi] (2024). URL: <https://elevatorist.com/spetsproekt/210-agrarniy-eksport-2023-skilki-i-kudi-prodali-zerna-ta-oliyi> [in Ukrainian].
- Buletsa, N.V., Herzanich, V.M., Savko, I.I., Savko, Ya.I. (2024). Modern state and ways to increase the efficiency of grain transportation logistics [Suchasnyy stan ta shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti lohistryky zernovykh perevezenn]. Scientific Bulletin of Uzhhorod University, 1(61), 15–18. URL: <http://visnyk-ekon.uzhnu.edu.ua/article/view/278157> [in Ukrainian].

3. Export logistics in wartime [Exportna lohistyka u voyenny chas] (2022). URL: <https://agrotimes.ua/article/eksportna-logistyka-u-voyennyj-chas/> [in Ukrainian].
4. Grain logistics in September, old bans and new horizons [Zernova lohistyka veresnya, stari zaborony ta novi obriyi]. (2023). URL: <https://elevatorist.com/blog/read/868-zernova-logistika-veresnya-stari-zaboroni-ta-novi-obriyi> [in Ukrainian].
5. Kachurovsky, S.V., Matsyuk, L.V. (2019) Transport infrastructure of grain logistics [Transportna infrastruktura lohistyky zernovykh kultur]. Priazovskyy ekonomichnyy visnyk, 1(12), 34–38. URL: <http://www.vsau.vin.ua/repository/getfile.php/19946.pdf> [in Ukrainian]
6. Kolodiychuk, V.A. (2016) Methodological principles of grain logistics development [Metodolohichni zasady rozvytku zernovoyi lohistyky]. URL: <http://global-national.in.ua/archive/9-2016/29.pdf> [in Ukrainian].
7. Logistics in wartime. How to preserve and support export deliveries? [Lohistyka v umovakh viyny. Yak zberegty ta pidtrymuvaty eksportni postavky?] (2023). URL: <https://www.mikhailenko.com.ua/24-05-2023/logistyka-v-umovah-vijny-yak-zberegty-ta-pitrymuvaty-eksportni-postavky/> [in Ukrainian].
8. Maslak, O. (2016) Development of grain logistics in Ukraine [Rozvytok zernovoyi lohistyky v Ukrayini]. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ekonomichni-hektar/item/7937-rozvytok-zernovoi-lohistyky-v-ukraini.html> [in Ukrainian].
9. Forecast: In 2024, the harvest of grains and oilseeds will reach 76.1 million tons [Prohnoz: U 2024 rotsi vrozhay zernovykh ta oliynykh syahne 76,1 mln t.] (2024). URL: <https://www.railinsider.com.ua/prognoz-u-2024-rodzi-vrozhaj-zernovyh-ta-olijnyh-syagne-761-mln-t/> [in Ukrainian].
10. Theoretical and Practical Principles of Organizing Maritime Business [Teoretychni ta praktychni zasady orhanizatsii morskyykh biznesu]: Kolektyvna monohrafiia (2020). Odesa: ONMU. 404 p. DOI 10.31375/978-966-7716-89-9 [in Ukrainian].
11. Berezhna N.G., Bilyayeva O.S., Voitov V.A., Goryainov O.M. (2019) Problems of transport and logistics support in the agricultural sector. Monograph. Kharkiv, 180 p.
12. Shramenko N., Muzylyov D., Manukian, A. (2020) Analysis of the grain market in Ukraine and the directions of the development of grain cargo transportation logistics. 18. 70-79. URL: <http://ts.khntusg.com.ua/index.php/ts/article/view/479/483>.

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.436.1

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.02>

### АНАЛІЗ ПРИСУТНОСТІ ПРОГРЕСИВНИХ РІШЕНЬ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИСОКООБЕРТОВОГО МАЛОЛІТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ У ДВИГУНАХ СВІТОВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

**О.В. Грицюк**

д.т.н., професор, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-5596-6254

#### **Анотація**

**Вступ.** Базові (які закріплюють розмірність) модифікації сімейств дизелів створюються до впровадження у серійне виробництво не менше 15 років, на протязі яких відбувається вибір основних конструктивних і регулювальних параметрів, прогнозування паливно-економічних і екологічних показників, а також формування стратегії подальшої долі наступних розробок сімейства. У роботі проведено аналіз досвіду створення вітчизняних автомобільних малолітражних високооберткових дизелів на протязі 15 років, а саме з 1998 по 2012 р. Визначено, що Харківська школа дизелебудування за своїм новим і дотепер ще останнім напрямом розвитку конструкцій вітчизняних двигунів внутрішнього згоряння створила за цей період ціле сімейство автомобільних дизелів потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення у чотири- та шестициліндровому виконанні. **Мета.** Дана стаття аналізує той обсяг науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт вітчизняного автомобільного дизелебудування, який зробив свій внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту. **Результати.** Визначено, що такі рішення, як 0,5 дм<sup>3</sup> робочого об'єму циліндра, сформована зовнішня швидкісна характеристика та локальний передпусковий підігрів холодного палива, вже знайшли аналогічне застосування у сучасних закордонних конструкціях автомобільних дизелів, тоді як деякі інші ще знаходяться (винятково на думку автора) на творчому шляху до свого застосування. Серед них і зменшення відношення ходу поршня до діаметру циліндра до 0,93–0,95. **Висновки.** У матеріалі статті наведено конкретні приклади щодо кожного як конструктивного, так і регулювального рішення вітчизняного двигунобудування у сегменті автомобільного дизеля. Виконаний при цьому обсяг науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, безумовно, зробив свій внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту.

**Ключові слова:** дизелі, конструктивні параметри, паливна апаратура, зовнішня швидкісна характеристика, передпускова підготовка.

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF ADVANCED SOLUTIONS  
OF THE DOMESTIC HIGH-REVVING SMALL-CAPACITY DIESEL  
IN THE ENGINES OF THE WORLD AUTOMOBILE TRANSPORT

O.V. Grytsyuk

DSci., Prof., Professor of the Department of Internal Combustion Engines,  
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-5596-6254

**Summary**

**Introduction.** Basic (fixing the dimensions) modifications of diesel families are created before introduction into serial production for at least 15 years, during which the main structural and regulatory parameters are selected, fuel economy and environmental indicators are forecasted, and a strategy is formed for the further fate of subsequent developments of the family. In this paper, an analysis of the experience of creating domestic small-volume high-revving diesel engines for 15 years, namely from 1998 to 2012, was carried out. It was determined that the Kharkiv School of Diesel Engineering, following its new and so far the latest direction in the development of domestic internal combustion engine designs, created a whole family of automobile diesels with a capacity of 100-175 hp during this period. dual purpose in four- and six-cylinder versions. **Purpose.** This article analyzes the volume of research and development works of the domestic automotive diesel industry, which contributed to the global development of automobile transport. **Results.** It was determined that such solutions as 0.5 dm<sup>3</sup> of the working volume of the cylinder, the formed external speed characteristic and the local pre-start warm-up of cold fuel have already found a similar application in modern foreign designs of diesel engines, while some others are still available (exclusively in the opinion of the author) on the creative path to its application. Among them is a decrease in the ratio of the stroke of the piston to the diameter of the cylinder to 0.93–0.95. **Conclusions.** In the materials of the article, specific examples are given for each of the constructive and regulatory solutions of the domestic engine industry in the automotive diesel segment. The volume of research and development work carried out at the same time definitely contributed to the global development of road transport.

**Key words:** diesel engines, structural parameters, fuel equipment, external speed characteristics, pre-launch preparation.

**Вступ.** Пропрацювавши більше 20 років на посаді головного конструктора [1], автор цього матеріалу добре усвідомлює, що базові (які закріплюють розмірність) модифікації сімейств дизелів створюються до впровадження у серійне виробництво не менше 15 років, на протязі яких відбувається вибір основних конструктивних і регулювальних параметрів, прогнозування паливно-економічних і екологічних показників, а також формування стратегії подальшої долі наступних розробок сімейства. Освоєння нового напрямку у двигунобудуванні країни, як це відбулося у нашій державі під час розроблення та намірів упровадження у виробництво малолітражного автомобільного дизеля потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення (Слобожанський дизель) [2; 3], вимагає суттєвого технічного

переоснащення вже наявних виробництв і залучення виключно державних видатків розвитку, оскільки жодна спроба приватного капіталу підняти двигунобудівне виробництво без партнерства з державою успіху в Україні не мала.

**Формулювання цілей статті.** Визначити внесок Харківської школи дизелебудування [4; 5] у світовий розвиток автомобільного транспорту.

**Виклад основного матеріалу.** Незалежно від факту продовження долі двигуна у серійному виробництві розгляд завдання впровадження у виробництво нового сімейства відбувається лише за умови готовності базової моделі за всіма показниками вимог технічного завдання. Тобто в усіх випадках базова конструкція повинна бути доведеною до можливості почати підготовку серійного виробництва.

Базовим як у розробленні, так і у виготовленні та експлуатації вітчизняним дизелем проекту «Слобожанський дизель» для автомобільної галузі є високооборотний рядний вертикальний чотирициліндровий чотиритактний дизель 4ДТНА1 розробки ДП «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування» (ХКБД). Натепер харківська школа дизелебудування (ХШД) довела до складальних креслень і кінцеві моделі сімейства, а саме дизелі 6ДТНА1 та 6ДТНА2 (рис. 1, 2), але власного виробництва малолітражних автомобільних дизелів усе ще не дочекалася.

Тим паче за результатами вже виконаних розробок можна констатувати про їх суттєвий внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту.

**По-перше, це вибір основних конструктивних параметрів дизеля для вантажно-пасажирських автомобілів, мінівенів і мікроавтобусів.**

На базі кореляційного аналізу та аналізу на основі інформаційних показників взаємозв'язку встановлено ступінь впливу того або іншого конструктивного параметра на ефективні й експлуатаційні показники малолітражного дизеля. У результаті визначено, що відповідно до найбільш інформаційного показника – множинного інформаційного коефіцієнта зв'язку, найбільш суттєвим чинником під час створення конкурентоспроможного дизеля є узгодження значень робочого обсягу і ступеню стиснення [6].

Цей висновок обґрунтував можливість коректування відношення S/D порівняно з даними прогнозу та дав змогу з урахуванням граничних умов для створюваного базового дизеля автомобільного призначення вибрати такі основні конструктивні параметри:

Діаметр циліндра, мм	88
Хід поршня, мм	82
Робочий об'єм циліндра, дм <sup>3</sup>	0,498
Ступінь стиснення	18,5
Відношення S/D	0,93

При цьому треба відзначити, що майже всі відомі автомобілебудівні фірми починаючи з 2010 р. і дотепер мають у своєму арсеналі 2-літрові чотирициліндрові моделі дизелів [7]. Але перевагою вітчизняного дизеля залишається найменший серед усіх цих моделей хід поршня (82 мм), що дає можливість забезпечити його сталу роботу за номінальної потужності (4200 хв<sup>-1</sup>), тоді як номінальна потужність закордонних зразків світових лідерів залишається каліброваною, а саме відповідає вимогам лише 15-хвилинного діапазону її утримання під час стендових приймально-здавальних випробувань.

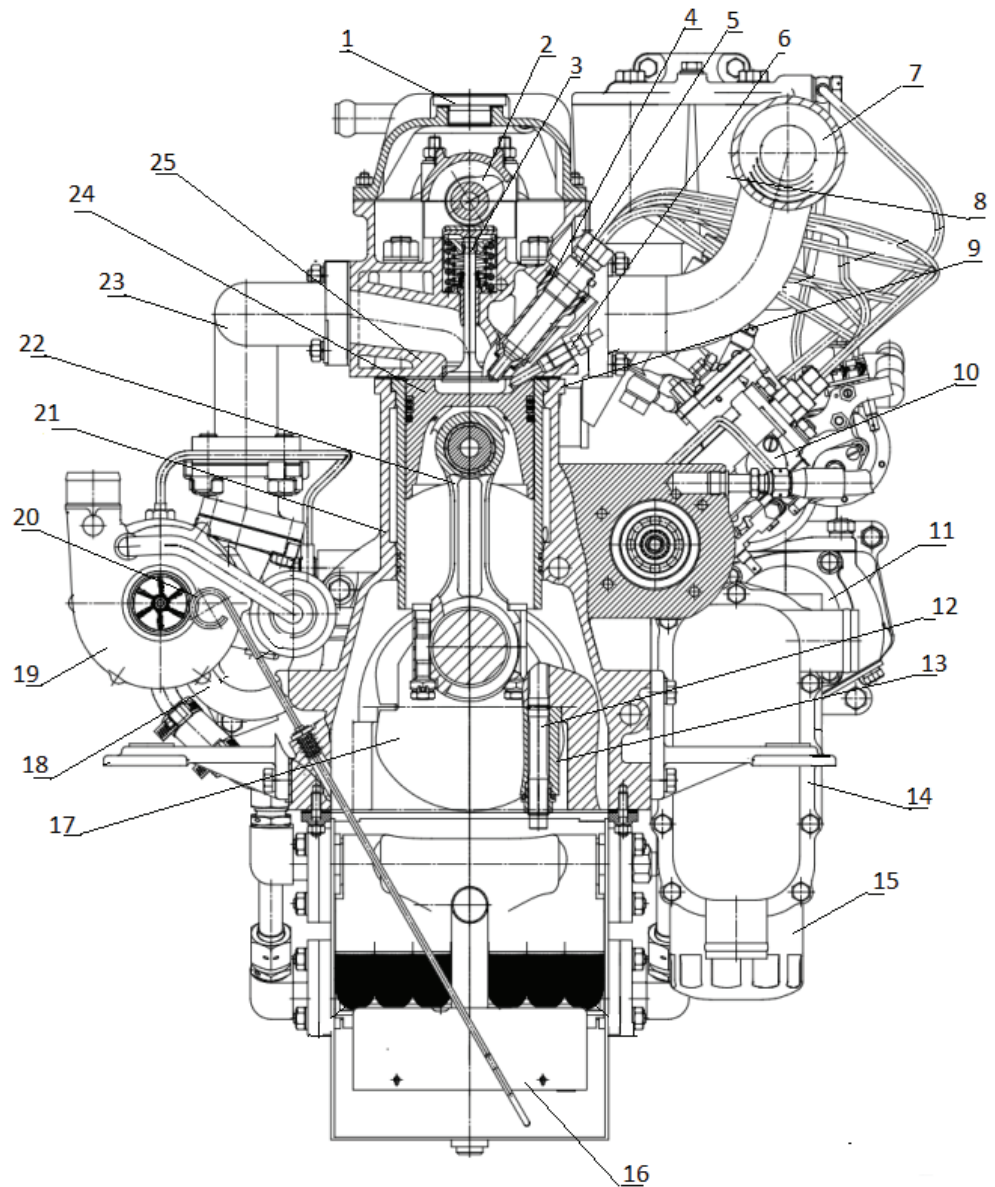


Рис. 1. Поперечний переріз дизеля 6ДТНА1:

1 – пробка маслозаливної горловини; 2 – розподільний вал; 3 – клапан;  
4 – адаптер форсунки; 5 – форсунка; 6 – свічка розжарювання; 7 – колектор  
впускний; 8 – фільтр паливний; 9 – гільза; 10 – паливний насос; 11 – повітряний  
компресор; 12 – шпилька силова; 13 – підвіска корінної опори з підігрівачем;  
14 – охолоджувач масла; 15 – фільтр масляний; 16 – маслозбірний відсік  
із підігрівом; 17 – вал колінчастий; 18 – стартер; 19 – турбокомпресор;  
20 – масляний щуп; 21 – блок; 22 – шатун; 23 – колектор випускний;  
24 – поршень; 25 – головка циліндрів

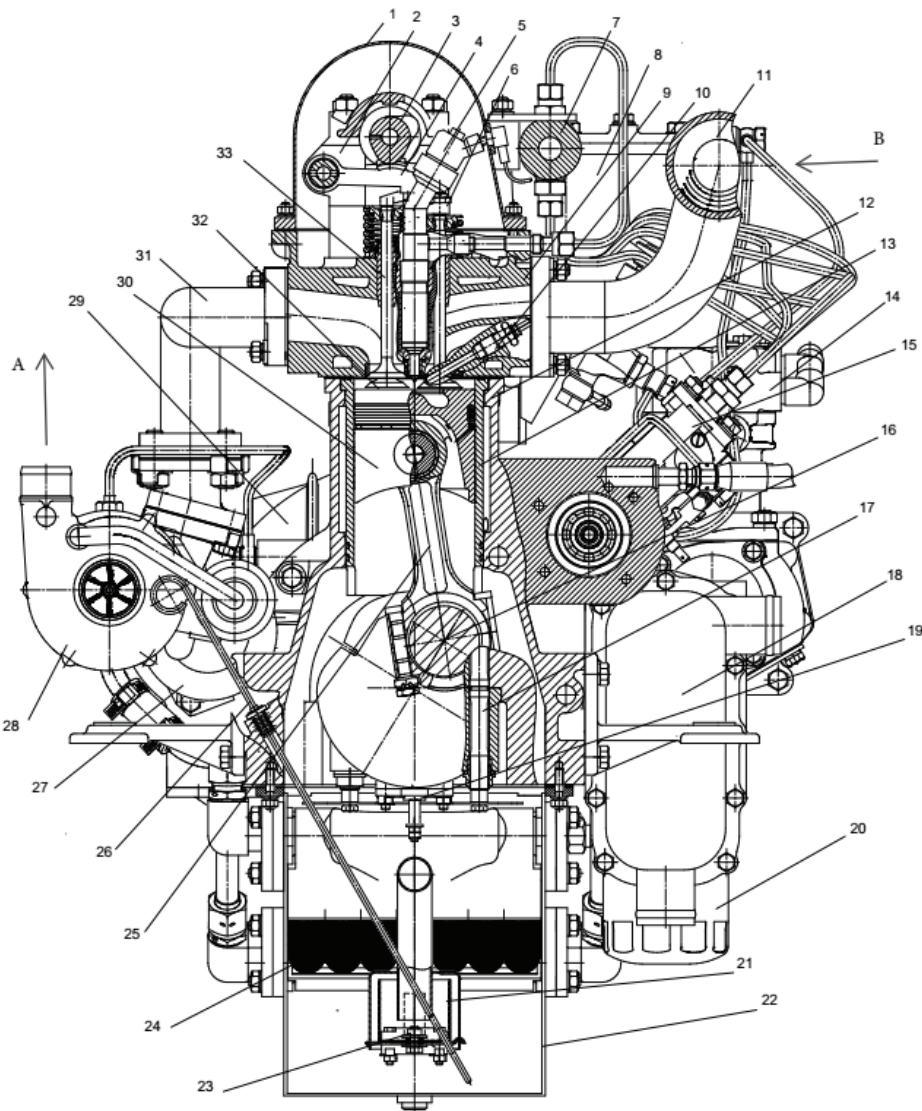


Рис. 2. Поперечний переріз дизеля 6ДТНА2:

1 – кришка головки циліндрів; 2 – корпус розподільного вала; 3 – розподільний вал; 4 – важіль; 5 – електрогідравлічна форсунка; 6 – траверса; 7 – акумулятор паливний; 8 – фільтр паливний; 9 – головка циліндрів; 10 – свічка розжарювання; 11 – колектор впускний; 12 – блок-картер; 13 – гільза циліндра; 14 – повітряний компресор; 15 – паливний насос високого тиску; 16 – вал колінчастий; 17 – шпилька силова; 18 – охолоджувач масла; 19 – підвіска корінної опори з підігрівачем; 20 – фільтр масляний; 21 – маслозбірний відсік із підігрівом; 22 – піддон картера; 23 – підігрівач масла; 24 – охолоджувач масла; 25 – шатун; 26 – щуп масляний; 27 – стартер; 28 – турбокомпресор; 29 – картер маховика; 30 – поршень; 31 – колектор випускний; 32 – клапан впускний; 33 – клапан випускний.  
А – до охолоджувача наддувного повітря; В – від охолоджувача наддувного повітря



довгострокових випробувань у складі транспортного засобу МА33, підтверджуючи з кожним кілометром своє право на визнання.

**По-третє, це революційний розвиток процесів визначення та формування перебігу зовнішніх швидкісних характеристик (ЗШХ) автомобільних дизелів.**

Першим вітчизняним дослідженням роботи зовнішньо навантаженого дизеля у всьому діапазоні частот обертання колінчастого вала від мінімальної частоти холостого ходу до частоти номінальної потужності є робота [8].

Продовжуючи цей почин, ЗШХ вітчизняних дизелів сімейства ДТНА було реалізовано за моделлю Грицюка – Овчиннікова [9], яка розроблена на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та в якій ЗШХ поділено на дві швидкісні ділянки – ділянку від  $n_{\text{мін}}$  до  $n_{\text{Мкр}}$  і ділянку від  $n_{\text{Мкр}}$  до  $n_{\text{ном}}$ , на кожній з яких застосовано свої критерії формування –  $K_p$  (коефіцієнт розгону,  $K_p = Mn_{\text{мін}} / M_{Ne}$ ) та  $K_M$  (коефіцієнт пристосованості) – за одночасного обґрунтування загального критерію ЗШХ у цілому – коефіцієнта адаптації  $K_A$  ( $K_A = K_M \cdot K_p$ ).

Автомобільний дизель може вважатися адаптованим до вантажно-пасажирських автомобілів, мінівенів та мікроавтобусів при  $K_p \sim 0,6-0,85$ ;  $K_A \sim 0,7-1,25$ .

Графік реального перебігу ЗШХ крутного моменту  $M_e$  найновішого двигуна сімейства, а саме дизеля 6ДТНА2, показано на рис. 4.

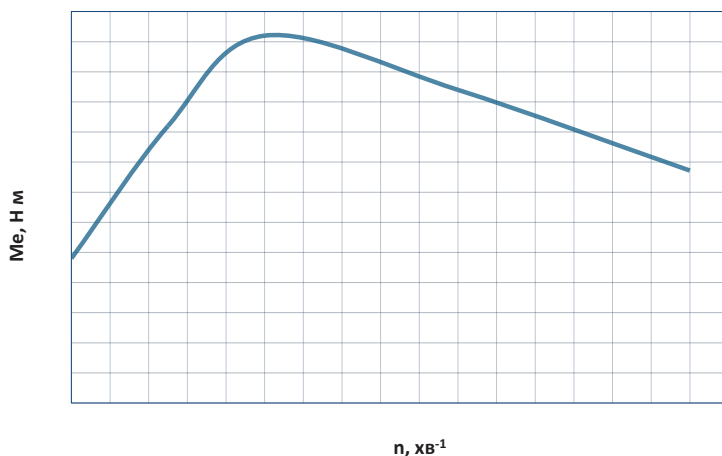


Рис. 4. ЗШХ крутного моменту  $M_e$  дизеля 6ДТНА2

**По-четверте, це суттєві пропозиції більш ефективного рішення проблеми пуску холодного автомобільного дизеля у зимовий період експлуатації.**

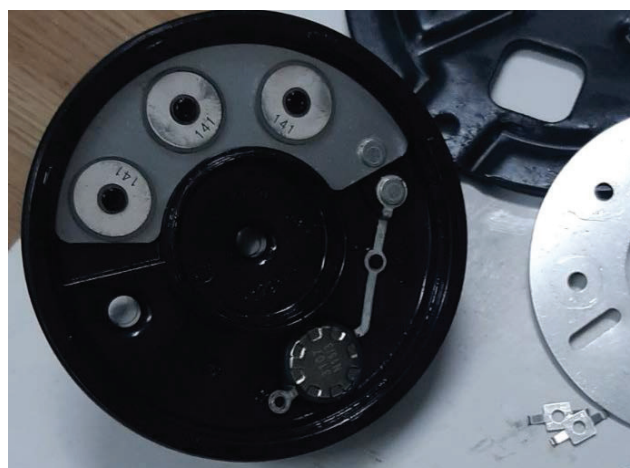
Для виконання сучасних вимог до сумарного викиду шкідливих речовин із відпрацьованими газами дизелів транспортних засобів дуже важливо виключити роботу режиму прогріву двигуна після холодного пуску. Саме для цього ХШД ще на початку нинішнього століття розроблені та гарно відпрацьовані нові способи передпускової підготовки з використанням як бортових, так і зовнішніх джерел електроживлення. Для загального використання створено системи локального

передпускового підігріву корінних опор колінчастого вала, масла в маслозбірному відсіку та палива вздовж магістралі низького тиску [4]. Із цією метою як нагрівальні пристрої уперше у світі використано запатентовані в Україні (за участю автора в 2004 р.) малогабаритні позисторні нагрівальні елементи (ПНЕ).

І якщо проблема збільшення тертя у вузлах холодного двигуна на закордонних дизелях-аналогах усе ще вирішується застосуванням дорогого синтетичного моторного масла з перемінною в'язкістю, то ідеологія підігріву палива для паливної апаратури холодного дизеля вже успішно реалізована (звісно, що без узгодження з авторами) у складі сучасного автомобільного транспорту, прикладом чого є конструкція паливного фільтра дизеля кросовера Renault Duster 2017 р. виготовлення, авторські фото якого показані на рис. 5 і 6.



*Рис. 5. Фільтр паливний дизеля кросовера Renault Duster 2017 р. виготовлення*



*Рис. 6. Розташування трьох малогабаритних ПНЕ перед фільтроелементом у корпусі паливного фільтра кросовера Renault Duster*

**Висновки.** Аналіз досвіду автора щодо процесу створення вітчизняних двигунів показав, що на протязі 15 років, а саме з 1998 по 2012 р., Харківська школа дизелебудування за своїм новим і дотепер ще останнім напрямом розвитку конструкцій вітчизняних ДВЗ розробила ціле сімейство автомобільних дизелів потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення у чотири- та шестициліндровому виконанні. Виконаний при цьому обсяг науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, безумовно, зробив свій внесок у світовий розвиток автомобільного транспорту, а саме:

– обґрунтування та впровадження у конструкцію автомобільного дизеля робочого об'єму циліндра 0,5 дм<sup>3</sup>;

– цільове формування ЗШХ у повному діапазоні експлуатаційних частот обертання колінчастого вала – від режиму мінімальної частоти холостого ходу до режиму номінальної частоти з одночасним застосуванням визначених критеріїв цього формування;

– перед- і післяпусковий підігрів палива у паливному фільтрі у зимовий період експлуатації з використанням позисторних нагрівальних елементів.

Цілком імовірно, що на шляху до впровадження вже знаходяться:

– зменшення відношення S/D до 0,93–0,95;

– упровадження у виробництво розпилювачів паливних форсунок із діаметром голки 3,5 мм;

– паливна апаратура типу *HPM (Hydraulic Pneumatic Mechanical)*;

– локальний передпусковий підігрів корінних опор колінчастого вала та масла в маслозабірному відсіку за допомогою малогабаритних позисторних нагрівальних елементів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Грицюк О.В. Відповідальність головного конструктора за долю розробки. *Збірник статей головного конструктора зі створення малолітражних дизелів. Saarbrücken, 2017. 90 с. ISBN 978-620-2-00678-1.*
2. Грицюк О.В., Парсаданов І.В., Мотора О.А. Новий напрям у дизелебудуванні України. *Двигуни внутрішнього згорання. 2011. № 1. С. 48–53.*
3. Техніко-економічне обґрунтування необхідності державної підтримки у виконанні інноваційно-інвестиційного проєкту: розроблення та впровадження у виробництво малолітражного автомобільного дизеля потужністю 100–175 к. с. подвійного призначення (Слобожанський дизель) : монографія / Ф.І. Абрамчук та ін. ; за ред. Ф.І. Абрамчука, О.В. Грицюка, І.А. Дмитрієва. Харків : ХНАДУ, 2012. 164 с.
4. Грицюк О.В. Теоретичні основи та практичні методи створення високообертового малолітражного дизеля багатоцільового призначення : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.05.03. Харків, 2010. 39 с.
5. У витоків читання лекцій і створення наукової школи з двигунобудування у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» / А.П. Марченко та ін. *Двигуни внутрішнього згорання. 2011. № 1. С. 15–21.*

6. Грицюк О.В. Випускники ТМ факультету Харківського політеху у Харківському конструкторському бюро з двигунобудування. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2015. № 1. С. 85–89.
7. Овчинніков О.О. Покращення показників високообертового автомобільного дизеля шляхом раціонального управління паливоподачею : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03. Харків, 2016. 20 с.
8. Грицюк О.В., Дубровський В.З. Механізм впливу пускового повітря на крутний момент двухтактного високообертового транспортного дизеля у процесі його пуску. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 1988. Вип. 47. С. 23–28.
9. Грицюк О.В., Овчинніков О.О. Вибір та обґрунтування додаткових критеріїв формування зовнішньої швидкісної характеристики автомобільного дизеля. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2014. № 1. С. 109–116.

#### REFERENCES

1. Grytsyuk O.V. (2017) Responsibility of the chief designer for the fate of the development. A collection of articles by the chief designer on the creation of small diesel engines [Vidpovidalnist holovnoho konstruktora za doliu rozrobky. Zbirnyk statei holovnoho konstruktora zi stvorennia malolitrzhnykh dyzeliv] Saarbrucken: LAMBERT Academic Publishing, 90 p.
2. Grytsyuk O.V., Parsadanov I.V., Motora O.A. (2011) A new direction in diesel construction in Ukraine [Novyi napriamok u dyzelebuduvanni Ukrainy] Internal combustion engines. No. 1, Pp. 48–53.
3. Abramchuk F.I., Alyokhin S.O., Belov M.L. et al., (2012) Technical and economic substantiation of the need for state support in the implementation of the innovation and investment project «Development and implementation in the production of a small car diesel engine with a capacity of 100–175 hp. dual purpose (Slobozhansky diesel)» [Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannya neobkhidnosti derzhavnoi pidtrymky u vykonanni innovatsiino-investytsiinoho proektu «Rozroblennia ta vprovadzhennia u vyrobnytstvo malolitrzhnoho avtomobilnoho dyzelia potuzhnistiu 100–175 k.s. podviinoho pryznachennia (Slobozhanskyi dyzel)»], KhNAHU, Kharkiv, 164 p.
4. Grytsyuk O.V. (2010), Theoretical foundations and practical methods of creating a high-revving low-displacement multi-purpose diesel engine [Teoretychni osnovy ta praktychni metody stvorennia vysokoobertovoho malolitrzhnoho dyzelia bahatotsilovoho pryznachennia: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. doktora tekhn. nauk: sp. 05.05.03 «Dvyhuny ta enerhetychni ustanovky»], Kharkiv, 39 p.
5. Marchenko A.P., Pylov V.A, Semenenko L.P. et al. (2011) In the origins of lectures and the creation of a scientific school for engine construction at the National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute» [U vytokiv chytannia lektsyi ta stvorennia naukovoї shkoly

- zi dvyhunobuduvanni u Natsyonalnomy tekhnicheskomy unyversytete «Kharkovskyy polytekhnicheskyy instytut») Internal combustion engines. No. 1, Pp. 15–21.
6. Grytsyuk O.V. (2015) Graduates of TM Faculty of Kharkiv Polytechnic University of Kharkiv Design Bureau for Engine Construction [Vypusknyky TM fakulteta Kharkivskoho polytekha u Kharkivskom konstruktorskom biuro zi dvyhunobuduvanniu] Internal combustion engines. No. 1, Pp. 85–89.
  7. Ovchinnikov O.O. (2016) Improving the performance of a high-speed automotive diesel engine through rational fuel supply management [Pokrashchenia pokaznykiv vysokoobertovoho avtomobilnoho dyzelia shliakhom ratsionalnoho upravlinnia palyvopodacheiu: avtoref. dys. na zdobuttia naukovoho stupenia kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.03 «Dvyhuny ta enerhetychni ustanovky»), Kharkiv, 20 p.
  8. Grytsyuk O.V., Dubrovsky V.Z. (1988) The mechanism of the effect of starting air on the torque of a two-stroke high-speed transport diesel engine during its start-up [Mekhanizm vplyvu puskovoho povitria na krutnyi moment dvukhtaktnoho vysokoobertovoho transportnoho dyzelia pry yoho pusku] Internal combustion engines. No. 47, Pp. 23–28.
  9. Grytsyuk O.V., Ovchinnikov O.O. (2014) Selection and substantiation of additional criteria for the formation of the external speed characteristics of a car diesel engine [Vybir ta obgruntuvannia dodatkovykh kryteriiv formuvannia zovnishnoi shvydkisnoi kharakterystyky avtomobilnoho dyzelia] Internal combustion engines. No. 1, Pp. 109–116.

**ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ  
КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНІЗМУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ  
ІНДИЦІЮВАННЯ**

**О.В. Єриганов<sup>1</sup>, В.Ю. Гунченко<sup>2</sup>, В.С. Глебов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-9736-3662

<sup>2</sup>аспірант кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-3468-997X

<sup>3</sup>аспірант кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-8801-2377

**Анотація**

У статті пропонується спосіб спільного розрахунку довжини шатуна дизеля та середнього показника політропічного стискання  $n$  при виконанні алгоритмічної синхронізації індикаторних діаграм двигунів внутрішнього згоряння. У попередніх публікаціях автора показано, що кут, який відповідає максимальній швидкості зростання тиску стискання, залежить від геометричних розмірів деталей кривошипно-шатунного механізму, об'єму камери стискання та показника політропи. Остання величина змінюється залежно від умов перебігу процесу стискання. Окрім того, строго кажучи, досить імовірною є ситуація з дефіцитом даних щодо геометричних розмірів кривошипно-шатунного механізму, а саме довжини шатуна, оскільки дані у судновій документації часто є недостатньо повними, а наявність запасного шатуна є не обов'язковою для всіх двигунів. Окрім того, безпосередньо вимірювати довжину шатуна на двигуні незручно і не завжди можливо. Тому для виконання алгоритмічної синхронізації в умовах дефіциту даних є доцільним шукати довжину шатуна та величину показника політропи разом. Для цього пропонується спочатку апроксимувати ділянку експериментальної кривої стискання поліномом четвертого порядку, який досить точно відображає експериментальну криву стискання. Для розрахунку його коефіцієнтів використовуються експериментальні дані. Один із кінців апроксимуючої ділянки, що відповідає більшому значенню кута повороту колінчастого валу, лежить у точці найшвидшого зростання тиску стискання. Установлено, що наявна точність визначення невідомих величин у результаті рішення запропонованих рівнянь є прийнятною для інженерних розрахунків. Запропонована методика дає змогу уточнити попередній розрахунок положення верхньої мертвої точки індикаторної діаграми в умовах дефіциту даних по двигуну, оскільки отримане значення довжини шатуна та відповідно розрахована величина коефіцієнта політропічного стиснення повніше відображають поточні умови протікання процесу стиснення у циліндрі двигуна внутрішнього згоряння.

**Ключові слова:** індикаторна діаграма, політропне стиснення, максимальна швидкість зростання тиску стиснення, кут найшвидшого зростання тиску стиснення, геометричні розміри деталей кривошипно-шатунного механізму, розміри.

## CALCULATION OF CRANK MECHANISM GEOMETRIC DIMENSIONS ACCORDING TO THE RESULTS OF PERFORMANCE DIAGRAM

**O.V. Yeryganov<sup>1</sup>, V.Yu. Gunchenko<sup>2</sup>, V.S. Glebov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Ship Power Plants  
and Technical Operation,

*Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,*  
ORCID ID: 0000-0002-9736-3662

<sup>2</sup>Assistant and Postgraduate Student, Department of Ship Power Plants  
and Technical Operation,

*Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,*  
ORCID ID: 0000-0003-3468-997X

<sup>3</sup>PhD student, Department of Ship Power Plants and Technical Operation,  
*Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,*  
ORCID ID: 0000-0002-8801-2377

### **Summary**

*The article proposes a method of joint calculation of the length of the diesel connecting rod and the average index of polytropic compression  $n$  when performing the algorithmic synchronization of indicator diagrams of internal combustion engines. In the author's previous publications, it was shown that the angle that corresponds to the maximum rate of compression pressure growth depends on the geometric dimensions of the crank-and-connecting mechanism parts, the volume of the compression chamber, and the polytropy index. The latter value varies depending on the conditions of the compression process. In addition, strictly speaking, a situation with a shortage of data regarding the geometric dimensions of the crank-connecting mechanism, namely, the length of the connecting rod, is quite likely. Therefore, to perform algorithmic synchronization in conditions of data scarcity, it is necessary to search for the length of the connecting rod and the value of the polytropic index together. To do this, it is suggested to first approximate the section of the experimental compression curve with a fourth-order polynomial.*

*Experimental data are used to calculate its coefficients. The end of the approximating section, which corresponds to a larger value of the angle of rotation of the crankshaft, lies at the point of the fastest increase in compression pressure. The accuracy of the determination of unknown quantities as a result of the solution of the proposed equations is acceptable for engineering calculations. This makes it possible to clarify the preliminary calculation of the position of the top dead center of the indicator diagram in conditions of a lack of data on the engine, since the obtained value of the length of the connecting rod and the correspondingly calculated value of the polytropic compression coefficient more fully reflect the current conditions of the compression process in the cylinder of the internal combustion engine.*

**Key words:** *indicator diagram, polytropic compression, maximum rate of increase in compression pressure, angle of the fastest increase in compression pressure, geometric dimensions of parts of the crank-connecting mechanism, dimensions.*

**Вступ.** Застосування сучасних засобів під час діагностування робочого процесу транспортних дизелів дає змогу отримати якісні діагностичні дані, оскільки похибка сучасних датчиків тиску не перевищує 0,5% (наприклад, у датчиків виробництва IMES GmbH [2]). За подальшої синхронізації індикаторної діаграми визначається положення верхньої мертвої точки (ВМТ). Наявність кривої тиску та геометричних даних (діаметр циліндра, хід поршня та довжина шатуна) по кривошипно-шатунному механізму (КШМ) дає змогу розрахувати середній індикаторний тиск, що є одним із найважливіших діагностичних параметрів для робочого процесу. При цьому слід зазначити, що якщо діаметр циліндра і хід поршня, як правило, нескладно знайти у специфікаційних даних по двигуну (а найчастіше безпосередньо в позначенні марки двигуна), то довжину шатуна необхідно знаходити або прямим виміром, або за кресленнями. Однак креслення, наявні у обслуговуючого персоналу, є здебільшого ознайомлювальними та не завжди мають достатню точність. Безпосередній вимір довжини шатуна на двигуні робити вкрай незручно. Наявність запасного шатуна є абсолютно не обов'язковою: так, для судових дизелів, які входять до складу судової енергетичної установки не в однині (наприклад, у складі судової електростанції), присутність запасного шатуна серед запчастин не обов'язкова. У зв'язку із цим розроблення способу розрахунку відсутніх розмірів деталей КШМ (у даному разі довжини шатуна) має практичний зміст, оскільки дає змогу спростити обслуговуючому персоналу обробку даних, отриманих під час індиціювання.

### 1. Розв'язання задачі

Пропонований спосіб розрахунку довжини шатуна заснований на тому факті, що тиск робочого тіла підпорядковується рівнянню політропи:

$$PV^n = \text{const} \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм циліндра ( $\text{м}^3$ ) при заданому куті повороту колінчастого вала (ПКВ);  
 $P$  – тиск у циліндрі, Па.

Таке припущення є класичним і багаторазово випробуваним теоретично [1; 4].

У [5] запропоновано спосіб розрахунку середнього показника політропічного стиснення  $n$ :

$$n - 1 = \frac{\left[ 4V_c(P_T - P_M) + V_s(2(P_T(1 - \cos \phi_T) - P_M(1 - \cos \phi_M)) + \lambda(P_T \sin^2 \phi_T - P_M \sin^2 \phi_M)) \right]}{V_s \left[ 2 \sum_{i=0}^4 A_{4-i} \psi_i + 0,5 \lambda \sum_{i=0}^4 A_{4-i} \delta_i \right]}, \quad (2)$$

де  $D$  – діаметр циліндра, м;

$S$  – хід поршня, м;

$\lambda = S / (2L)$  – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна;

$n$  – середній показник політропічного стискування;

$V_c$  – об'єм камери стиснення,  $\text{м}^3$ ;

$V_s = \pi D^2 S / 4$  – об'єм, що описується поршнем,  $\text{м}^3$ ;

$\phi_M$  – кут ПКВ (радіан), що відповідає максимальній швидкості зростання тиску [3];

$V_M$  – об'єм циліндра в точці максимальної швидкості зростання тиску,  $\text{м}^3$ ;

$P_M$  – тиск заряду в точці максимальної швидкості зростання тиску, Па;

$\phi_T$  – кут ПКВ (радіан), який визначається як точка перетину дотичної, проведеної до кривої тиску в точці максимальної швидкості зростання тиску стиснення, з віссю абсцис (рис. 1);

$P_T$  – тиск заряду, що відповідає куту  $\phi_T$ , Па (рис. 1);

$A_{4-i}, \delta_i, \psi_i$  – коефіцієнти полінома, розрахунок яких описано у [5].

Із представленої розрахункової залежності нескладно вивести рівняння для розрахунку довжини шатуна, тобто величини  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\left[ 2V_s(1-n) \sum_{i=0}^4 A_{4-i} \psi_i + 4V_c(P_T - P_M) + 2V_s \left\{ P_T(1 - \cos \phi_T) - \left[ -P_M(1 - \cos \phi_M) \right] \right\} \right]}{V_s \left[ 0,5(n-1) \sum_{i=0}^4 A_{4-i} \delta_i - (P_T \sin^2 \phi_T - P_M \sin^2 \phi_M) \right]} \quad (3)$$

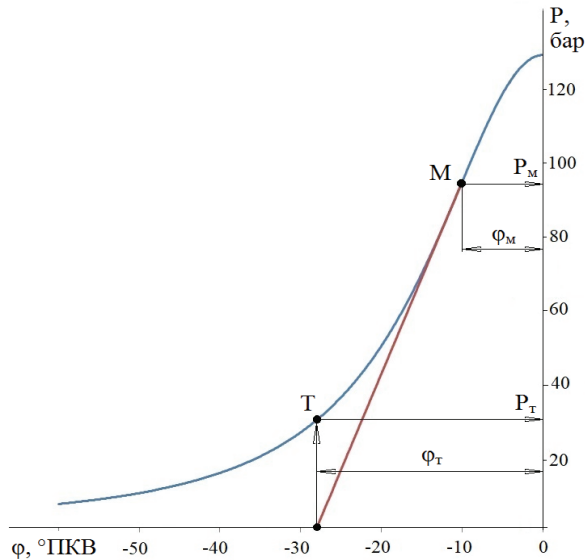


Рис. 1. Зміна тиску стиснення по куту ПКВ

Кут  $\phi_T$  легко визначити аналітично, знаючи тиск і його похідну по куту ПКВ у точці  $M$  – точці найшвидшого зростання тиску:

$$\phi_T = \phi_M - P_M / P'_M \quad (4)$$

Оскільки в кожному конкретному випадку значення середнього показника політропічного стиснення  $n$  є невідомим, то величина  $n$ , узятя навмання, може призвести до похибки в подальших розрахунках. Таким чином, логічно розраховувати одночасно  $n$  та величину  $\lambda$ .

Для цього пропонується скористатися рівнянням (1), записаним для точок  $T$  і  $M$  (рис. 1):

$$P_T V_T^n = P_M V_M^n \quad (5)$$

Тоді величина  $n$  дорівнює:

$$n = \frac{\ln(P_M/P_T)}{\ln(V_T/V_M)} \quad (6)$$

Об'єм  $V_T$  визначається виходячи зі значення кута  $\varphi_T$ , який можна знайти з (4).

Таким чином,  $\lambda$  відшукується за рівнянням (3), у яке підставляються величини  $\varphi_T$  та  $n$ , знайдені відповідно за рівняннями (4) і (6). Об'єм  $V$  визначається за залежністю:

$$V = V_c + 0,5 \cdot V_s \left( 1 + 1/\lambda - \cos\phi - \sqrt{1/\lambda^2 - \sin^2\phi} \right) \quad (7)$$

## 2. Результати розв'язання задачі

Запропонований спосіб розрахунку довжини шатуна було перевірено для кількох двигунів. За даними індиціювання двигунів було знайдено середній показник політропічного стиснення  $n$  та величину  $\lambda$ . Були порівняні розраховані та дійсні значення  $\lambda$ . При цьому інші геометричні розміри деталей КШМ (діаметр циліндра  $D$  і хід поршня  $S$ ), об'єм камери стиснення  $V_c$  та положення ВМТ були відомі.

Порядок розрахунку був такий: спочатку визначався кут повороту ПКВ  $\varphi_M$ , у якій швидкість зростання тиску стиску максимальна. Потім за формулою (4) розраховувався кут  $\varphi_T$  і далі визначався відповідний йому тиск  $P_T$ . Використовуючи залежності з [5], розраховувалися коефіцієнти  $A_{4-i}$ ,  $\delta_i$ ,  $\psi_i$ . Шукана величина  $\lambda$  визначалася під час спільного розв'язання рівнянь (3) та (6).

У табл. 1 зведено результати розрахунків. На рис. 2 представлено експериментальні та розрахункові криві стискування для трьох різних двигунів на ділянці між кутами  $\varphi_T$  та  $\varphi_M$ .

Таблиця 1

### Результати розрахунків

Найменування параметра	Тип двигуна		
	MAN-B&W 6S50MC	YANMAR 6EY18ALW	MAN 5L23/30
Тактність	2	4	4
Діаметр циліндра $D$ , м	0,5	0,18	0,225
Хід поршня $S$ , м	2,0	0,28	0,3
Довжина шатуна $L$ , м	2,05	0,54	0,6
Ступінь стиску $\epsilon$	18,1	15	13
Частота обертання, $\text{хв}^{-1}$	100	900	720
Тиск $P_M$ , бар	72,816	90,588	56,994
Похідна тиску $P'_M$ , $\text{бар}/^\circ\text{ПКВ}$	3,505	3,676	2,129
Кут $\varphi_M$ , $^\circ\text{ПКВ}$ до ВМТ	-11,8	-14	-14,9
Тиск $P_T$ , бар	23,013	28,264	18,464
Похідна тиску $P'_T$ , $\text{бар}/^\circ\text{ПКВ}$	1,209	1,2610	0,750
Кут $\varphi_T$ , $^\circ\text{ПКВ}$ до ВМТ	-32,5	-38,64	-41,7

Продовження таблиці 1

Значення коефіцієнтів полінома	$A_0$	-1234,603	-738,7034	-387,6924
	$A_1$	-930,4076	-672,9535	-362,1632
	$A_3$	200,8217	210,6193	121,9827
	$A_4$	72,816	90,588	56,994
	$\psi_0$	-0,136179	-0,1892448	-0,2193943
	$\psi_1$	$2,835491 \cdot 10^{-2}$	$4,661287 \cdot 10^{-2}$	$5,869825 \cdot 10^{-2}$
	$\psi_3$	$2,053129 \cdot 10^{-3}$	$4,737346 \cdot 10^{-3}$	$7,036407 \cdot 10^{-3}$
	$\psi_4$	$-6,090748 \cdot 10^{-4}$	$-1,665898 \cdot 10^{-3}$	$-2,68743 \cdot 10^{-3}$
	$\delta_0$	-0,4961154	-0,6628664	-0,751802
	$\delta_1$	0,1011527	0,1583474	0,193958
	$\delta_3$	$7,185809 \cdot 10^{-3}$	$1,564806 \cdot 10^{-2}$	$2,248377 \cdot 10^{-2}$
	$\delta_4$	$-2,120388 \cdot 10^{-3}$	$-5,459574 \cdot 10^{-3}$	$-8,506603 \cdot 10^{-3}$
Розрахункове значення середнього коефіцієнта політропи $n$	1,37081	1,407975	1,369635	
Дослідне значення середнього коефіцієнта політропи $n'$	1,37	1,37	1,37	
Відхилення $\Delta n$ : $\Delta n = (n - n') / n' \cdot 100\%$	0,06	2,8	-0,03	
Розрахункове значення довжини шатуна $L$ , м	2,091	0,5402	0,5843	
Відхилення $\Delta L$ : $\Delta L = (L - L') / L' \cdot 100\%$	2	0,04	-2,6	

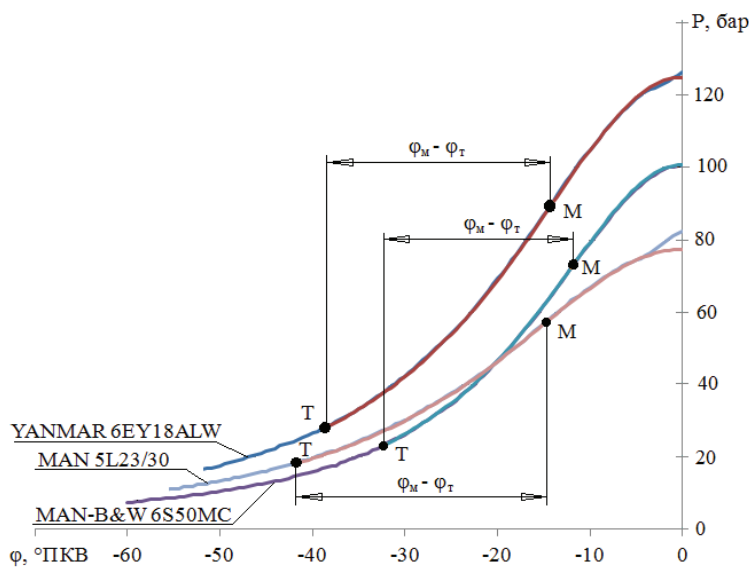


Рис. 2. Порівняння експериментальних та розрахункових кривих стиснення

Наведені результати показують, що знайдена аналітично та дійсна довжина шатуна відрізняються не більше ніж на 3%, що вважається прийнятним для

інженерних розрахунків. Розрахункові криві тиску, які були отримані виходячи зі знайденої довжини шатуна, відрізняються від експериментальних не більше ніж на 1%. Таким чином, запропонований спосіб розрахунку може бути застосований для обробки індикаторних діаграм в експлуатаційних умовах.

**Висновки.** Розрахунки, які були зроблені запропонованим способом, показали хороший збіг експериментальних та розрахункових даних: погрішність визначення довжина шатуна не перевершила 3%. Це дає змогу уточнити попередній розрахунок положення ВМТ індикаторної діаграми з використанням залежності (1) в умовах дефіциту даних по двигуну, оскільки отримане значення  $\lambda$  та відповідно розрахована величина коефіцієнта політропічного стиснення  $n$  повніше відображає поточні умови протікання процесу стиснення у циліндрі двигуна внутрішнього згоряння.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Heywood John B. Internal combustion engine fundamentals / R.R. Donnelley & Sons Company, 1988. 481 p.
2. Pressure sensors for marine diesel monitoring. Company IMES. <https://www.imes.de>
3. Yeryganov O. Features of fastest pressure зростаючий пункт при compression stroke. *Diagnostyka*. 2018. Vol. 19. № 2. P. 71–76. <http://dx.doi.org/10.29354/diag/89729>
4. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія : підручник. Харків : НТУ «ХПІ», 2008. 490 с.
5. Єриганов О.В. Розрахунок показника політропи стискання при алгоритмічній синхронізації індикаторних діаграм. *Залізничний транспорт України*. 2019. № 4. С. 43–48.

#### REFERENCES

1. Heywood John B. Internal combustion engine fundamentals / R.R. Donnelley & Sons Company, 1988. 481 p.
2. Pressure sensors for marine diesel monitoring. Company IMES: <https://www.imes.de>
3. Yeryganov O., Varbanets R. Features of fastest pressure зростаючий пункт при compression stroke. *Diagnostyka*, 2018, Vol. 19, No. 2. pp. 71–76. <http://dx.doi.org/10.29354/diag/89729>
4. Diachenko V.G. Internal combustion engines. Theory. The textbook for university students [Dviguni vnutrishnogo zgoriannia. Teoriia. Pidruchnik dlia studentiv vishchih navchalnih zakladiv]. Kharkiv NTU «KhPI», 2008, 490 p. [in Ukrainian]
5. Yeryganov O.V. Calculation of the compression politrop index during algorithmic synchronization of perfomance diagram [Rozrahunok pokaznika politropi stiskannia pri algoritmichnii sinhronizatsiii indiykatornih diagram]. *Railway Transport of Ukraine*. 2019. № 4, pp. 43–48.

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.6:616-036

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.04>

### СИСТЕМА ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДЕН-КОНТЕЙНЕРОВИЗІВ У РАМКАХ ЛІНІЙНИХ СЕРВІСІВ

Ю.А. Бондаренко<sup>1</sup>, С.П. Онищенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Phd здобувач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-8393-1481

<sup>2</sup>д.е.н., професор, професор кафедри  
«Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

#### Анотація

**Вступ.** Виявлення джерел підвищення ефективності має базуватися на аналізі техніко-експлуатаційних показників роботи суден. Таким чином, система техніко-експлуатаційних показників роботи суден на лініях, з одного боку, дає змогу оцінити використання суден як транспортних засобів, з іншого – визначити можливі шляхи підвищення економічної ефективності їхньої роботи через поліпшення використання основного ресурсу суден як транспортних засобів – їхньої провізної здатності. **Результати.** Для оцінки техніко-експлуатаційних результатів роботи судна на контейнерній лінії пропонується використовувати: інтегральний та локальні коефіцієнти використання контейнеромісткості судна на лінії у цілому та на окремих ділянках; інтегральний та локальні показники дисбалансу завантаження судна під час переходу між портами. Дані показники розроблено для аналізу роботи конкретного судна як на кожній ділянці лінії – переходу між портами, так лінії загалом. Для диференціації різного рівня даних показників пропонується використовувати терміни «локальний» та «інтегральний» відповідно для пари портів і лінії у цілому. Формування даних показників передбачає урахування протяжності кожної ділянки лінії у відношенні до загальної протяжності лінії як важелів. Дана система показників доповнює та деталізує існуючі підходи до оцінки використання суден у виробничому сенсі. Розрахунковий приклад продемонстрував роботу пропонованих формул для оцінки показників, а також їхню адекватну реакцію на зміну вихідних даних. **Висновки.** Пропоновані показники дають змогу оцінювати і прогнозувати доцільність та ефективність структури лінії й роботи конкретного судна на даній лінії. Локальні показники призначені для аналізу роботи судна між конкретною парою портів, інтегральні показники відображають техніко-експлуатаційні результати роботи судна на лінії. У рамках аналізу річного періоду ці показники можуть бути усереднені, а їхні середньоарифметичні значення повинні бути використані для оцінки результатів

та доцільності роботи даного судна на даній лінії, а також доцільності даної структури лінії з погляду набору портів. Окрім того, дані показники на рівні лінії – «інтегральні» показники є основою для подальшої техніко-експлуатаційної та економічної оцінки функціонування лінійного контейнерного сервісу в цілому.

**Ключові слова:** коефіцієнт використання контейнеромісткості, лінійний сервіс, транспортна робота, структура контейнерної лінії, дисбаланс, завантаження.

## CONTAINER SHIPPING LINES PERFORMANCE INDICATORS SYSTEM

Yu.A. Bondarenko<sup>1</sup>, S.P. Onyshchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Phd applicant of the Department «Fleet Operations and Shipping Technology»,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0001-8393-1481

<sup>2</sup>Director of «MetalsUkrain Corp Ltd»  
<sup>2</sup>Doctor of Economics, Professor, Professor at the Department  
«Fleet Operations and Shipping Technology»,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

### Summary

**Introduction.** The efficiency improvement sources identification should be based on the analysis of the technical and operational performance indicators of vessels. Thus, the system of technical and operational indicators of the container carries on the lines, on the one hand, allows to evaluate the use of vessels, on the other hand, to determine possible ways of increasing the economic efficiency of their operating by «improving» the use of the main vessels resource – their carrying capacity. **Results.** To evaluate the vessel technical and operational results on the container line, it is proposed to use: integral and local coefficients of the capacity utilization as the use of the container carriers' capacity on the line as a whole and on individual sections; integral and local indicators of ship loading imbalance during the transition between ports. These indicators are designed to analyze the operation of a specific vessel both on each section of the line – the transportation between ports, and on the line in general. To differentiate different levels of these indicators, it is suggested to use the terms «local» and «integral», respectively, for a pair of ports and the line as a whole. The formation of these indicators involves taking into account the distance of each section of the line in relation to the total line distance as weight. This system of indicators complements and details the existing approaches to the vessels use assessment in the production sense. The calculated example demonstrated the operation of the proposed formulas for evaluating indicators, as well as their adequate response to changes according to the initial data. **Conclusions.** The proposed indicators make it possible to evaluate and forecast the expediency and efficiency of the line structure and the vessel operation on this line. Local indicators are intended for the analysis of the vessel's operation between a specific pair of ports, integral indicators reflect the technical and operational results of the vessel's operation on the line. For the annual period, these indicators can be averaged, and their arithmetic mean values should be used to evaluate the results and feasibility of the vessels operating on this line, as well as the feasibility of line structure

*from the point of view of the set of ports. In addition, these indicators at the line level – «integral» indicators are the basis for further technical, operational and economic evaluation of the container service functioning as a whole.*

**Key words:** *container carriers capacity utilization rate; line service, transport work, container line structure, imbalance, loading.*

**Вступ.** Судноплавні лінії відіграють важливу роль у забезпеченні світової торгівлі. Практична більшість лінійних сервісів пов'язана з контейнерними перевезеннями та роботою суден-контейнеровозів, і лише невелика їхня частка – до 5% – припадає на перевезення з використанням багатоцільових (універсальних суден). Контейнерні лінії можна порівняти з артеріями для сучасної економіки, які утворюють основу для реалізації мультимодальних та інтермодальних перевезень. Контейнерні лінії (або лінійні сервіси) є динамічними структурами, які виникають, трансформуються і ліквідуються залежно від ринкових чинників. Лінійний сервіс – це певний маршрут та судна, які працюють за даним маршрутом відповідно до розкладу [1]. Ефективність кожного сервісу залежить як від ринкових чинників, так і від характеристик суден та специфіки портів. Зменшення ефективності лінійного сервісу є сигналом для перегляду набору портів та складу суден, які обслуговують цю лінію. Але навіть за умов досить задовільної економічної ефективності можуть бути варіанти її підвищення. Виявлення джерел підвищення ефективності має базуватися на аналізі техніко-експлуатаційних показників роботи суден. Таким чином, система техніко-експлуатаційних показників роботи суден на лініях, з одного боку, дає змогу оцінити використання суден як транспортних засобів, з іншого – визначити можливі шляхи підвищення економічної ефективності їх роботи через поліпшення використання основного ресурсу суден як транспортних засобів – їхньої провізної здатності.

**Постановка проблеми.** Як прийнято у теорії транспортних процесів, усі показники роботи суден (та транспортних засобів інших видів транспорту) діляться на техніко-експлуатаційні та економічні [2]. Існують різні трактовки поняття «техніко-експлуатаційні показники». Наприклад, у деяких джерелах вказується, що техніко-експлуатаційні показники характеризують рівень реалізації технічних можливостей транспортного засобу [3]. Деякі спеціалісти вважають, що техніко-експлуатаційні показники – це система взаємопов'язаних первинних та розрахункових показників, що характеризують можливе та фактичне використання транспортного засобу в існуючих умовах експлуатації [4].

У [5] стосовно техніко-експлуатаційних показників роботи суден наводиться такий перелік із посиланням на класичні для морського транспорту джерела:

- показники кількості й якості роботи флоту;
- показники перевезень і вантажообігу;
- показники технічної роботи та виробничої потужності судна і флоту;
- показники бюджету часу роботи флоту;
- показники реалізації технічної швидкості судна і флоту;
- показники використання вантажопід'ємності і вантажомісткості судна і флоту;
- результативні показники технічної продуктивності судна і флоту;

– показники інтенсивності обробки суден у морських портах; показники провізної здатності флоту.

Цей перелік був сформований у період планової економіки, окрім того, він більшою мірою орієнтований на судна, які не працюють на лінії у сучасному її розумінні, тому цей перелік такий великий.

Робота суден-контейнеровозів на лінії має певну специфіку, насамперед за рахунок специфіки лінійної форми судноплавства та особливостей роботи суден на лінії. Наприклад, технічна швидкість судна використовується так, щоб витримувалася розклад лінії, тому показник реалізації технічної швидкості судна у цьому разі не має особливого сенсу. Це стосується й показників бюджету часу, й інтенсивності обробки судна в морських портах, наприклад обробка суден у портах здійснюється в рамках розкладу лінії. Тому для контейнерних лінійних сервісів має значення дотримання розкладу [6].

Морські контейнерні перевезення є елементами різних систем – систем доставки, транспортно-технологічних систем, магістрально-фідерних систем, що досліджувалось у сучасних роботах. У рамках систем доставки важливими питаннями є маршрути доставки, їх оптимізація розглядалась у роботах [7–13].

Слід зазначити, що сучасну теоретичну базу роботи суден-контейнеровозів формують дослідження [14; 15], де розглянуто специфіку та встановлено методи організації роботи суден-контейнеровозів у контейнерній транспортно-технологічній системі. У даних дослідженнях акцентувалась увага саме на технологічних питаннях роботи суден, проте окремі комерційні питання також було розглянуто. Наприклад, важливим є обґрунтування комерційної доцільності заходження суден у факультативні порти лінії, результати дослідження цього питання наведені у [14]. Функціонування магістрально-фідерної системи контейнерних перевезень розглянуто у роботах [16–19]. Робота суден на лініях, але для універсальних суден, досліджувалось у [6], деякі результати даного дослідження можуть бути застосовані й для суден-контейнеровозів.

Таким чином, сучасні дослідження акцентували увагу саме на організації та управлінні роботою суден у рамках зазначених систем. Але ж залишається ще інший погляд на роботу суден – як елементів лінійного сервісу, ефективність якого обґрунтовується ефективністю роботи кожного судна. Слід зазначити, що з урахуванням специфіки предметної сфери вказаних досліджень техніко-експлуатаційні показники роботи суден на лініях не досліджувались у повному обсязі, але ж необхідність адаптувати «класичні» показники, такі, наприклад, як коефіцієнт використання вантажопід'ємності та пропозиції заміни вантажопід'ємності на контейнеромісткість, наведено у [17].

Таким чином, питання формування системи техніко-експлуатаційних показників роботи суден-контейнеровозів на лініях з урахуванням структури ліній та диференціації вантажопотоків між портами ліній на різних ділянках залишаються актуальними.

Ба більше, як уже було зазначено, велике значення має не лише робота конкретного судна, а й функціонування лінійного сервісу в цілому. А це пов'язано з оцінкою роботи множини суден на лінії та передбачає їх розгляд уже на іншому рівні та в рамках іншої системи, а саме системи лінійного сервісу.

Формування системи техніко-експлуатаційних показників роботи суден у рамках лінійного сервісу дасть змогу доповнити існуючу теоретичну базу та надасть інструментарій для більш глибокого аналізу використання суден і встановлення можливостей для підвищення ефективності функціонування лінійних сервісів.

Ціль статті. Виходячи з вищезазначеного, метою даного дослідження є розроблення системи техніко-експлуатаційних показників роботи суден у рамках лінійних сервісів для забезпечення більш повного та деталізованого аналізу використання виробничих можливостей суден.

Результати. Отже, для суден-контейнеровозів, що працюють на лінії, велике значення з погляду оцінки їхньої транспортної роботи – фактичної чи прогнозованої – мають техніко-експлуатаційні показники, які пов'язані з обсягами перевезень контейнерів (контейнеропотоками) та співвідношенням їх з основним ресурсом судна – провізною здатністю, базою для розрахунку якої є, насамперед, контейнеромісткість судна та відстані перевезень у рамках маршруту контейнерної лінії.

Як відомо, транспортна робота – це переміщення певної кількості вантажу на певну відстань, що для морського транспорту обчислюється в тонно-милях. З урахуванням того, що з погляду відстані перевезення маршрут лінії є заданою характеристикою, то основним параметром, який впливає на величину транспортної роботи і результату роботи судна-контейнеровозу (суден), є кількість контейнерів (TEU). Таким чином, контейнеропотоки, які пов'язані з портами лінії та даною компанією-перевізником, визначають і розміри відправок – кількість контейнерів, представлених до перевезення з порту до порту, що визначає завантаження судна на кожній ділянці лінії та формує, зрештою, транспортну роботу, яка виконана судном. Порівняння виконаної «корисної» транспортної роботи з фактично виконаною з урахуванням основного ресурсу судна-контейнеровозу – контейнеромісткості визначає сутність коефіцієнта використання контейнеромісткості.

Отже, одним із важливих техніко-експлуатаційних показників, що характеризують використання судна з виробничого погляду, є коефіцієнт використання вантажопід'ємності судна – контейнеромісткості для суден-контейнеровозів. Як правило, у літературних джерелах цей коефіцієнт розглядається як частка використання контейнеромісткості судна, та розрахункова формула формується за аналогією з коефіцієнтом використання чистої вантажопідйомності судна, яка враховує відношення «корисної роботи» – тонно-миль з урахуванням завантаження  $Q$  та відстані перевезення вантажу  $l$  – до «спільної роботи», яка враховує у тому числі й баластовий перехід у межах відстані кругового рейсу  $L$  та чисту вантажопідйомність судна  $D_v$  [2; 3]:

$$\alpha = \frac{Q \cdot l}{D_v \cdot L}. \quad (1)$$

Для суден-контейнеровозів ця формула може бути трансформована з урахуванням заміни завантаження в тоннах на завантаження в TEU, а також заміни чистої вантажопідйомності на контейнеромісткість (паспортну) судна. Окрім того, відсутні баластові ділянки, тому, по суті, на кожній ділянці лінії цей показник виражається так:

$$\alpha^{cont} = \frac{Q^{TEU}}{K}, \quad (2)$$

де  $Q^{TEU}$  – завантаження судна в TEU,  $K$  – контейнеромісткість судна (в TEU).

Тим не менше така трансформація не дає реального інструменту для оцінки використання контейнеромісткості судна під час роботи на лінії, у рамках якої розглядається кілька ділянок, на кожному з яких різне використання вантажопідйомності. Тому природним у цій ситуації є формування показника, який урахує використання контейнеромісткості на кожній ділянці маршруту лінії, а також тривалість кожної ділянки у складі лінії. Останнє, по суті, є ваговим коефіцієнтом: чим більша відстань, тим більша виконана робота, тому «корисна» робота на цій ділянці має більшу вагу, ніж в інших меншій протяжності.

Отже, нехай судноплавна компанія, що розглядається, працює в рамках  $N$  контейнерних сервісів – ліній. Кожна лінія  $n = \overline{1, N}$  складається з ділянок, які формуються залежно від кількості портів  $v_n$  у складі лінії, тобто ділянки лінії – це послідовні проміжки між портами заходу суден. Формули, що пропонуються нижче, передбачають розгляд роботи суден на кожній лінії з урахуванням їх складників – ділянок.

Уведемо позначення:

$\alpha_{n\gamma}, n = \overline{1, N}, \gamma = \overline{1, \gamma_n}$  – коефіцієнт використання контейнеромісткості судна  $\gamma$  на  $n$ -ої лінії,  $N$  – загальна кількість ліній, що розглядаються,  $\gamma_n$  – кількість суден, які працюють на  $n$ -ої лінії. Зазначимо, що термін «коефіцієнт» є усталеним терміном у практиці вітчизняних морських і річкових перевезень, хоча за фактом це «показник» використання контейнеромісткості;

$L_{lk}; l, k = \overline{1, v_n}, n = \overline{1, N}$  – відстані між портами  $n$ -ї лінії,  $v_n$  – кількість портів заходу в лінії;

$Q_{lk}^{\gamma}; l, k = \overline{1, v_n}, n = \overline{1, N}, \gamma = \overline{1, \gamma_n}$  – кількість контейнерів (у TEU), що перевозяться (представлені до перевезення) між портами  $l, k$  на судні  $\gamma$  на  $n$ -ій лінії. Зазначимо, що  $Q_{lk}^{\gamma}$  не є завантаженням судна на переході між портами  $l, k$ , а лише її частиною. Так, наприклад, у порт  $k = 4$  контейнери перевозяться як із порту  $l = 3$ , так і з портів  $l = 2$  і  $l = 1$ . Окрім того, частина контейнерів слідує далі, наприклад у порт  $k = 5$ , що також має бути враховано. Таким чином, завантаження судна є сумою кількостей контейнерів, які занурені раніше і слідує або до, або далі розглянутого порту  $k$ .

Даний показник – коефіцієнт використання контейнеромісткості судна для контейнерної лінії – може бути визначений так:

$$\alpha_{n\gamma} = \frac{\sum_{l=1}^{v_n-1} L_{l(l+1)} \left( \sum_{k=l+1}^{v_n} (Q_{lk}^{\gamma} + \sum_{m<l} Q_{mk}^{\gamma}) \right)}{K_{n\gamma} \cdot L_n}, n = \overline{1, N}, \gamma = \overline{1, \gamma_n}, \quad (3)$$

де

$$q_{l(l+1)}^{\gamma} = \left( \sum_{k=l+1}^{v_n} (Q_{lk}^{\gamma} + \sum_{m<l} Q_{mk}^{\gamma}) \right), l = \overline{1, v_n-1}, n = \overline{1, N} \quad (4)$$

виражає завантаження судна на переході між портами  $l, l+1$ , урахувуючи те, що завантажено в порту  $l$  для перевезення в наступні порти  $k = l+1, l+2, \dots, v_n$ , а також те, що було завантажено в попередніх портах  $m < l$  і також слідує в порти  $k = l+1, l+2, \dots, v_n$ ;

$K_{n\gamma}$  – контейнероємність судна в TEU;

$L_n$  – протяжність маршруту лінії, що виражається як

$$L_n = \sum_{l=1}^{v_n} L_{l(l+1)}, n = \overline{1, N}. \quad (5)$$

Тут слід зазначити, що, як правило, маршрут лінії пов'язаний із заходом в одні й ті ж порти в напрямку в один та інший бік, тобто для судна це круговий рейс з обходом спочатку в одному порядку, потім у зворотному, одних і тих ж портів. Але ж зустрічаються й інші ситуації, коли порти в одному та іншому напрямках відрізняються, але ж незначно, це, звичайно, потребує певної адаптації наданих формул.

Складники (3)

$$\alpha_{n\gamma}^{l(l+1)} = \frac{\left( \sum_{k=l+1}^{v_n} (Q_{lk}^\gamma + \sum_{m<l} Q_{mk}^\gamma) \right)}{K_{n\gamma}}, l = \overline{1, v_n - 1}, n = \overline{1, N}, \gamma = \overline{1, \gamma_n} \quad (6)$$

є коефіцієнтами використання контейнеромісткості судна на переході між портами  $l, l+1$  як відношення завантаження судна  $q_{l(l+1)}^\gamma$  до його контейнеромісткості  $K_{n\gamma}$ .

$\frac{L_{l(l+1)}}{L_n}$  формує «вагу» ділянки між портами  $l, l+1$  у межах маршруту лінії з погляду відстані перевезень – частку відстані між портами  $l, l+1$  у загальній протяжності маршруту.

Значимо, що не лише «інтегральний» коефіцієнт використання контейнеромісткості судна на лінії (3), а й «локальний» коефіцієнт використання контейнеромісткості судна на окремій ділянці лінії (6) є інструментами оцінки доцільності використання судна з виробничого, перш за все, погляду. Так, (6) можна використовувати у сукупності з оцінкою комерційної доцільності заходу судна в порт [14; 15] під час оцінки доцільності включення/виключення конкретного порту/зі складу лінії, а в сукупності з (3) – для оцінки доцільності використання судна певної контейнеромісткості. Цей аналіз передує аналізу економічної ефективності роботи судна на лінії.

Для демонстрації роботи показників (3) та (6) розглянемо приклад. У табл. 1, 2 представлено вихідні дані: кількість контейнерів, представлених до перевезення між портами лінії, а також відстані між портами лінії. Контейнеромісткість судна – 4000 TEU, кількість портів даної лінії –  $v_n = 4$ . Прокоментуємо окремі складники (3) та (6) для даного прикладу.

Довжина маршруту лінії становить  $L_n = 2200$  миль, результати розрахунків подано у табл. 3.

Сума елементів останнього рядка формує шуканий коефіцієнт використання контейнеромісткості судна на даній лінії:  $\alpha_{n\gamma} = 0,456$ .

Таблиця 1

**Кількість контейнерів, відправлених між портами, TEU – базовий варіант**

Порти лінії	Порт 1	Порт 2	Порт 3	Порт 4
Порт 1	0	1400	1700	400
Порт 2	300	0	300	300
Порт 3	400	600	0	500
Порт 4	200	600	250	0

Таблиця 2

**Відстань перевезень між портами, миль**

Порти лінії	Порт 1	Порт 2	Порт 3	Порт 4
Порт 1	0	400	250	460
Порт 2	400	0	300	280
Порт 3	250	300	0	400
Порт 4	460	280	400	0

Таблиця 3

**Результати розрахунків коефіцієнтів використання контейнеромісткості судна на ділянках маршруту лінії для базового варіанту вихідних даних**

Ділянка лінії (порти)	1-2	2-3	3-4	4-3	3-2	2-1
$q_{l(l+1)}$	3500	2700	1200	1050	1800	900
$\alpha_{ny}^{l(l+1)}$	0,875	0,675	0,3	0,2625	0,45	0,225
$\frac{L_{l(l+1)}}{L_n}$	0,182	0,136	0,182	0,182	0,136	0,182
$\frac{L_{l(l+1)}}{L_n} \cdot \alpha_{ny}^{l(l+1)}$	0,159	0,092	0,055	0,048	0,061	0,041

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що контейнеромісткість судна використовується на досить низькому рівні: навіть «локальні» коефіцієнти використання у багатьох ділянках становлять від 25% до 45 %, що визначає досить низьке значення  $\alpha_{ny}$ . У процесі дослідження було змінено деякі кількості контейнерів (табл. 4), поданих до перевезення, між портами порівняно з початковими даними табл. 1:

Результати розрахунків для даних відправлень TEU у табл. 5.

Для цієї ситуації, тобто за зміни кількості контейнерів, представлених до перевезення між портами лінії, коефіцієнт використання контейнеромісткості судна став значно вищим і становив  $\alpha_{ny} = 0,661$ . Таким чином, можна стверджувати, що в середньому контейнеромісткість судна використовується на ділянках лінії

на 66% з урахуванням вагомості кожної ділянки маршруту. Рис. 1 демонструє порівняння середнього значення коефіцієнта використання контейнеромісткості на лінії у цілому (інтегральний показник) із локальними коефіцієнтами використання контейнеромісткості на ділянках маршруту.

Таблиця 4

**Кількість контейнерів, відправлених між портами, TEU**

Порти лінії	Порт 1	Порт 2	Порт 3	Порт 4
Порт 1	0	1400	1700	400
Порт 2	1300	0	1000	300
Порт 3	400	600	0	2500
Порт 4	200	600	1250	0

Таблиця 5

**Результати розрахунків коефіцієнтів використання контейнеромісткості судна на ділянках маршруту лінії за змін кількості відправлених контейнерів між портами**

Ділянка лінії (порти)	1-2	2-3	3-4	4-3	3-2	2-1
$q_{l(l+1)}$	3500	3400	3200	2050	1800	1900
$\alpha_{ny}^{l(l+1)}$	0,875	0,85	0,8	0,5125	0,45	0,475
$\frac{L_{l(l+1)}}{L_n}$	0,182	0,136	0,182	0,182	0,136	0,182
$\frac{L_{l(l+1)}}{L_n} \cdot \alpha_{ny}^{l(l+1)}$	0,159	0,116	0,145	0,093	0,061	0,086

— Коеф. використ локальний    - - - Коеф. використання інтегральний

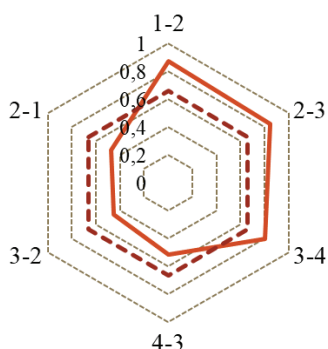


Рис. 1. Порівняння коефіцієнта використання контейнеромісткості судна 4000 TEU для лінії у цілому з локальними значеннями коефіцієнтів використання на ділянках маршруту

За заміни судна контейнероємністю 4000 TEU на судно контейнеромісткістю 3600 TEU логічно отримуємо більш високі значення локальних коефіцієнтів використання контейнеромісткості судна та збільшення інтегрального коефіцієнта використання контейнеромісткості до  $\alpha_{\text{нл}} = 0,735$  (табл. 5, рис. 2).

Таблиця 6

**Результати розрахунків коефіцієнтів використання контейнеромісткості судна на ділянках маршруту лінії для судна контейнеромісткістю 3600 TEU**

Ділянка лінії (порти)	1-2	2-3	3-4	4-3	3-2	2-1
$q_{l(l+1)}$	3500	3400	3200	2050	1800	1900
$\alpha_{\text{нл}}^{l(l+1)}$	0,972	0,944	0,889	0,569	0,500	0,528
$\frac{L_{l(l+1)}}{L_n}$	0,182	0,136	0,182	0,182	0,136	0,182
$\frac{L_{l(l+1)}}{L_n} \cdot \alpha_{\text{нл}}^{l(l+1)}$	0,177	0,129	0,162	0,104	0,068	0,096

— Коеф. використ локальний — Коеф. використання інтегральний

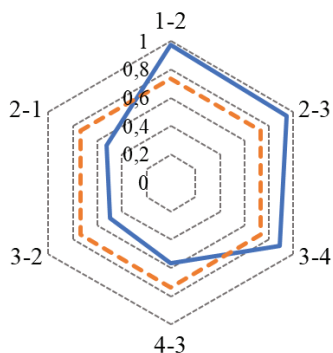


Рис. 2. Порівняння коефіцієнту використання контейнеромісткості судна 3600 TEU для лінії у цілому з локальними значеннями коефіцієнтів використання на ділянках маршруту

Аналіз використання контейнеромісткості на окремих ділянках лінії продемонстрував наявність дисбалансу у перевезеннях контейнерів на лінії у різних напрямках. Так, із портів 1, 2, 3 до порту 4 загальна кількість перевезених контейнерів становить 7300 TEU (табл. 5), тоді як у зворотному напрямку – 4350 TEU.

Слід зазначити, що показники дисбалансу «експорт – імпорт» є традиційними для лінійного судноплавства, ба більше, ступень даного дисбалансу

використовується компаніями-перевізниками під час формування деяких надбавок до ставки перевезення (наприклад, бункерної надбавки).

Більш детальніший погляд на оцінку дисбалансу дає змогу ввести у розгляд показник  $IL_{n\gamma}^{l(l+1)}$  дисбалансу завантаження судна між парами портів:

$$IL_{n\gamma}^{l(l+1)} = \begin{cases} \frac{q_{l(l+1)}^\gamma}{q_{(l+1)l}^\gamma}, q_{(l+1)l}^\gamma \geq q_{l(l+1)}^\gamma; \\ \frac{q_{(l+1)l}^\gamma}{q_{l(l+1)}^\gamma}, q_{(l+1)l}^\gamma < q_{l(l+1)}^\gamma; \end{cases} \quad (7)$$

$$l = \overline{1, v_n - 1}, n = \overline{1, N}, \gamma = \overline{1, \gamma_n}.$$

Так, для прикладу, що розглядається, отримуємо такі значення цього показника:  $IL_{n\gamma}^{12} = 0,543$ ,  $IL_{n\gamma}^{23} = 0,529$ ,  $IL_{n\gamma}^{34} = 0,641$ . Дані значення можуть трактуватися як відповідно 54%, 53% і 64% завантаження судна в «імпортному» (зворотному напрямку) порівняно з «експортним» напрямком.

Середній показник дисбалансу завантаження судна на лінії  $IL_{n\gamma}$  може бути обчислений на базі підходу, що використовується вище, для визначення коефіцієнта використання контейнеромісткості, де як «ваги» використовувалися  $\frac{L_{l(l+1)}}{L_n}$  відношення відстаней ділянок між портами і протяжністю всього маршруту лінії:

$$IL_{n\gamma} = \sum_{l=1}^{v_n-1} IL_{n\gamma}^{l(l+1)} \cdot \frac{2 \cdot L_{l(l+1)}}{L_n}, n = \overline{1, N}, \gamma = \overline{1, \gamma_n}. \quad (8)$$

Зазначимо, що множення на 2 важелів  $\frac{L_{l(l+1)}}{L_n}$  пропонується використовувати через те, що кожна ділянка між портами враховується двічі – в одному та іншому напрямку в рамках «локальних» показників дисбалансу завантаження судна.

Для розрахункового прикладу отримуємо:  $IL_{n\gamma} = 0,574$ , що означає, що у середньому завантаження судна у зворотному (імпортному) напрямку становить 57% від середнього завантаження експортного напрямку. Таким чином, ідея формування системи техніко-експлуатаційних показників роботи судна-контейнеровоза на лінії наведено на рис. 3. Рисунок ілюструє межі локальних (на ділянках) та інтегральних (лінія у цілому) показників, а також ідею їх формування на рівні ділянок: коефіцієнтів використання контейнеромісткості – як співвідношення контейнеромісткості судна та його завантаження, дисбалансу – як співвідношення завантаження в експортному та імпортному напрямках.

Отже, для оцінки техніко-експлуатаційних результатів роботи судна на контейнерній лінії пропонується використовувати:

1) коефіцієнт використання контейнеромісткості судна на ділянках лінії  $\alpha_{n\gamma}^{l(l+1)}$  – «локальний» коефіцієнт використання контейнеромісткості;

2) коефіцієнт використання контейнеромісткості судна на лінії  $\alpha_{n\gamma}$  – «інтегральний» коефіцієнт використання контейнеромісткості;

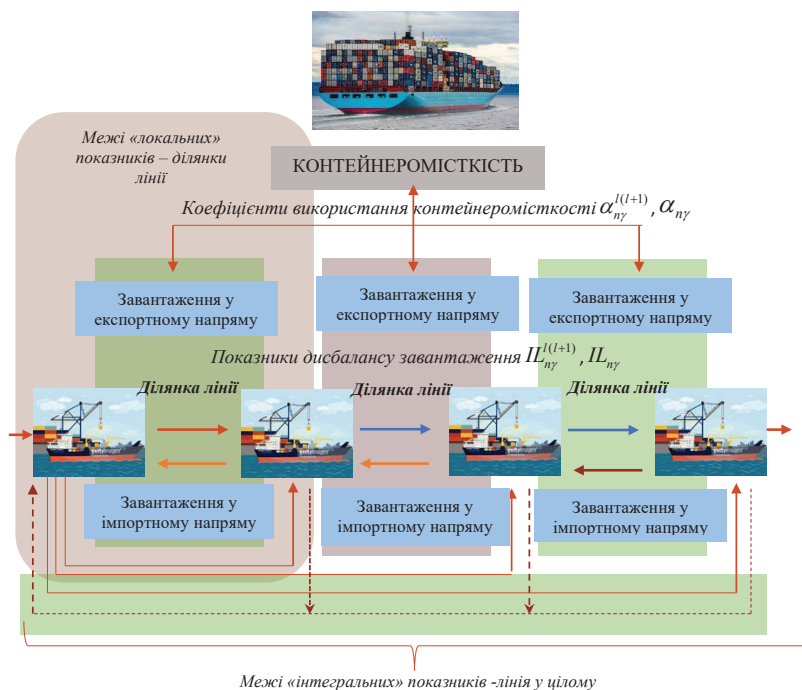


Рис. 3. Система основних техніко-експлуатаційних показників роботи судна-контейнеровоза на лінії

3)  $IL_{ny}^{l(i+1)}$  – «локальний» показник дисбалансу завантаження судна під час переходу між портами;

4)  $IL_{ny}$  – «інтегральний» показник дисбалансу завантаження судна на лінії.

Дана система показників доповнює та деталізує існуючі підходи до оцінки використання суден у виробничому сенсі. Розрахунковий приклад продемонстрував роботу запропонованих формул для оцінки показників, а також їхню адекватну реакцію на зміну вихідних даних.

**Висновки.** У рамках даного дослідження розроблено систему базових техніко-експлуатаційних показників роботи суден-контейнеровозів на лініях.

Дані показники розроблено для аналізу роботи конкретного судна як на кожній ділянці лінії – переходу між портами, так лінії загалом. Для диференціації різного рівня даних показників пропонується використовувати терміни «локальний» та «інтегральний» відповідно для пари портів і лінії у цілому. Це дає змогу оцінювати та прогнозувати доцільність та ефективність структури лінії й роботи конкретного судна на даній лінії. Локальні показники призначені для аналізу роботи судна між конкретною парою портів, інтегральні показники відображають техніко-експлуатаційні результати роботи судна на лінії.

Зазначимо, що розглянуті вище показники належать до конкретного рейсу судна на лінії. У рамках аналізу, наприклад річного періоду, ці показники можуть бути усереднені, а їхні середньоарифметичні значення повинні бути використані для оцінки результатів та доцільності роботи даного судна на даній лінії, а також доцільності даної структури лінії з погляду набору портів. Окрім того,

дані показники на рівні лінії – «інтегральні» показники є основою для подальшої техніко-експлуатаційної та економічної оцінки функціонування лінійного контейнерного сервісу в цілому, що є напрямом подальшого дослідження.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко Ю.А., Онищенко С.П. Структура та невизначеність контейнеропотоків у системі морських перевезень. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки». 2024. Т. 35(74). № 1. С. 139–146.
2. Кириллова О.В. Управління роботою портів. Основи теорії і практики : навчальний посібник. Одеса : ОНМУ, 2019. 141 с.
3. Давідіч Ю.О., Фалецька Г.І., Ольхова М.В. Ефективність транспорту. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 74 с.
4. Основи теорії транспортних процесів та систем / А.І. Панченко та ін. Мелітополь : Люкс, 2021. 160 с.
5. Мелешенко К. Забезпечення сталого функціонування вантажопажирських поромів : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01. Одеса, 2018. 27 с.
6. Вишневський Д.О. Методичні основи організації роботи універсальних суден на міжнародних лініях : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Одеса, 2016. 171 с.
7. Берестенко В., Онищенко С. Ймовірнісні характеристики мультимодальної доставки. Розвиток транспорту. 2021. № 1(12). С. 118–128. DOI: 10.33082/td.2022.1-12.10.
8. Rusanova S., Onyshchenko S. Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. Technology audit and production reserves. 2020. Т. 1. (2(51)). Р. 24–29. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.198373.
9. Берестенко В., Онищенко С. Структура та характеристики мультимодальної доставки з позиції цифровізації. Розвиток транспорту. 2021. № 4(11). С. 82–93. DOI: 10.33082/td.2021.4-11.08.
10. Король В.Ю. Обґрунтування маршрутів доставки вантажів при транспортно-експедиторському обслуговуванні контейнеропотоків. Вісник Одеського національного морського університету. 2018. Вип. 2(55). С. 82–95.
11. Korol V. (2018). Substantiation of quantitative composition of consignments in organizing aggregated shipments in containers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(3 (96), 41–47. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.152013.
12. Pavlova N., Onyshchenko, S. (2021). Development and Research of a Model for Optimizing the Composition of a Project-Oriented Forwarding Company'Suppliers. Technology audit and production reserves, 1(2), 57. DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225521.
13. Pavlova, N., & Onyshchenko, S. (2020). Організація проектно-орієнтованого управління транспортною компанією (на прикладі

- транспортно–експедиторської компанії). Управління розвитком складних систем, 42, 23–28. DOI: 10.32347/2412–9933.2020.42.23–28.
14. Кириллов Ю.І. Організація та управління роботою суден у контейнерній транспортно-технологічній системі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Одеса, 2013. 24 с.
  15. Кириллова О.В. Теоретичні основи управління роботою флоту у транспортно-технологічних системах : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01. Одеса, 2016. 49 с.
  16. Кириллова О.В. До питання обґрунтування розподілу контейнеропотоків між суднами, обслуговуваними магістрально-фідерної лінії. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2014. Т. 2. №. 11. С. 55–68.
  17. Drozhzhyn O. Containership Traffic Optimization on Feeder Shipping Line. *Transport and Telecommunication Journal*. 2016. Vol. 17(4). P. 314–321. DOI: 10.1515/ttj-2016-0028.
  18. Drozhzhyn O., Koskina Y. The Model of Container Feeder Line Organization Focused on the Nature and Parameters of External Container Flows. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*. 2021. Vol. 23(2). P. 94–102. DOI: 10.26552/com.C.2021.2.A94-A102.
  19. Drozhzhyn, O., Koskina, Y. (2021). The model of container feeder line organization focused on the nature and parameters of external container flows. *Komunikácie*, 23(2). DOI: 10.26552/com.C.2021.2.A94-A102.

## REFERENCES

1. Bondarenko Yu.A., Onyshchenko S.P. Structure and uncertainty of container flows in the maritime transport system [Struktura ta nevyznachenist' konteyneropotokiv u systemi mors'kykh perevezen'] Academic notes of the Tavri National University V.I. Vernadskyi, Series: Technical Sciences, Volume 35 (74), No. 1, 2024, pp. 139–146. [in Ukrainian]
2. Kirillova O.V. Port Management [Upravlinnya robotoyu portiv]. Fundamentals of theory and practice: a study guide. Odesa: ONMU. 2019, 141 p. [in Ukrainian]
3. Yu.O. Davidych. Transport efficiency [Efektyvnist' transportu] / Yu.O.Davydich, G.I.Faletska, M.V.Olkhova; Kharkiv.nationalcityuniversity O.M. Beketov. – Kharkiv: XNUMX named after O. M. Beketova, 2019, 74 p. [in Ukrainian]
4. Panchenko A.I., Voloshina A.A., Boltyanskyi, O.V., Milayeva I.I., Panchenko I.A., Voloshyn A.A. Fundamentals of the theory of transport processes and systems [Osnovy teoriiy transportnykh protsesiv ta system]. Melitopol: VOC «Lux», 2021. 160 p. [in Ukrainian]
5. Meleshenko K. Ensuring sustainable operation of cargo-passenger ferries [Zabezpechennya staloho funktsionuvannya vantazhohopasazhyrs'kykh poromiv:]: autoref. thesis for obtaining sciences. degree of doctor of technology Sciences: specialist 05.22.01 / K. Meleshenko; Odessa national plague Univ. O., 2018. 27 p. [in Ukrainian]

6. Vyshnevsky D.O. Methodical bases of the organization of work of universal vessels on international lines [Metodychni osnovy orhanizatsiyi roboty universal'nykh suden na mizhnarodnykh liniyakh]: diss. candidate: 05.22.01 / D.O. Vishnevskiy. Odessa, 2016. 171 p. [in Ukrainian]
7. Berestenko V., Onyshchenko S. Probability characteristics of multimodal delivery [Ymovirnisni kharakterystyky mul'tymodal'noyi dostavky]. Transport development. 2021. Vol. 1(12), P. 118–128 DOI: 10.33082/td.2022.1-12.10 [in Ukrainian]
8. Rusanova S., Onyshchenko S. Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. Technology audit and production reserves. 2020. T. 1. (2(51)), P. 24–29. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.198373
9. Berestenko V., Onyshchenko S. Structure and characteristics of multimodal delivery from the digitalization point of view [Struktura ta kharakterystyky mul'tymodal'noyi dostavky z pozytsiyi tsyfrovizatsiyi]. Transport development. 2021. 4(11), 82–93. DOI: 10.33082/td.2021.4-11.0810 [in Ukrainian]
10. Korol V.Yu. Justification of cargo delivery routes in transport and forwarding service of container flows [Obgruntuvannya marshrutiv dostavky vantazhiv pry transportno-ekspedytors'komu obsluhovuvanni konteyneropotokiv]. Bulletin of Odessa National Maritime University. 2018, 2(55), 82–95. [in Ukrainian]
11. Korol V. (2018). Substantiation of quantitative composition of consignments in organizing aggregated shipments in containers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(3 (96), 41–47. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.152013
12. Pavlova N., Onyshchenko, S. (2021). Development and Research of a Model for Optimizing the Composition of a Project–Oriented Forwarding Company'Suppliers. Technology audit and production reserves, 1(2), 57. DOI: 10.15587/2706–5448.2021.225521
13. Pavlova, N., Onyshchenko, S. Organization of project-oriented management of a transport company (on the example of a transport and forwarding company). [Orhanizatsiya proyektno–oriyentovanoho upravlinnya transportnoyu kompaniyeyu (na prykladi transportno–ekspedytors'koyi kompaniyi)] Management of the development of complex systems, 42, 23–28. DOI: 10.32347/2412–9933.2020.42.23–28[in Ukrainian]
14. Kirillov Yu.I. Organization and management of the work of vessels in the container transport and technological system [Orhanizatsiya ta upravlinnya robotoyu suden v konteynerniy transportno-tekhnologichniy systemi]: autoref. thesis for obtaining sciences. candidate's degree technical Sciences 05.22.01 / Yu.I. Kirillov; Odessa national plague Univ. O., 2013. 24 p. [in Ukrainian]
15. Kirillova O.V. Theoretical foundations of fleet operation management in transport and technological systems [Teoretychni osnovy upravlinnya robotoyu flotu u transportno-tekhnologichnykh systemakh]: autoref. thesis

- for obtaining sciences. degree of doctor of technology Sciences: specialist 05.22.01 / O.V. Kirillova; Odessa national plague Univ. O., 2016. 49 p. [in Ukrainian]
16. O.V. Kirillova. On the question of substantiating the distribution of container flows between vessels serving the trunk-feeder line [Do pytannya obgruntuvannya rozpodilu konteyneropotokiv mizh sudnamy, obsluhovuyuchymy mahistral'no-fidernoyi liniy]. Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy. 2014. Vol. 2. No. 11, pp. 55–68. [in Ukrainian]
  17. Drozhzhyn O. Containership Traffic Optimization on Feeder Shipping Line. Transport and Telecommunication Journal. 2016. Vol. 17(4), P. 314–321. DOI: 10.1515/ttj-2016-0028
  18. Drozhzhyn O., Koskina Y. The Model of Container Feeder Line Organization Focused on the Nature and Parameters of External Container Flows. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina. 2021. Vol. 23(2), P. 94–102. DOI: 10.26552/com.C.2021.2.A94-A102
  19. Drozhzhyn, O., Koskina, Y. (2021). The model of container feeder line organization focused on the nature and parameters of external container flows. *Komunikácie*, 23(2). DOI: 10.26552/com.C.2021.2.A94-A102

## ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ В УКРАЇНІ

О.О. Волохов<sup>1</sup>, О.В. Щербина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>здобувач вищої освіти доктора філософії з транспортних технологій,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0009-0009-3300-3455

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-9247-5972

### Анотація

**Вступ.** Річковий транспорт відіграє важливу роль у транспортній системі України, проте ще потрібно докласти більших зусиль для реалізації його потенціалу. У зв'язку зі змінами в геополітичній та економічній ситуації на регіональному рівні стратегічне планування розвитку річкового транспорту стає актуальним завданням для України. Роботу присвячено дослідженню проблем і перспектив розвитку річкового транспорту в Україні з метою виявлення шляхів підвищення його ефективності та конкурентоспроможності. Проаналізовано основні чинники, що впливають на розвиток річкового транспорту, включаючи економічні та технологічні аспекти. **Мета.** Основною метою є аналіз поточного стану річкового транспорту в Україні, виявлення його ключових проблем та перспектив розвитку, чинників, що впливають на розвиток річкового транспорту в країні, визначення конкретних заходів щодо вдосконалення системи доставки вантажів. **Результати.** Аналіз поточного стану річкових перевезень в Україні показав, що серйозними перешкодами для їх розвитку (окрім політичної ситуації) є наявність слабкої інфраструктури, неефективне управління та нестабільне законодавство. Проте виявлено потенціал для подальшого вдосконалення цього виду транспорту, зокрема шляхом поповнення флоту баржевими суднами, упровадження ефективних управлінських практик та стимулювання інвестицій. **Висновки.** На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що річковий транспорт має значний потенціал для подальшого розвитку в Україні. Проте для досягнення цього необхідні системні зміни в інфраструктурі та організації перевезень. За відсутності адекватних заходів цей вид транспорту ризикує залишитися невикористаним, тим самим утрачаючи можливості для забезпечення економічного зростання та сталого розвитку країни.

**Ключові слова:** річковий транспорт, контейнер, вантажоперевезення, інфраструктура, флот.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF RIVER TRANSPORT DEVELOPMENT  
IN UKRAINE

O.O. Volokhov<sup>1</sup>, O.V. Shcherbina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Candidate for Higher Education of Doctor of Philosophy in Transport Technologies,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0009-0009-3300-3455

<sup>2</sup>Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department  
«Operation of the Fleet and Technology of Sea Transportation»,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-9247-5972

**Summary**

**Introduction:** River transport plays an important role in the transport system of Ukraine, but greater efforts are still needed to realize its potential. In connection with changes in the geopolitical and economic situation at the regional level, the strategic planning of the development of river transport is becoming an urgent task for Ukraine. The work is devoted to the study of problems and prospects for the development of river transport in Ukraine with the aim of identifying ways to increase its efficiency and competitiveness. The main factors affecting the development of river transport, including economic and technological aspects, are analyzed. **Purpose:** The main purpose is to analyze the current state of river transport in Ukraine, identify its key problems and prospects for development. Identification of problems and factors affecting the development of river transport in Ukraine. Determination of specific measures to improve the cargo delivery system. **Results:** Analysis of the current state of river transportation in Ukraine showed that serious obstacles to its development (besides the political situation) are the presence of weak infrastructure, inefficient management, and unstable legislation. However, the potential for further improvement of this mode of transport has been identified, in particular by replenishing the fleet with barge vessels, implementing effective management practices and stimulating investments. **Conclusions:** Based on the analysis, it can be concluded that river transport has a significant potential for further development in Ukraine. However, to achieve this, systemic changes in the infrastructure and organization of transportation are necessary. In the absence of adequate measures, this mode of transport risks remaining unused, thereby losing opportunities to ensure economic growth and sustainable development of the country.

**Key words:** river transport, container, cargo transportation, infrastructure, fleet.

Транспорт завжди був ключовим чинником у господарському та соціальному прогресі країн. Україна, маючи різноманітну вантажну базу та займаючи стратегічне положення, має значний потенціал для розвитку річкових перевезень. Проте, незважаючи на ці очевидні переваги, річковий транспорт в Україні перебуває у запущеному стані і потребує суттєвих реформ.

У поточний період зі зростанням обсягів транспортного навантаження на наземний транспорт річковий транспорт України стикається з низкою проблем, які суттєво обмежують його ефективність та конкурентоспроможність. Серед загальних труднощів варто відзначити застарілу інфраструктуру, недостатнє утримання водних шляхів, обмежену пропускну спроможність гирл, а також дефіцит

кваліфікованого персоналу. Окрім того, важливими аспектами є відсутність чіткої стратегії розвитку річкового транспорту, а також недостатня увага з боку держави до розкриття його потенціалу. Сучасна проблематика вантажних перевезень з України вже сформульована та досить відома широкому колу науковців [1]. До основних перешкод відносять:

- практичну неможливість перевезення широкої номенклатури вантажів через українські порти;
- обмежену пропускну здатність українських дунайських портів для перевантаження різноманітної номенклатури вантажів та обмеженість роботи портів «Великої Одеси»;
- необхідність пошуку нових схем доставки;
- відсутність достатньої потужності перевантажувальної інфраструктури на українсько-європейському кордоні.

Яскравим прикладом розроблення ефективних схем доставки можна назвати українську компанію «Інтерпайп» (Київ, Дніпро, Одеса) – бізнес-групу, яка зосереджена на сталеливарній промисловості (зокрема, прокат) та є величезним гравцем на українському та світовому ринках металевих труб, продукція якої до початку війни йшла через морські порти (45%) [2].

Абсолютно логічним є те, що металевий прокат – це важкий та, як правило, габаритний вантаж, який перевозиться будь-яким видом транспорту. При цьому постає питання щодо транзитного часу та собівартості перевезення. Після роботи за різними схемами фахівцями компанії було обґрунтовано ефективність перевезень металопродукції через дунайські порти, а саме через Ізмаїл, та зроблено два головні висновки:

1) У сучасних умовах тарифи на перевезення наземним транспортом сильно змінилися та стали дорожчими.

2) Найкращим варіантом є долучання до схем річкових портів України.

Особливу увагу слід звернути на контейнерні перевезення, які до 2022 р. становили значну частину загального обсягу вантажопотоку в Україні. Із закриттям морських портів автомобільні та залізничні контейнерні перевезення стали першими вибором. Проте вони мають численні недоліки, такі як великий транзитний час та високі витрати на перевезення, а також обмежена провізна здатність. У зв'язку із цим відновлення та модернізація контейнерних перевезень за допомогою річкового транспорту є повністю обґрунтованим рішенням.

Складним завданням є вирішення проблеми недостатнього захисту контейнерного обладнання від воєнних ризиків на території України. Недостатня страхова захищеність може стати перешкодою розвитку діяльності контейнерних перевізників під час доставки вантажів на територію України та знизити їхню зацікавленість у розвитку річкових та морських перевезень у регіоні. Розроблення механізму надання державних гарантій чи компенсації страхування від воєнних ризиків сприятиме збільшенню інвестиційної привабливості України для міжнародних контейнерних ліній, забезпечить захист їхнього майна та стимулюватиме розвиток морського транспорту в країні.

Проте слід зазначити, що є позитивна динаміка змін. У березні-квітні 2024 р. до українських портів зайшло як мінімум два контейнеровози [3]. Контейнерні

перевезення до цього в обмеженому обсязі здійснювалися через дунайські порти Одеської області.

Таким чином, відзначено наявність потреби в аналізі проблем, з якими зіштовхуються фахівці під час експлуатації річкового транспорту в Україні, а також потреби в ідентифікації можливостей для їх вирішення та розгляду перспектив подальшого розвитку. Проведення дослідження цих аспектів спрямоване на створення ефективних стратегій для підвищення ефективності та конкурентоспроможності річкового транспорту в Україні, що відповідає сучасним вимогам розвитку та національним стратегічним цілям.

Загальну проблематику річкового транспорту України можна охарактеризувати декількома пунктами:

- застаріла інфраструктура: багато річкових портів та терміналів в Україні потребують суттєвого оновлення та модернізації. Більшість із них втратили свою функціональність через відсутність інвестицій та відповідного утримання;

- недостатня глибина судноплавних річок: багато річок України мають недостатню глибину, що ускладнює плавання суден і обмежує їхній розмір суден, які можуть користуватися цими водними шляхами;

- застарілий річковий флот: Україна стикається з дефіцитом вантажних суден. Окрім того, більшість діючих суден застарілі і не відповідають сучасним стандартам безпеки та ефективності;

- низький рівень інвестицій: розвиток річкового транспорту потребує значних інвестицій у модернізацію інфраструктури, закупівлю нових суден та підтримку галузі загалом. Однак низький рівень інвестицій у цей сектор створює перешкоди для його розвитку;

- недостатня кількість кваліфікованого персоналу, особливо моряків, для роботи на річкових суднах для роботи по Дунаю.

До лютого 2022 р. річковий транспорт не був основним видом транспорту, долученим до експортних та імпорتنих вантажоперевезень. Зазвичай увесь обсяг вантажообробки на себе брали морські порти та автотранспорт, у нижчих показниках – залізничний. Але з початком бойових дій глобальна логістика України повністю змінилася – морська та авіагалузь повністю зупинені. А ось автомобільний, залізничний та річковий опинилися у ситуації, коли вони не можуть обробляти перенаправлені з морських портів вантажопотоки. І хоча деякий час працювала «Стамбульська (зернова) угода», яка давала змогу на деякий час відродити роботу українських морських портів, цього не було недостатньо для засвоєння вантажопотоків. Нині Україна оновила перевалку зерна в портах Великої Одеси самостійно, але ціна морських фрахтів залишається дуже високою через воєнні ризики та високу вартість страхування.

Розглянемо останні суттєві статистичні показники щодо вантажообігу.

Вантажообіг морських портів України (тих, що працюють та не опинилися в окупації) за підсумками 2023 р. становив 62 млн т. Це краще, ніж в 2022 р., коли відповідний показник становив 51,2 млн т, але не йде у порівняння з обсягами перевалки до повномасштабного російського вторгнення – 153,3 млн т у 2021 р. або 159,1 млн т у 2020 р. Додаткові 10 млн т перевалки в умовах воєнного стану – це безумовний успіх. Завдяки зусиллям влади вдалося налагодити роботу

чорноморського коридору до портів Великої Одеси. На цей маршрут у 2023 р. припало 12,8 млн т вантажів, і не тільки зерна, а й інших видів, які є не менш важливими складниками українського експорту. Причому обсяги перевезень чорноморським коридором під кінець 2023 р. лише набирали обертів, що дає підстави для оптимізму щодо майбутніх показників 2024 р. Дунайські порти в 2023 р. змогли утримати тимчасовий статус головних воріт країни, адже на них припала більша частина вантажообігу – 32 млн т. Головне, на що варто звернути увагу: поки українські порти малими кроками, озираючись на безпековий аспект, відновлюють перевалку, порти країни-агресора попри санкції і декларативні обмеження продовжують нарощувати вантажообіг другий рік поспіль. Так, перевалка в російських морських портах Азово-Чорноморського басейну в 2023 р. зросла на 10,4% – до 291,4 млн т.

Загальну статистику перевалки українських портів із 2019 р. представлено на рис. 1.

#### Перевалка в українських портах за 5 років, млн.т.

■ 2019 рік ■ 2020 рік ■ 2021 рік ■ 2022 рік ■ 2023 рік

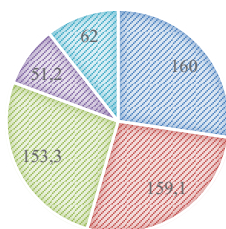


Рис. 1. Статистичні дані перевалки українських портів із 2019 р. [4]

Загальну кількість вантажообігу за 2023 р. представлено на рис. 2.

#### Вантажі, млн. т.

■ Зерно ■ Наливні  
■ Руда ■ Чорні метали  
■ Будматеріали ■ Інші (в т.ч. 677 тис. TEU)

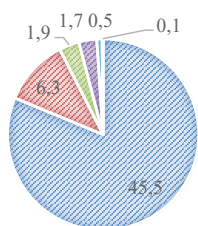


Рис. 2. Статистичні дані вантажообігу українських портів за 2023 р. [4]

Маршрути та напрямки даного вантажообігу демонструються на рис. 3 та рис. 4.

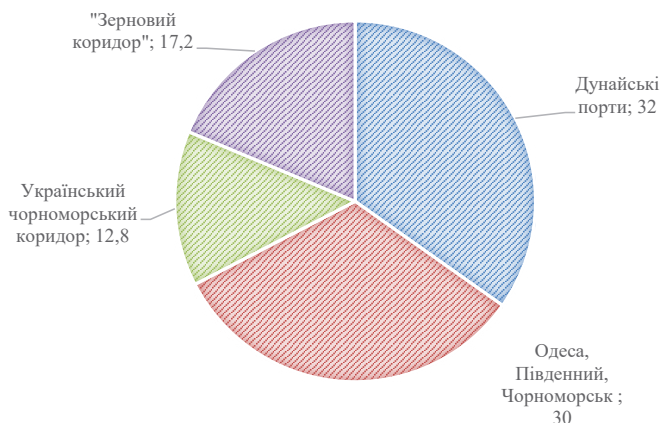


Рис. 3. Маршрути вантажообігу за 2023 р., млн т [4]

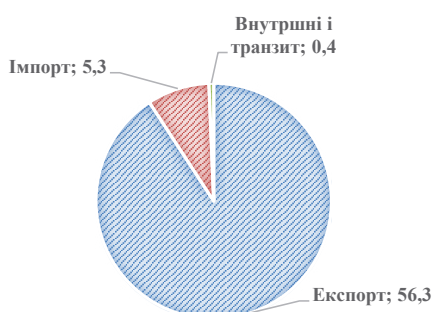


Рис. 4. Напрямки вантажообігу за 2023 р., млн т [4]

Ураховуючи останні події, а саме: припинення дії зернового коридору, страйк польських перевізників на кордоні щодо перевезень вантажів транзитом через Польщу до портів Європи, питання альтернативних шляхів експорту та імпорту для України знову стає гострим.

На щастя, географічне положення країни дає змогу в будь-якому разі мати шляхи вирішення проблеми. Автомобільні (сухопутні) шляхи через Словаччину чи Угорщину не виглядають перспективними через далеку відстань перевезення.

Отже, єдиним варіантом залишаються річкові порти та інфраструктура на півдні Одещини. Звичайно, проблеми, які вказані на початку статті, не дають змоги рівнозначно річковому транспорту замінити морський. Попри це показники роботи дунайських портів збільшилися, що наочно представлено на рис. 5 [5].

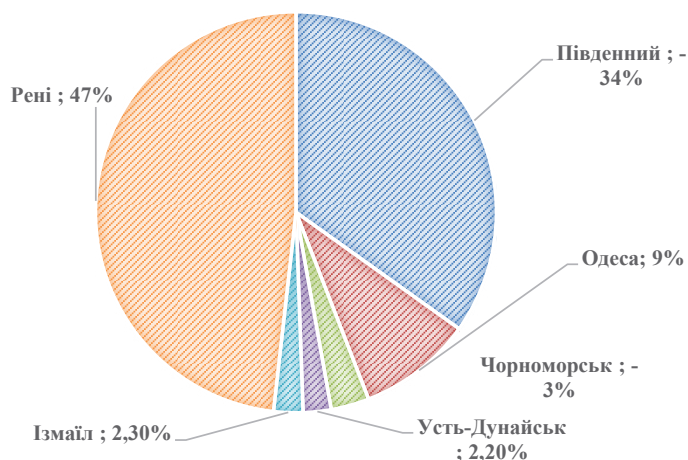


Рис. 5. Вантажобіг українських портів у 2023 р., млн т [5]

Різне збільшення вантажообігу призвело і до позитивних економічних змін: Українське дунайське пароплавство (далі – УДП) завершило 2023 р. із рекордним прибутком у 719 млн грн.

Підприємство сплатило у державний бюджет понад 140 млн грн, виконавши зобов'язання перед державою у повному обсязі. Дивіденди становили майже 216 млн грн, що є рекордним показником за всі роки існування УДП. Водночас підприємство ліквідувало наявні борги. Детальну графіку щодо чистого прибутку представлено на рис. 6 [6].

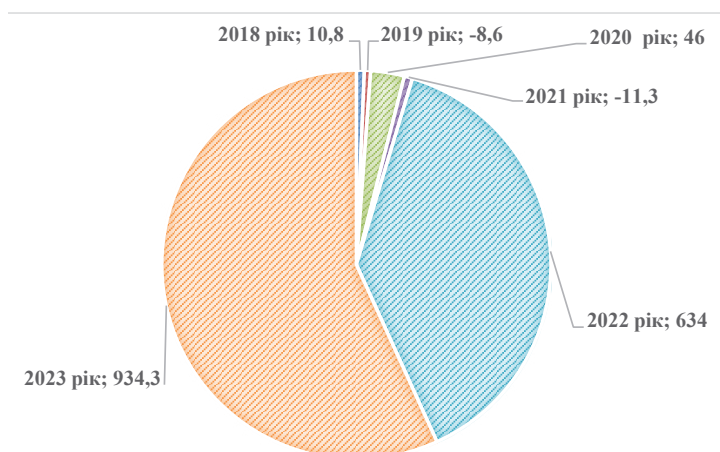


Рис. 6. Чистий прибуток УДП на кінець 2023 р. [5]

Такий результат було досягнуто переважно завдяки єдиному можливій логістичній послугі – об'єднанню фрахту (комплексу послуг) із перевалкою в Україні та Констанці. Від початку повномасштабного вторгнення зберігається високий попит на річкові перевезення, які відбуваються без посередників за ринковою

ціною. Також була структурована система закупівель та проведена велика кількість антикорупційних заходів.

Серед існуючих напрямів розвитку сучасного річкового транспорту в Україні [7] можливо застосувати такі:

- розробити й прийняти галузеві транспортні стратегічні програми з метою збалансування розподілу вантажопотоків між автомобільною, залізничною і річковою інфраструктурами;
- увести конкурентний підхід до тарифоутворення на річковому транспорті;
- змінити принцип обчислення портових зборів та плат, що стягуються з річкових суден;
- знизити збори за прохід суден під українськими та іноземними прапорами внутрішніми водними шляхами України;
- профінансувати на державному рівні або за рахунок грантів освіту та підготовку моряків для роботи на річковому транспорті і розробити систему перепідготовки для моряків із морськими робочими дипломами для перенавчання на річкову спеціалізацію. УДП має флот, що пройшов ремонт та готовий для експлуатації, але який не задіяний, його задіяти через недостачу фахівців, особливо річкових штурманів.

Для збільшення пропускної спроможності на річці державна компанія УДП розробила план запуску руху контейнерів до Верхнього Дунаю. Це буде альтернативою польському кордону і дасть змогу додатково доставляти 6 тис TEU до Констанци і понад 2 тис TEU – до німецького Регенсбурга, що зазначено на рис. 7 [8].



Рис. 7. Нові експортні шляхи [8]

Із метою вдосконалення контейнерних перевезень у найближчій перспективі визначено такі напрями:

1. Використання великотоннажних барж для створення контейнерного сполучення через українські або румунські канали між морським портом Констанца

та дунайськими портами України. Ця ініціатива сприятиме значному збільшенню обсягів експорту та імпорту різних видів вантажів.

2. Відкриття нових логістичних шляхів до країн Європи через Верхній Дунай (Німеччина, Нідерланди та ін.). Це дасть змогу подолати кризу сухопутних коридорів із країнами-сусідами, особливо враховуючи значні затримки на кордоні та великий транзитний час руху.

Окрім цього, необхідно залучення іноземних компаній до перевезень із суднозаходом в українські порти, що сприятиме збільшенню обсягів транспортних операцій, розвитку портової інфраструктури та підвищенню ефективності й конкурентоспроможності Дунайського транспортного коридору.

Але для цього потрібен модернізований флот. Буксири із сучасними двигунами витрачають на 20–25% менше палива, склад екіпажу менший, ризик поломки значно менший. Це суттєве скорочення витрат [9].

Із 2023 р. вперше за тривалий час УДП відновило будівництво несамохідного флоту на базі Кілійського суднобудівельно-судноремонтного заводу. У жовтні 2023 р. на воду спущено першу з таких барж – SLG-023 (табл. 1), які побудовані шляхом конверсії за стикування двох ліхтерів через вставку, що вирізається з третього ліхтера. У планах УДП перетворити протягом двох-трьох років усі ліхтери, які ще перебувають у задовільному технічному стані, на такі баржі.

Таблиця 1

Технічні характеристики баржі SLG-023 [10]

Показник	Значення
Довжина	76,5 м
Осадка	3,1 м
Вантажопідйомність	2200 т

До переваг барж можна віднести:

- на порядок нижчу ціну будівництва порівняно з новим судном;
- більшу вантажопідйомність, що дає можливість перевозити більший обсяг певних категорій вантажів;
- конверсію, що проводиться на власному виробництві.

Узагальнюючи дослідження, можна відзначити, що розвиток річкового транспорту в Україні має значний потенціал для подальшого зростання та вдосконалення у перевезенні різних видів вантажів. Проте слід визнати, що цей сектор стикається зі значними проблемами, які ускладнюють його розвиток та обмежують конкурентоспроможність. Модернізація інфраструктури, створення міжнародних транспортних маршрутів та використання новітніх технологій перевезень виявляються ключовими чинниками у цьому процесі. Залучення подальших інвестицій та спільні зусилля всіх зацікавлених сторін можуть сприяти створенню стабільної та конкурентоспроможної річкової транспортної системи в Україні, що відповідає вимогам сучасного ринку та сприяє економічному розвитку країни.

Отже, пропонуються такі заходи щодо вдосконалення системи доставки вантажів через українські дунайські порти:

1. Залучення державних та приватних інвестицій:
  - у розвиток річкових терміналів (Ізмаїл, Рені, Усть-Дунайськ) для переробки вантажів навалом і в контейнерах;
  - у поповнення флоту баржевими суднами;
  - в українські дунайські судноплавні канали.
2. Залучання іноземного річкового флоту компаній дунайських країн до перевезень із суднозаходом в українські дунайські порти.
3. Підвищення кількості та якості підготовки фахівців з експлуатації річкового флоту.
4. Розроблення механізму щодо надання необхідних державних гарантій чи компенсації страхування від воєнних ризиків контейнерним лініями відносно контейнерного обладнання, яке знаходиться на території України.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Павловська Л.А., Кириллова О.В., Коробкова О.М., Шпак Н.Г. Особливості моделювання інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів у сучасних умовах. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2023. С. 173–174. URL: [https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2023/2\\_2023/part\\_2/29.pdf](https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2023/2_2023/part_2/29.pdf)
2. «Інтерпайп» тестує нові маршрути до ЄС – Олексій Яновський. URL: <https://gmk.center/ua/interview/interpajp-testuie-novi-marshruti-do-ies-oleksij-yanovskij/>
3. В один із портів Великої Одеси зайшов контейнеровоз – уперше з початку повномасштабної війни. URL: <https://dumskaya.net/news/ukrainskiy-morskoj-koridor-pervyy-konteynerovoz-183227/ua/>
4. Портова галузь України 2023: другий рік роботи в умовах війни. URL: [https://cfts.org.ua/infographics/portova\\_galuz\\_ukrani\\_2023\\_drugiy\\_rik\\_roboti\\_v\\_umovakh\\_viyni](https://cfts.org.ua/infographics/portova_galuz_ukrani_2023_drugiy_rik_roboti_v_umovakh_viyni)
5. Cargo transshipment in Ukrainian ports increased by 5% y/y in 2023. URL: <https://gmk.center/en/infographic/sargo-transshipment-in-ukrainian-ports-increased-by-5-y-y-in-2023/>
6. Українське дунайське пароплавство завершило 2023 з рекордним прибутком. URL: <https://mtu.gov.ua/news/35537.html>
7. Гуржій Н.М., Городова А.В., Одинець Т.Є. Річковий транспорт України. *Економіка і суспільство*. 2016. Вип. 3. С. 64–65. URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/3\\_ukr/11.pdf](https://economyandsociety.in.ua/journals/3_ukr/11.pdf)
8. І на річці, і на морі. Україна повертає контейнерні перевезення суднами. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2024/03/14/711166/>
9. «Робимо ставку на збільшення несамохідного флоту» – Дмитро Москаленко. URL: <https://usm.media/intervyyu-z-kerivnikom-udp-dmitrom-moskalenko/>
10. Українське дунайське пароплавство. Розділ «Суднобудування». URL: <https://www.udp.one/>

### REFERENCES

1. Pavlovska L.A., Kyrylova O.V., Korobkova O.M., Shpak N.H. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. Osoblyvosti modeliuвання infrastruktornoho karkasu skhem dostavky vantazhiv u suchasnykh umovakh: 2023 rik, S. 173–174. URL: [https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2023/2\\_2023/part\\_2/29.pdf](https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2023/2_2023/part_2/29.pdf)
2. «Interpajp» testuie novi marshruty do YeS – Oleksii Yanovskyi. URL: <https://gmk.center.ua/interview/interpajp-testuie-novi-marshruti-do-ies-oleksij-yanovskij/>
3. V odyh iz portiv Velykoi Odesy zaishov konteinerovoz — upershe z pochatku povnomasshtabnoi viiny. URL: <https://dumskaya.net/news/ukrainskiy-morskoy-koridor-pervyy-konteynerovoz-183227/ua/>
4. Portova haluz Ukrainy 2023: druhyi rik roboty v umovakh viiny. URL: [https://cfts.org.ua/infographics/portova\\_galuz\\_ukrani\\_2023\\_drugiy\\_rik\\_roboti\\_v\\_umovakh\\_viyni](https://cfts.org.ua/infographics/portova_galuz_ukrani_2023_drugiy_rik_roboti_v_umovakh_viyni)
5. Cargo transshipment in Ukrainian ports increased by 5% y/y in 2023. URL: <https://gmk.center/en/infographic/sargo-transshipment-in-ukrainian-ports-increased-by-5-y-y-in-2023/>
6. Ukrainske Dunaiske paroplavstvo zavershylo 2023 z rekordnym prybutkom. URL: <https://mtu.gov.ua/news/35537.html>
7. Hurzhii N.M., Horodova A.V., Odynets T.Ie. Richkovyi transport Ukrainy // Ekonomika i suspilstvo. Vyp. 3. 2016 S. 64–65. URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/3\\_ukr/11.pdf](https://economyandsociety.in.ua/journals/3_ukr/11.pdf)
8. I na richtsi, i na mori. Ukraina povertaie konteinerni perevezennia sudnamy. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2024/03/14/711166/>
9. «Robymo stavku na zbilshennia nesamokhidnoho flotu». Dmytkro Moskalenko. URL: <https://usm.media/intervyu-z-kerivnikom-udp-dmitrom-moskalenko/>
10. Ukrainske Dunaiske paroplavstvo. Rozdil «Sudnobuduvannia». URL: <https://www.udp.one/>

## SMART PORT: НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ЇХ УПРОВАДЖЕННЯ

О.В. Кириллова<sup>1</sup>, В.Ю. Кириллова<sup>2</sup>, О.Р. Магамадов<sup>3</sup>, В.Л. Ромах<sup>4</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., професор, завідувач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-3414-7364

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-0738-0408

<sup>3</sup>к.т.н., професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,

<sup>4</sup>старший викладач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,  
Одеський національний морський університет Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-3958-0041

### Анотація

**Вступ.** Усупереч широкомасштабній війні в Україні вже сьогодні доцільно говорити про стратегію розвитку національних портів у післявоєнній перспективі та вивчати світовий досвід із цих питань, зокрема пов'язаний із упровадженням та використанням новітніх технологій в управлінській та експлуатаційній діяльності портів. **Мета.** Огляд, аналіз і систематизація існуючих та перспективних у портовому секторі інноваційних технологій, що наближують окремі порти до відповідності статусу «Розумний порт» (Smart Port). **Результати.** У роботі наведено визначення поняття «Розумний порт» (Smart Port); розглянуто сучасні технології, на базі яких розробляються, впроваджуються та ефективно функціонують різні Smart Port-ініціативи у транспортній галузі; розглянуто інноваційні технології, які використовуються у сучасних портах і дають змогу ідентифікувати їх як Розумні (Smart Ports). Серед основних у роботі визначено такі технології, які використовують у своїй діяльності сучасні Розумні порти: технологія Великих даних (Big Data); штучний інтелект (Artificial Intelligence (AI)); Інтернет речей (Internet of Things (IoT)); технологія «Цифровий двійник» (Digital Twin (DT)); блокчейн (Blockchain). Досліджено досвід упровадження новітніх технологій у виробничу діяльність провідних портів світу, які вже сьогодні набули статусу Smart Port, але мають різні стратегії розвитку; актуалізовано питання необхідності та доцільності розроблення Smart Port-стратегії розвитку в цілому портової галузі України та персоналізованих дорожніх карт розвитку кожного українського порту у післявоєнній перспективі. **Висновки.** Сьогодні майбутнє глобального морського бізнесу і транспортної логістики змінюють Розумні порти (Smart Ports) та інноваційні технології, завдяки яким такі порти з'являються та ефективно функціонують. Поняття «Розумний порт» (Smart Port) охоплює багато різних аспектів залежно від того, яку стратегію розвитку вибирають його керівництво та органи влади. Досліджені технології

є ключовими стовпами, на які сьогодні спирається будь-який Smart Port. Ці технології є першочерговими інструментами, на які повинен орієнтуватися порт під час розроблення своєї стратегії розвитку в напрямі автоматизації та цифровізації. У післявоєнній перспективі в рамках концепції загальної транспортної політики України доцільно звернути увагу та спрямувати зусилля на розроблення офіційної Smart Port-стратегії розвитку портової галузі України. Причому така стратегія повинна містити персоналізовані дорожні карти майбутнього розвитку кожного українського порту, орієнтуючись на їх цифровізацію, забезпечення конкурентних переваг, безпеку судноплавства, соціальний та екологічний аспекти функціонування портів.

**Ключові слова:** Smart Port, розумний порт, новітні технології, штучний інтелект, Інтернет речей, цифровий двійник (близнюк), блокчейн, технологія 5G.

### SMART PORT: THE LATEST TECHNOLOGIES AND INTERNATIONAL EXPERIENCE IN THEIR IMPLEMENTATION

O.V. Kyryllova<sup>1</sup>, V.Yu. Kyryllova<sup>2</sup>, O.R. Mahamadov<sup>3</sup>, V.L. Romakh<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head at the Department of Ports Operation and Cargo Handling Technology,  
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID: 0000-0002-3414-7364

<sup>2</sup>Candidate of Engineering Sciences (Ph.D), Associate Professor at the Department of Fleet Operation and Shipping Technology,  
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID: 0000-0003-0738-0408

<sup>3</sup>Candidate of Engineering Sciences, Professor ONMU, Professor at the Department of Ports Operation and Cargo Handling Technology,  
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,

<sup>4</sup>Senior Lecturer at the Department of Ports Operation and Cargo Handling Technology,  
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-3958-0041

#### Summary

**Introduction.** Despite the large-scale war in Ukraine, today it is appropriate to talk about the strategy of the development of national ports in the post-war perspective and to study the world experience on these issues, in particular, related to the introduction and use of the latest technologies in the management and operational activities of ports.

**Purpose.** Review, analysis and systematization of existing and promising innovative technologies in the port sector that bring individual ports closer to compliance with the status of «Smart Port». **Results.** The work provides a definition of the term «Smart Port»; modern technologies on the basis of which various «Smart Port» initiatives in the transport industry are developed, implemented and effectively function are considered; innovative technologies used in modern ports are considered and allow to identify them as Smart Ports. Among the main ones, the work identifies the following technologies that modern Smart Ports use in their activities: Big Data technology; artificial intelligence (Artificial Intelligence (AI)); Internet of Things (IoT); Digital Twin (DT) technology; blockchain (Blockchain). The paper examines the experience of introducing the latest technologies into the production activities of the world's leading ports, which have

already acquired the status of «Smart Port», but have different development strategies; the issue of the necessity and expediency of developing a «Smart Port» Strategy for the development of the port industry of Ukraine as a whole and personalized roadmaps for the development of each Ukrainian port in the post-war perspective is updated. **Conclusions.** Today, the future of global maritime business and transport logistics is being changed by Smart Ports and innovative technologies, thanks to which such ports appear and function effectively. The term «Smart Port» encompasses many different aspects depending on the development strategy chosen by its management and authorities. Researched technologies are the key pillars on which any Smart Port today rests. These technologies are the primary tools that the port should focus on when developing its development strategy in the direction of automation and digitalization. In the post-war perspective, within the framework of the concept of the general transport policy of Ukraine, it is advisable to pay attention and direct efforts to the development of the official «Smart Port» Strategy for the development of the port industry of Ukraine. Moreover, such a «Smart Port» Strategy should contain personalized roadmaps for the future development of each Ukrainian port, focusing on their digitalization, ensuring competitive advantages, shipping safety, social and environmental aspects of port functioning.

**Key words:** Smart Port, smart port, latest technologies, artificial intelligence, Internet of Things, digital double (twin), blockchain, 5G technology.

**Вступ.** Усупереч широкомасштабній війні в Україні вважаємо доцільним уже сьогодні говорити про стратегію розвитку національних портів у післявоєнній перспективі та вивчати світовий досвід із цих питань, зокрема пов'язаний з упровадженням та використанням новітніх технологій в управлінській та експлуатаційній діяльності портів.

**Постановка проблеми.** Сьогодні майбутнє портового та судноплавного секторів світової транспортної системи змінюють Розумні порти (Smart Ports) та інноваційні технології, завдяки яким такі порти з'являються та ефективно функціонують. Проте у сучасних наукових дослідженнях недостатньо уваги приділяється комплексному розгляду та аналізу подібних передових технологій, запровадження яких сприяє набуттю портом статусу «Розумний». Існуючі дослідження даної проблематики у портовій галузі носять фрагментарний характер та обмежуються розглядом окремих технологічних рішень. Повністю відсутня систематизація вже впроваджених та перспективних технологій у частині їх використання в управлінській та експлуатаційній діяльності портів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] проведено аналіз існуючих у світі підходів до періодизації процесів розвитку портів та наведено теоретичні основи просторової та функціональної еволюції портів на базі методів ретроспективного аналізу діючих у міжнародній практиці та систематизованих у роботі теоретичних моделей, кожна з яких на емпіричному рівні може бути вибрана особою, що приймає рішення, як наочний «шаблон» розвитку конкретного порту з урахуванням поточного стану і наявних реалій. Проте матеріали статті [1] обмежено ретроспективним аналізом концептуальних моделей розвитку портів з акцентом на інфраструктурний, вантажознавчий та просторовий аспекти,

без урахування сучасних Smart Port-технологій, дослідження яких виходило за рамки мети та завдань розглянутої роботи.

Роботи [2; 3] присвячено дослідженню проблеми управління функціонуванням і розвитком українських портів. У них: узагальнено та систематизовано наявні у світі концептуальні моделі управління портами; встановлено, що у світовій практиці використовують чотири основні концептуальні моделі управління портами, які називають «класичними» або «типовими»: модель «Сервісний порт» (Service port); модель «Порт-інструмент» (Tool port); модель «Порт-лендлорд» (Landlord port); модель «Приватний порт» (Privat port); висвітлено та проаналізовано особливості типових концептуальних моделей управління портами під час побудови, втілення та реалізації відповідних класичних систем управління об'єктами портової інфраструктури; окреслено основні риси концептуальних моделей класичних систем управління портами залежно від форм власності активів; визначено характерні риси «гібридних» моделей управління портами; встановлено особливості системи управління українськими портами і те, що ця система сьогодні не вкладається в жодну з чотирьох розглянутих у статті концептуальних моделей; оглянуто рекомендації Світового банку, які у своєму звіті, присвяченому аналізу користування портовими територіями в Україні, закликають розглянути можливість поступового наближення до моделі управління «Порт-Лендлорд»; поряд із тим наведено застереження Світового банку з приводу того, що запровадження в Україні системи управління портами за моделлю «Порт-Лендлорд» не повинно порушувати права вже наявних інвесторів щодо відносин власності на земельні ділянки у портах; сформульовано причини, чому неможливий перехід української портової галузі на систему управління за «чистою» моделлю «Порт-Лендлорд» у традиційному розумінні її змісту; зазначено, що під час опрацювання сценаріїв майбутнього розвитку портів важливо обґрунтовано підходити до визначення співвідношення державних і приватних інтересів у портовому бізнес-середовищі, встановлюючи, насамперед, де проходить межа між державним і приватним секторами. Проте, незважаючи на фундаментальність проведених досліджень, роботи [2; 3] також не містять інформацію про використання сучасних Smart Port-технологій у системах управління функціонуванням і розвитком портів.

У роботі [4] досліджено питання діджиталізації на морському транспорті; наведено приклади використання певних цифрових технологій у морському секторі, які сприяють забезпеченню екологічності, безпеки і сталого функціонування портів, судноплавних підприємств та інших суб'єктів ринку транспортних послуг; зроблено огляд ініціативи Міжнародної морської організації (International Maritime Organization, IMO) щодо електронної навігації та цифрової звітності суден; наведено результати співпраці датського конгломерату Maersk та американської корпорації IBM щодо впровадження технології блокчейн у морський сектор; розглянуто факти та конкретні приклади успішної експлуатації повністю автоматизованих контейнерних терміналів, наприклад APM Terminals Maasvlakte II (порт Роттердам), Qingdao New Qianwan Container Terminal (порт Циндао). Проте, незважаючи на ретельне дослідження, усі розглянуті в роботі [4] питання носять фрагментарний характер, але у цілому представляють інтерес у контексті системного підходу до розгляду сучасних Smart Port-технологій.

У роботі [5] розглянуто передові робототехнічні технології, які вже сьогодні вживаються для ефективного та безпечного вирішення багатьох важливих завдань у різних сферах експлуатації флоту та портів як у морі, так і на березі. Упровадження робототехнічних технологій у різних сферах морегосподарської діяльності сприяє ефективному управлінню часом, збільшенню продуктивності, забезпеченню безпеки судноплавства, охорони людського життя та зовнішнього середовища. У дослідженні висвітлено не лише переваги роботизації у морській галузі, а й її недоліки, які переважно охоплюють соціальний аспект і полягають у її впливі на можливості працевлаштування в галузі. Проте в роботі зроблено застереження про те, що хоча роботи можуть виконувати різні функції та допомагати у виконанні багатьох важливих операцій, вони не здатні повністю замінити людину, а також ті знання, уміння, навички та, безумовно, досвід, які різні фахівці, зокрема моряки, приносять із собою у морську галузь. У практичній діяльності необхідно дотримуватися розумного балансу між роботизацією та зусиллями персоналу, що є ключем до підвищення якості та безпеки роботи у різних сферах морського виробництва на благо всієї галузі.

У статті [6] досліджено питання щодо основних технологічних трендів у сфері транспортно-експедиторської діяльності, без стабільної та якісної реалізації якої неможливе ефективне функціонування портових систем. Сьогодні провідні компанії – лідери транспортної галузі все більш використовують новітні технології у частині інформаційного забезпечення систем доставки вантажів та ланцюгів постачань. Зазначено, що світова індустрія вантажних перевезень сьогодні у цілому перебуває у процесі поступового переходу від аналогового до цифрового управління. При цьому подальший розвиток транспортної галузі шляхом диджиталізації виявляється дієвим інструментом підвищення ефективності виробничої діяльності транспортних підприємств. Розглянуто основні технології, які вже використовують у своїй діяльності провідні транспортно-експедиторські компанії світу. Виявлено, що існування технології Supply Chain Center (SCV) та її використання неможливі без прогресу у сфері розвитку та впровадження інших технологій інформаційного забезпечення транспортних процесів і систем, таких як хмарні системи (Cloud-based systems) та пристрої на базі Інтернету речей (IoT), що з'єднують усі боки ланцюга постачання.

Усі питання, які розглядаються у вищенаведених роботах [1–6], є актуальними та своєчасними. Новітні технології, які досліджуються у цих роботах, мають оглядовий характер і стосуються різних сфер транспортного бізнесу, які пов'язані з функціонуванням портових систем. Тому в цілому результати наведених досліджень представляють інтерес у контексті системного підходу до розгляду сучасних Smart Port-технологій.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є огляд, аналіз і систематизація існуючих та перспективних у портовому секторі інноваційних технологій, що наближують окремі порти до відповідності статусу «Розумний Порт» (Smart Port). Для досягнення мети в дослідженні поставлено і вирішено такі завдання:

- наведено визначення поняття «Розумний порт» (Smart Port);
- розглянуто сучасні технології, на базі яких розробляються, впроваджуються та ефективно функціонують різні Smart Port-ініціативи у транспортній галузі;

– проаналізовано досвід портів, які відомі у світі своїми унікальними Smart Port-рішеннями в управлінській та експлуатаційній діяльності, але мають різні стратегії розвитку;

– актуалізовано питання необхідності та доцільності розроблення Smart Port-стратегії розвитку в цілому портової галузі України та персоналізованих дорожніх карт розвитку кожного українського порту, орієнтуючись на їхню цифровізацію, забезпечення конкурентних переваг, безпеку судноплавства, соціальний та екологічний аспекти функціонування портів у післявоєнній перспективі.

**Основний матеріал дослідження.** У загальному сенсі «Розумний порт» (Smart Port) – це сучасний і технологічно передовий порт, який використовує новітні технології, водночас більше дбаючи про безпеку судноплавства, екологію навколишнього середовища і морського простору. Розумні порти є цифровими, автоматизованими, екологічно чистими, більш пов'язаними з інфраструктурою та мережами суміжних видів транспорту, промисловим середовищем і ресурсами, тобто зі своїми хінтерлендом (hinterland) та форлендом (foreland) [1–3]. Розумні порти охоплюють: технологію великих даних (Big Data); штучний інтелект (Artificial Intelligence (AI)); Інтернет речей (Internet of Things (IoT)); технологію «Цифровий двійник (близнюк)» (Digital Twin (DT)); технологію блокчейн (Blockchain) і технологію 5G.

Системи Великих даних (Big Data) базуються на відповідній технології Big Data, яка кардинально змінює індустрію судноплавства та портового виробництва. Ця технологія дає змогу компаніям використовувати величезні обсяги інформації з нетрадиційних джерел у вигляді оперативних та чутливих до часу вхідних даних. Їх раціональне використання сприятиме розвитку технологій прогнозування та систем очікуваного часу прибуття суден та інших засобів суміжних видів транспорту (Predictive technology and estimated time of arrival (ETA) systems) [7]. Наприклад, тепер до суден прикріплюють датчики, які передають інформацію у режимі реального часу. Системи Великих даних використовують цю інформацію для відстеження суден і вантажів, включаючи тексти, аудіо, відео в реальному часі. Точні вхідні дані забезпечують максимальну ефективність та продуктивність реалізації виробничої діяльності сучасних портів.

Штучний інтелект (ШІ) (Artificial Intelligence (AI)) належить до комп'ютерних систем, які імітують процеси людського інтелекту за допомогою різних методів, включаючи машинне навчання, обробку природної мови, робототехніку тощо. Проте «двигуном» ШІ вважається саме машинне навчання (ML). ШІ, по суті, спрямований на створення систем, які можуть виконувати завдання та розв'язувати проблеми, які зазвичай потребують людського інтелекту. ШІ має здатність автоматизувати завдання, які повторюються, що підвищує загальну ефективність того, для чого він використовується. Так, ШІ у портовій галузі покращує бізнес-операції та підвищує ефективність їх реалізації. ШІ застосовується як система прийняття рішень для точного прогнозування роботи порту, а також надання управлінському персоналу порту інформації та рекомендацій. ШІ використовує Великі дані (Big Data), щоб передбачити, що станеться в майбутній глобальній системі поставок. ШІ створює більш безпечне робоче середовище в порту, зокрема попереджає аварії та зменшує кількість помилок працівників порту. Методи ШІ реалізуються

в морському бізнесі кількома основними способами. По-перше, ІІІ використовується для оптимізації роботи флоту та управління ним, забезпечуючи ефективні маршрути доставки вантажів. Це робиться за результатами аналізу даних GPS, погоди та руху суден. По-друге, за допомогою ІІІ порти оптимізують увесь процес доставки вантажу у порт відправлення, завантаження вантажу на судно, перехід судна, вивантаження вантажу в порту призначення, подальшу доставку вантажу суміжним видом транспорту до місця призначення тощо. Портова екосистема з підтримкою ІІІ на базі Port Community Systems забезпечує поліпшення співпраці між різними учасниками транспортного процесу, такими як адміністрація порту, вантажовласники, сервісні підприємства та постачальники додаткових транспортних послуг. Таким чином, Port Community Systems дають змогу ефективно узгоджувати індивідуальні цифрові дорожні карти всіх суб'єктів ринку портових послуг. Це, своєю чергою, створює взаємовигідні можливості для підвищення ефективності та скорочення відходів, оскільки Port Community Systems дають змогу сторонам обмінюватися даними та надають стандартний інтерфейс для аналізу, прогнозів і обмежень на основі штучного інтелекту. Таким чином, сфера використання ІІІ у морському бізнесі дуже широка, але немає однозначного та уніфікованого підходу, який би відповідав потребам кожного порту. Для вдосконалення управлінської та/або експлуатаційної діяльності із застосуванням інструментів ІІІ порти та термінали повинні чітко усвідомлювати, що саме їм потрібно та де найкраще можна використати цю технологію. Відомо, що деякі з найбільших портів світу, зокрема Сінгапур, Роттердам і Гамбург, орієнтовані на покращення своїх бізнес-операцій шляхом використання саме інструментів ІІІ для створення систем підтримки прийняття рішень на основі прогнозованої моделі поведінки.

Інтернет речей (Internet of Things (IoT)) – це система, у яку вбудовано різні типи технологій, наприклад датчики. Так, датчики IoT, які встановлені на судах, забезпечують моніторинг їхнього руху та управління ризиками. Вони здатні контролювати одночасно декілька робочих аспектів, включаючи продуктивність двигуна, споживання палива, температуру та цілісність корпусу. Отримані дані передаються на берег, даючи змогу судноплавним компаніям відстежувати стан флоту та віддалено виконувати прогнозне технічне обслуговування транспортних засобів. Це сприяє скороченню фінансових витрат і періодів простою суден. Також система IoT здатна детально визначати, що перевозить кожне судно. IoT дає змогу портовим адміністраціям у режимі реального часу відстежувати вантажі та судна, що прибувають до порту. IoT також полегшує реалізацію всіх процесів управління роботою порту для підвищення його ефективності та обмеження затримок і часу обробки суден. Це досягається шляхом відстеження руху суден, контейнерів, а також інших активів навколо території порту через систему IoT. Окрім того, це підвищує безпеку порту та знижує ризик крадіжок вантажів.

Технологія «Цифровий двійник (близнюк)» (Digital Twin (DT)) – це технологія віртуального представлення об'єкта, системи або процесу, яка використовує дані та розширену аналітику про них у реальному часі для імітації їхніх характеристик та поведінки. Це віртуальне наближення до реального об'єкта дає змогу операторам відстежувати, тестувати та аналізувати вихідну фізичну сутність, щоб потім

оптимізувати її продуктивність. Ця технологія вже надає великі переваги судноплавній галузі. Наприклад, підбір DT судна або суднового обладнання дає змогу судноплавним компаніям збирати дані про різні показники ефективності, такі як продуктивність двигуна, витрати палива, стан обладнання тощо. Таким чином, транспортні компанії можуть аналізувати ці дані, щоб прогнозувати, наприклад, потреби в технічному обслуговуванні та ремонті, що призводить до більш ефективного планування операцій. Окрім того, дані, що стосуються моделей споживання палива, допомагають підвищити паливну ефективність, що сприяє зниженню викидів та економії коштів. DT також застосовується до різних елементів ланцюга постачання, включаючи порти, склади тощо, для моделювання різних сценаріїв їх взаємодії, що забезпечує оптимізацію операцій у загальному ланцюзі постачання. Наприклад, на початку 2023 р. компанії Huawei та Tianjin Port Group оголосили про план співпраці щодо створення цифрового двійника порту Тяньцзінь у Китаї. Ця співпраця базується на існуючому партнерстві двох компаній для розроблення цифрових і автоматизованих процесів у порту для підвищення його стійкого функціонування. План, який складається з трьох частин, передбачає будівництво нових автоматизованих терміналів, модернізацію традиційних терміналів і комплексну цифрову трансформацію. Термінал Секції С порту Тяньцзінь був визначений оператором як «розумний портовий термінал із нульовим викидом вуглецю». Термінал використовує передові технології автономного водіння 5G і L4 для поліпшення своєї роботи. На терміналі контейнерні крани працюють автоматично, а для горизонтального транспортування використовуються розумні роботи, керовані навігаційною супутниковою системою BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System). За даними порту, це рішення забезпечує нову модель для модернізації та трансформації існуючих традиційних контейнерних терміналів у всьому світі [8]. Керівництво порту відзначає, що інновації, які вже використовуються, сприяють розумному розвитку глобальної портової галузі та мають величезний вплив на всю світову портову інфраструктуру.

Технологія блокчейн (Blockchain Technology) забезпечує прозору наочність руху товарів уздовж ланцюга постачання, забезпечуючи відстеження відправлень у реальному часі. Завдяки технології блокчейн торгіві й транспортні компанії можуть стежити за кожною подією, що відбувається у глобальній системі доставки вантажів. Ці дані зберігаються назавжди та не можуть бути видалені. Технологія блокчейн дає змогу зберігати всі дані, що кардинально змінює процеси прийняття рішень у секторі судноплавства та надає йому певні переваги, бо всі учасники транспортного процесу матимуть доступ до незмінних даних у реальному часі. Таким чином, виробники, постачальники, вантажовідправники, клієнти та всі, хто зацікавлений у вантажоперевезеннях, можуть отримати доступ і перевірити дані, обмежуючи випадки затримок та суперечок, мінімізуючи при цьому можливість шахрайства. Ця безпека додатково посилюється децентралізованою природою блокчейну та криптографічними алгоритмами, які забезпечують захист даних від фальсифікації та несанкціонованого доступу, тим самим зберігаючи цілісність процесу доставки. Блокчейн також може надавати смарт-контракти (Smart Contracts), тобто угоди, що виконуються самостійно, із заздалегідь установленими умовами, мінімізуючи паперову роботу та людські ресурси. Пропонуючи

такий прозорий огляд ланцюга постачання, портові оператори можуть виявляти різні «вузькі місця» та обмежувальні чинники у реалізації технологічних процесів на шляху доставки вантажів для подальшого виправлення ситуації, поліпшення продуктивності та підвищення ефективності роботи. Однак варто зазначити, що ступінь переваг, які можна отримати від упровадження блокчейну, значною мірою залежить від співпраці та стандартизації між різними зацікавленими сторонами. Визнаною організацією, яка сьогодні займає передові позиції у впровадженні технології блокчейн у судноплаванні, є Global Shipping Business Network (GSBN). У березні 2023 р. GSBN повідомила про співпрацю у використанні технології блокчейн із судноплавними компаніями COSCO Shipping Lines (COSCO) і Orient Overseas Container Line (OOCL), а також із Шанхайським дослідницьким інститутом хімічної промисловості (Shanghai Research Institute of Chemical Industry Testing Co., Ltd (SICIT)). Таке співробітництво дало змогу отримати перший у галузі доказ ефективного використання технології блокчейн для підвищення безпеки транспортування вантажів у судноплавній галузі [9].

Технологія 5G – це п'яте покоління технології бездротового зв'язку. 5G є новітньою та найдосконалішою мережевою інфраструктурою, яка забезпечує підвищену швидкість передачі даних завдяки роботі на високочастотних радіохвилях. 5G має вирішальне значення для розвитку Smart Ports у їх переході до інтелектуальних систем управління. 5G дає змогу портам використовувати більше даних із меншим енергоспоживанням, передавати дані в режимі реального часу та швидко й ефективно використовувати інформацію, яку вони отримують від систем IoT. Окрім того, до появи 5G різні сигнали в порту часто втрачалися через поширену кількість металевих поверхонь. Однак у 5G існує технологія формування променя, яка дає змогу безперервно надсилати бездротові сигнали в певному напрямку. Наприклад, оператори терміналів Santos Port і Brasil Terminal Portuário (BTP) приділяють велику увагу технології 5G. Наприкінці 2022 р. ці портові оператори почали співпрацювати з телекомунікаційними провайдерами TIM і Nokia для впровадження приватної мережі 5G у порту. Таке партнерство забезпечило створення першої у портовому секторі приватної мережі 5G на латиноамериканському континенті. У 2023 р. глобальний портовий оператор Hutchison Port Holdings Trust (HPH Trust) також оголосив про впровадження технології 5G на своїх контейнерних терміналах у Гонконзі. Порт Гамбург також тестує технологію 5G, готуючись до того, щоб стати центром передового промислового мобільного зв'язку. У порту вже пройшли випробування 5G як засобу підтримки роботи інженерів на місцях, а також для моніторингу та оптимізації планування розвитку та будівництва портової інфраструктури.

Найбільш наочними прикладами портів, які застосовують технології та системи Smart Port, є такі:

Порт Роттердам (Port of Rotterdam) – найбільший порт Європи. У порту створено Цифровий близнюк (Digital Twin (DT)), який імітує порт у цифровому вигляді, тобто є його цифровою копією (моделлю). Таким чином, управлінський персонал порту може завчасно побачити, як їхні рішення та дії вплинуть на порт, навколишню екосистему та судноплавну галузь. Наявні бази даних і системи їх обробки дають змогу керівництву порту робити точні прогнози, щоб залишатися

конкурентоспроможними та ефективними в морській галузі, яка швидкими темпами рухається до повної цифровізації. DT порту дає змогу керівництву зрозуміти, як обладнання в порту працює одне з одним. Це також допомагає здійснювати моніторинг усіх операцій у реальному часі. Установлені датчики IoT вимірюють рух води, каламутність і тиск, щоб переконатися, що діяльність порту не погіршує екологічний стандарт води. Порт активно працює над переходом на зелені та відновлювані джерела енергії.

Порт Гамбург (Port of Hamburg) – найбільший німецький порт, другий за величиною порт Європи. Порт активно втілює ініціативи, спрямовані на підтримання статусу «Розумний порт». У порту реалізується авторитетний проєкт IoT для відстеження різних видів забруднення. Навколо порту встановлені метеодатчики. Порт має IT-системи для всього технічного обслуговування транспортних засобів у порту та загальний монітор порту, щоб зацікавлені сторони завжди могли бачити всі технологічні операції, які здійснюються на території порту з вантажами, транспортними засобами, а також засобами портового перевантажувального обкладання.

Порт Антверпен (Port of Antwerp) – найбільший порт Північної Європи за обсягом вантажів, найбільший економічний «двигун» Бельгії. Стратегія розвитку порту враховує не лише стале майбутнє для самого порту, а й те, як його діяльність вплине на прилеглі території. Таким чином, порт росте і розвивається «у гармонії із суспільством і навколишнім середовищем». Розширення порту та будівництво його інфраструктури виконуються одночасно з підвищенням безпеки та охорони порту. У порту будується інтегрована мережа цифрових портових систем.

Порт Сінгапур (Port of Singapore) – найбільший державний порт у світі, відомий як головна морська столиця. Порт реалізує проєкт, який спрямований на стратегію Smart Port. Цей проєкт – мегапорт Туас, будівництво якого планується завершити у 2040 р. Мегапорт Туас стане найбільшим у світі повністю автоматизованим портом. У порту передбачається створення інтелектуальних систем управління та використання стійких технологій; безпілотні транспортні засоби та автоматизовані крани сприятимуть безпеці та ефективності порту. Води порту також будуть управлятися за допомогою цифрових систем.

Порт Шанхай (Port of Shanghai) – найбільший у світі автоматизований контейнерний порт, віднесений до категорії великого портового мегаполіса через його інтенсивний рух і щільне населення. Порт вважається одним із найбільш технологічно передових; характеризується повною автоматизацією кранів, вантажівок і транспортних засобів; прагне створити зелені та високотехнологічні термінали; використовує мережу 5G, яка вважається ключовою технологією Smart Port.

Гаврський порт Нагора (Port Le Havre Normandy) – один із найбільших портів Північної Європи, найбільший портовий комплекс Франції, перший контейнерний порт у Франції, об'єкт всесвітньої спадщини ЮНЕСКО. Порт називають «інтелектуальним, високопродуктивним, стійким, спільним та інноваційним «Розумним портом». Порт базується на інформаційних і цифрових технологіях; має на меті зменшити трафік, щоб бути менш завантаженим портом; працює над своїм перетворенням на «місто – Розумний порт», тобто прагне розробити нову модель міської та промислової портової території, яка інтегрована за допомогою інноваційних рішень.

**Висновки.** На підставі викладеного вище можна зробити такі висновки [10]:

1. Сьогодні майбутнє глобального морського бізнесу і транспортної логістики змінюють Розумні порти (Smart Ports) та інноваційні технології, завдяки яким такі порти з'являються та ефективно функціонують.

2. Поняття «Розумний порт» (Smart Port) охоплює багато різних аспектів залежно від того, яку стратегію розвитку вибирають його керівництво та органи влади.

3. Досліджені технології є ключовими стовпами, на які сьогодні спирається будь-який Smart Port. Ці технології є першочерговими інструментами, на які повинен орієнтуватися порт під час розроблення своєї стратегії розвитку у напрямі автоматизації та цифровізації.

4. У післявоєнній перспективі в рамках концепції загальної транспортної політики України доцільно звернути увагу та спрямувати зусилля на розроблення офіційної Smart Port-стратегії розвитку портової галузі України.

5. Smart Port-стратегія розвитку національної портової системи України повинна містити персоналізовані дорожні карти майбутнього розвитку кожного українського порту, орієнтуючись на їх цифровізацію, забезпечення конкурентних переваг, безпеку судноплавства, соціальний та екологічний аспекти функціонування портів.

6. Персоналізовані (локальні) Smart Port-стратегії кожного українського порту залежно від певних умов та специфіки його функціонування можуть бути спрямовані на: автоматизацію та впровадження розглянутих вище технологій; створення цифрових близнюків та/або відновлюваних джерел енергії; підвищення привабливості території порту та відповідного міста для його жителів і туристів.

7. Досліджений у роботі світовий досвід використання новітніх технологій у виробничій діяльності портів охоплює унікальні Smart Port-рішення. Усі вони є доречними прикладами різних типів інноваційних стратегій розвитку Розумних портів, які сьогодні вже реалізуються у різних портах світу. У майбутньому всі розглянуті технології та відповідні стратегії можуть стати орієнтиром для розроблення Smart Port-стратегії розвитку національної портової системи України та персоналізованих Smart Port-стратегій кожного українського порту.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кириллова О.В., Кириллов В.Ю. Теоретичні основи просторової та функціональної еволюції портів. *Транспортні системи і технології*. 2022. № 40. С. 170–189. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15>.
2. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Класичні системи управління портами та їх концептуальні моделі. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2023. № 24. doi: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2023-24>.
3. Проблеми функціонування та розвитку портів : монографія / О.В. Кириллова та ін. ; за ред. О.В. Кириллової, І.М. Іванової. Львів ; Торунь : Liha-Pres, 2022. Т. 7. 438 с. ISBN 978-966-397-289-3. ISSN 2663-9858. doi: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-289-3>.
4. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Діджиталізація як шлях до забезпечення екологічності, безпеки і сталого функціонування

- морської галузі. *Інтелектуальні транспортні технології* : праці II міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 27–29 квітня 2021 р. Харків : УкрДУЗТ, 2021. С. 21–23. URL: <http://itt.kart.edu.ua/images/Tezu2021/TezuITT2021.pdf>
5. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Інноваційні робототехнічні технології для морської індустрії. *Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт* : праці Міжнародної конференції, м. Київ, 29–30 листопада 2022 р. Київ : НТУ, 2022. С. 72–76. URL: [https://drive.google.com/file/d/1n5wjn\\_M0O7g8Cvk-CQwvqmjvHVDFs6Gtk/view](https://drive.google.com/file/d/1n5wjn_M0O7g8Cvk-CQwvqmjvHVDFs6Gtk/view)
  6. Кириллова В.Ю., Кириллова О.В. Основні технологічні тренди у сфері інформаційного забезпечення систем доставки вантажів у діяльності транспортно-експедиторських компаній. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2023. Т. 34(73). № 6. С. 244–250. doi: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/36>.
  7. Estimated Time of Arrival Calculator for Ships. URL: <https://sinay.ai/en/sinay-hub/eta-module/>
  8. Tianjin Port, Huawei advance cutting-edge digital twin plans. URL: <https://www.porttechnology.org/news/tianjin-port-huawei-advance-cutting-edge-digital-twin-plans/>
  9. GSBN, COSCO, OOCL, SICIT collaborate on blockchain technology for cargo transportation. URL: <https://www.porttechnology.org/news/gsbn-cosco-oocl-sicit-collaborate-on-blockchain-technology-for-cargo-transportation/>
  10. Smart Port: новітні технології і міжнародний досвід їх упровадження / О.В. Кириллова та ін. *Marine Power Plants & Operation, MPP&O-2024* : матеріали V Міжнародної морської науково-практичної конференції кафедри СЕУ і ТЕ, м. Одеса, 5 березня 2024 р. Одеса : ОНМУ, 2024. URL: [https://2024.depas.od.ua/?fbclid=IwAR1jIPqMX0w2WEpzk1Hwy\\_4jE7RmQ-QOTZB8dzN05WVSdKayw78-eTsI0zQ](https://2024.depas.od.ua/?fbclid=IwAR1jIPqMX0w2WEpzk1Hwy_4jE7RmQ-QOTZB8dzN05WVSdKayw78-eTsI0zQ)

## REFERENCES

1. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2022) The oretical foundations of spatial and functional evolution of ports [Teoretychni osnovy prostorovoi ta funktsionalnoi evoliutsii portiv]. *Transport systems and technologies*, (40), 170–189. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15> [in Ukrainian].
2. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2023). Classical port management systems and their conceptual models [Klasychni systemy upravlinnia portamy ta yikh kontseptualni modeli]. *Scientific news of Daliv University*, 24. doi: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2023-24> [in Ukrainian].
3. Problems of functioning and development of ports [Problemy funktsionuvannia ta rozvytku portiv]. Volume 7. Monograph. O.V. Kyryllova, V.M. Pitera, O.R. Mahamadov, D.M. Reshetkov, T.Ie. Korniiets and other; edited by O.V. Kyryllova, I.M. Ivanova. Lviv-Torun:

- Liha-Pres, 2022. 438 p. doi: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-289-3> [in Ukrainian].
4. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2021). Digitalization as a way to ensure environmental protection, safety and sustainable functioning of the maritime industry [Didzhitalizatsiia yak shliakh do zabezpechennia ekolohichnosti, bezpeky i staloho funktsionuvannia morskoi haluzi]. Intelligent transport technologies. 2nd international scientific and technical conference. Kharkiv, 21–23. URL: <http://itt.kart.edu.ua/images/Tezu2021/TezuITT2021.pdf> [in Ukrainian].
  5. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2022). Innovative robotic technologies for the marine industry [Innovatsiini robototekhnichni tekhnolohii dlia morskoi industrii]. Intelligent transport systems: ecology, safety, quality, comfort: proceedings of the international conference. Kyiv, 72–76. URL: [https://drive.google.com/file/d/1n5wjn\\_M0O7g8Cvk-CQwvqmjvHVDFs6Gtk/view](https://drive.google.com/file/d/1n5wjn_M0O7g8Cvk-CQwvqmjvHVDFs6Gtk/view) [in Ukrainian].
  6. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2023). Main technological trends in the sphere of information secure delivery systems in the activity of transport and forwarding companies [Osnovni tekhnolohichni trendy u sferi informatsiinoho zabezpechennia system dostavky vantazhiv u diialnosti transportno-ekspedytorskykh kompanii]. Scientific journal «Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: «Technical Sciences», 34(73), № 6, 244–250. doi: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/36> [in Ukrainian].
  7. Estimated Time of Arrival Calculator for Ships. URL: <https://sinay.ai/en/sinay-hub/eta-module/>
  8. Tianjin Port, Huawei advance cutting-edge digital twin plans. URL: <https://www.porttechnology.org/news/tianjin-port-huawei-advance-cutting-edge-digital-twin-plans/>
  9. GSBN, COSCO, OOCL, SICIT collaborate on blockchain technology for cargo transportation. URL: <https://www.porttechnology.org/news/gsbn-cosco-oocl-sicit-collaborate-on-blockchain-technology-for-cargo-transportation/>
  10. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y., Mahamadov O.R., Pitera V.M., Romakh V.L., Tykhonin V.I., Tykhonina I.I. (2024). Smart port: the latest technologies and international experience in their implementation [Smart Port: novitni tekhnolohii i mizhnarodnyi dosvid yikh vprovadzhennia]. Marine Power Plants & Operation, MPP&O-2024. V International Maritime Scientific Conference of the Ship Power Plants and Technical Operation Department of the Educational and Scientific Merchant Marine Institute of Odesa National Maritime University. Odesa, ONMU, 2024. URL: [https://2024.depas.od.ua/?fbclid=IwAR1jIPqMX0w2WEpzk1Hwy\\_4jE7RmQ-QOTZB8dzN05WVSdKayw78-eTsI0zQ](https://2024.depas.od.ua/?fbclid=IwAR1jIPqMX0w2WEpzk1Hwy_4jE7RmQ-QOTZB8dzN05WVSdKayw78-eTsI0zQ) [in Ukrainian]

## РЕАЛІЗАЦІЯ НЕЙРО-НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

**Н.Л. Костьян**

к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та технології їх експлуатації,  
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-1599-4007

### *Анотація*

**Вступ.** Надійні та ефективні транспортні системи забезпечують цільовий рівень якості життя. Критеріями оптимізації транспортної системи виступають індикатори роботи її елементів. Під час проектування модулів інтелектуальних транспортних систем доцільно закласти математичні моделі, які можна адаптувати під мінливі умови функціонування зазначених систем. Аналіз останніх досліджень показав, що для оцінювання ефективності роботи транспортної системи доцільно застосовувати нейронні технології та системи нечіткого виведення. **Мета.** Дана стаття уточнює розроблені за результатами попередніх досліджень математичні моделі для оцінювання енергоефективності заданих конфігурацій транспортної системи шляхом застосування нейро-нечітких технологій. **Результати.** За результатами спостереження за рухом транспорту в заданих умовах сформовано три масиви статистичних даних: навчальна, тестова та контрольна вибірки для введення в систему ANFIS середовища Matlab. Ураховуючи кількість вхідних параметрів, генерування нейронної мережі виконано за методом субтрактивної кластеризації у *neuroFuzzyDesigner* GUI. Навчання мережі проведено за двома методами: методом зворотного поширення помилки та гібридним методом. Гібридний метод виявився більш продуктивним. Середньоквадратична помилка RMSE на навчальній вибірці становить  $2,1153 \times 10^{-8}$ . Розроблена нейронна мережа дала змогу дослідити сумарний вплив параметрів ТС на енергоефективність ТС досліджуваних категорій та транспортних технологій. За результатами дослідження можна стверджувати, що параметри ТС більшою мірою чутливі до зміни своїх значень для пасажирського транспорту, ніж для вантажного. **Висновки.** Було досягнуто більш високої точності нелінійної моделі для оцінювання енергоефективності ТС порівняно з попередніми дослідженнями. Точність моделі суттєво зросла за рахунок поєднання систем нечіткого виведення з нейромережевими технологіями. Дану модель доцільно використовувати в підсистемі оцінювання ефективності роботи функціональних елементів локальних ТС у складі ІТС на регіональному та державному рівнях.

**Ключові слова:** індикатори ефективності, транспортна система, модель, нечітка нейронна мережа, ANFIS.

IMPLEMENTATION OF A NEURO-FUZZY MODEL FOR EVALUATING  
THE EFFICIENCY OF THE TRANSPORT SYSTEM

N.L. Kostian

Ph.D in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department  
of Automobiles and Technologies of their Operating,  
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-1599-4007

**Summary**

**Introduction.** Reliable and efficient transport systems provide a target level of quality of life. The indicators of the operation of its elements are the criteria for the optimization of the transport system. When designing modules of intelligent transport systems, it is advisable to lay down mathematical models that can be adapted to the changing operating conditions of the specified systems. The analysis of recent studies has shown that it is appropriate to use neural technologies and fuzzy inference systems to evaluate the efficiency of the transport system. **Purpose.** This article clarifies the mathematical models developed based on the results of previous studies for evaluating the energy efficiency of given configurations of the transport system by applying neuro-fuzzy technologies. **Results.** Based on the results of traffic monitoring under the specified conditions, 3 arrays of statistical data were formed: training, test, and control samples for input into the ANFIS system of the Matlab environment. Taking into account the number of input parameters, the generation of a neural network is performed using the method of subtractive clustering in the neuroFuzzyDesigner GUI. The network was trained using two methods: the error backpropagation method and the hybrid method. The hybrid method turned out to be more productive. The RMSE root mean square error on the training sample is  $2.1153 \times 10^{-8}$ . The developed neural network made it possible to investigate the total influence of vehicle parameters on the energy efficiency of vehicles of the studied categories and transport technologies. According to the research results, it can be stated that the parameters of the vehicle are more sensitive to changes in their values for passenger transport than for cargo. **Conclusions.** A higher accuracy of the nonlinear model for evaluating the energy efficiency of vehicles was achieved compared to previous studies. The accuracy of the model has significantly increased due to the combination of fuzzy inference systems with neural network technologies. It is advisable to use this model in the subsystem for evaluating the performance of the functional elements of local transport systems as part of the ITS at the regional and state levels.

**Key words:** efficiency indicators, transport system, model, fuzzy neural network, ANFIS.

**Вступ.** Удосконалення транспортних систем (ТС) сприяє економічному розвитку окремих міст та регіонів, підвищуючи продуктивність транспорту та пом'якшуючи його вплив на навколишнє середовище. Надійні та ефективні транспортні системи забезпечують цільовий рівень якості життя, скорочуючи час у дорозі, мінімізуючи стрес, пов'язаний із заторами, і покращуючи загальну мобільність населення та доступність основних центрів тяжіння. Критеріями оптимізації транспортної системи виступають індикатори роботи її елементів [1].

Проте покращення одного цільового показника (індикатора) може зменшити рівень інших. Так, міська інтелектуальна транспортна система (ІТС) може, з одного боку, сприяти поліпшенню руху транспортного потоку та індикаторів його ефективності, а з іншого – існує ризик індукованого попиту, коли збільшення пропускної спроможності та зручності транспортної мережі призводить до збільшення сумарної відстані, що проходять транспортні засоби, і, зрештою, до збільшення загального обсягу викидів, якщо не запроваджувати політику, спрямовану на заохочення екологічних видів транспорту. Таким чином, прийняття рішень щодо налаштування параметрів функціональних елементів системи призводить до протиріччя між частковими цілями її оптимізації. Для усунення даного протиріччя під час проектування модулів ІТС доцільно закладати математичні моделі транспортної системи, які б забезпечували одночасне досягнення визначених цілей. Налаштування параметрів ТС на раціональні режими роботи відбувається в інформаційному середовищі з використанням інтелектуальних технологій.

**Постановка проблеми.** Дана робота є продовженням досліджень, які описано в [1; 2]. У зазначених роботах доведено ефективність використання класичних нейронних мереж [1] та апарату нечіткого виведення [2] в модулях ІТС. Проте в процесі моделювання нечітких систем ідентифікація параметрів функцій належності на основі статистичних даних може бути ускладненою або неможливою. У цьому разі замість довільного вибору параметрів, пов'язаних із вибраним типом функцій належності, на основі досвіду експертів зазначені параметри можна адаптувати до наявного масиву вхідних даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Критеріями ефективності ТС можуть виступати індикатори енергоефективності, екологічного впливу та безпеки руху [1]. У роботах [1; 2] визначено 10 незалежних суттєвих ознак функціональних елементів ТС типу «Транспортний засіб (ТЗ) – Транспортний потік – Дорога – Середовище руху», які впливають на індикатор енергоефективності ТЗ. Метод визначення індикатору описано та обґрунтовано авторами [3]. У [1] реалізовано алгоритм навчання нейронної мережі з учителем та досягнуто точність моделювання 98,7%. Із метою оцінювання ефективності заданої конфігурації (стану) ТС за критерієм енерговитрати ТЗ у [2] реалізовано системи нечіткого логічного виведення типу Мамдані та Сугено. Точність оцінювання та прогнозування енерговитрат ТЗ становить 98,1% та 98,8% для системи Сугено та системи Мамдані відповідно. При цьому було використано трапецієвидні функції належності кожного параметру системи до відповідних термів їх областей визначення.

Авторами [4] доведено ефективність поетапного застосування декількох нейронних мереж у моделі інтелектуального водія (IDM) для оперативної адаптації стилю водіння під зовнішні умови, що забезпечує зниження споживання енергії та підвищення рівня безпеки руху. Перша нейронна мережа (Actor network) визначає прискорення ТЗ на основі актуального транспортного потоку. Інша (Critic network) – використовує отримане значення прискорення як вхідні дані для оцінки значення поточного стану в межах транспортної системи. Таким чином, визначення вхідних параметрів транспортної системи, що є суб'єктивними оцінками експертів, наприклад складність погодних умов, може бути реалізоване через додаткові системи виведення або нейронні мережі. Тобто утворюється двошарова

система оцінювання вихідного параметру, за якої допоміжні мережі становлять перший шар. Виходи цих мереж подаються на входи інтегральної мережі для визначення та прогнозування вибраного індикатора транспортної системи.

У роботі [5] наведено етапи побудови нейро-нечіткої моделі оцінювання коефіцієнту зчеплення. Структура зазначених етапів є уніфікованою для розв'язання задач ідентифікації моделей систем з урахуванням композиційної невизначеності статистичних даних, не пов'язана з конкретною предметною сферою та може бути реалізована для розроблення моделей оцінювання конфігурацій транспортної системи за вибраними критеріями її ефективності. Автором використано Гаусівські функції належності в структурі, побудованої в середовищі Matlab ANFIS-моделі. Точність моделі – 99,8%. Проте автор не враховує параметри транспортного потоку, у складі якого рухається ТЗ. Структура адаптивної нечіткої нейронної мережі ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System) описана в роботі [6]. У [7] застосовано мережу ANFIS для визначення оптимального маршруту залізничного транспорту. У процесі даного дослідження автори виконали порівняльний аналіз похибок моделювання за різних типів функцій належності параметрів мережі. Виявлено, що найменша похибка на навчальній вибірці була отримана на основі гібридного методу, що поєднує метод зворотного поширення помилки та метод найменших квадратів із використанням симетричних Гаусівських функцій належності.

Під час застосування ANFIS генерування вихідної системи нечіткого виведення в переважній кількості досліджень здійснюється за алгоритмом решітчастого розбиття [8; 9] за невеликої кількості вхідних параметрів або через субтрактивну кластеризацію [10].

**Формулювання мети дослідження.** Метою даної роботи є підвищення точності оцінювання енергоефективності заданих конфігурацій транспортної системи заданої структури шляхом застосування нейро-нечітких технологій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На основі результатів дослідження [2] будемо розглядати ТС, стан якої описується набором із десяти параметрів, що відповідає морфологічним ознакам її функціональних елементів. Зазначені параметри є суттєвими для оцінювання індикаторів ефективності ТС. Діапазон значень кожного параметру та варіанти його реалізації наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Незалежні параметри транспортної системи**

Параметр	Назва	Діапазон значень	Варіанти реалізації
$x_1$	Категорія ТЗ	[1, 6]	M1
			M2
			M3
			N1
			N2
			N3
$x_2$	Тип енергетичної установки	[1, 4]	бензинова
			дизельна
			газова
			гібридна, електрична, воднева

Продовження таблиці 1

$x_3$	Вік ТЗ	[1, 5]	до 5 років
			5–10 років
			10–15 років
			15–20 років
			більше 20 років
$x_4$	Ступінь використання вантажоємності/пасажиромісткості	[0, 1]	низький, 0–0,4
			середній, 0,41–0,5
			високий, 0,51–0,7
			дуже високий, 0,71–1
$x_5$	Рівень складності транспортного потоку	[0, 1]	низький, 0–0,2
			середній, 0,21–0,4
			високий, 0,41–0,7
			дуже високий, 0,71–1
$x_6$	Ступінь дорожнього опору, $f+i$	[0,07, 0,15]	низький, 0,007–0,049
			середній, 0,05–0,099
			високий, 0,1–0,15
$x_7$	Ступінь кривизни проїжджої частини	[1, 3]	низький
			середній
			високий
$x_8$	Рівень моторизації	[1, 3]	низький, до 200 авто/1000 мешканців
$x_8$ $x_9$	Рівень моторизації Часовий інтервал	[1, 3]	середній, 200–300 авто/1000 мешканців
		[1, 5]	високий, від 300 авто/1000 мешканців
			«пік»
$x_9$ $x_{10}$	Часовий інтервал Ступінь складності погодних умов	[1, 5]	зростання інтенсивності руху
		[0, 1]	стала інтенсивність руху
			спадання інтенсивності руху
			нічні години
			низький, 0–0,19
$x_{10}$	Ступінь складності погодних умов	[0, 1]	середній, 0,2–0,39
			високий, 0,4–0,69
			дуже високий, 0,7–1

Було досліджено 25 конфігурацій ТС, що відповідає умовам руху транспорту ділянками вулично-дорожніх мереж восьми міст України: Київ, Львів, Одеса, Черкаси, Канів, Бориспіль, Сміла (Черкаська обл.), Золотоноша (Черкаська обл.). Під конфігурацією будемо розуміти вектор фіксованих значень усіх параметрів ТС. Як вихідний параметр вибрано індикатор енергоефективності ТЗ  $In_{e.e}$  в умовах досліджуваних конфігурацій. Для розрахунку зазначеного індикатора доречно вибрати один із методів, що розглянуто в роботі [3]. У даному дослідженні прийнято метод коригуючих коефіцієнтів [3, формула (1)]. За даним способом розрахунку індикатора його область визначення знаходиться у вузькому діапазоні значень [0,5, 0,8]. Приведення даного діапазону до інтервалу [0, 1] не покращило точності подальшого оцінювання енергоефективності ТЗ, тому для побудови моделі було

використано початкові значення  $In_{e.e}$ . Числові значення вхідних та вихідного параметрів системи були уточнені та розподілені на три набори: навчальна, тестова та контрольна вибірки у співвідношенні 70%, 15% та 15% відповідно. Спочатку до навчальної вибірки увійшли конфігурації з найбільшими значеннями вибіркової дисперсії. Проте побудована в результаті такого відбору база правил логічного виведення не покривала всі терми параметрів системи. Тому було виконано перерозподіл конфігурацій за вибірками для усунення виявленого недоліка. Остаточний розподіл конфігурацій представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Вихідний масив даних

№ конфігурації	Вхідні параметри ТС										$In_{e.e}$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	
навчальна вибірка											
2	1	3	5	0,49	0,03	0,068	2	2	2	0,2	0,690
3	5	2	2	0,64	0,24	0,023	1	2	3	0,01	0,667
6	3	4	2	0,8	0,04	0,015	1	3	5	0,2	0,518
7	1	3	5	0,3	0,06	0,017	1	3	4	0,2	0,704
8	1	1	1	0,36	0,35	0,065	1	1	3	0,1	0,787
9	1	1	3	0,13	0,01	0,02	2	2	1	0,7	0,758
11	6	2	3	0,71	0,22	0,023	1	2	4	0,5	0,505
12	4	2	4	0,69	0,31	0,018	1	1	5	0,01	0,680
13	4	2	2	0,86	0,25	0,03	1	1	5	0,4	0,629
15	5	2	4	0,91	0,33	0,077	1	1	3	0,2	0,552
16	1	3	5	0,2	0,21	0,077	1	1	2	0,2	0,741
17	1	2	5	0,15	0,49	0,049	1	2	5	0,01	0,690
19	4	3	5	0,37	0,038	0,049	1	2	1	0,1	0,769
21	3	2	3	0,82	0,76	0,025	1	2	4	0,1	0,515
23	1	1	1	0,31	0,015	0,037	1	3	5	0,2	0,714
24	4	2	2	0,65	0,19	0,13	3	2	3	0,7	0,581
25	2	2	2	0,53	0,05	0,08	3	2	4	0,3	0,599
тестова вибірка											
4	3	2	4	0,72	0,24	0,023	1	2	3	0,01	0,538
5	1	1	4	0,57	0,52	0,023	1	2	4	0,5	0,690
10	2	2	3	0,77	0,06	0,02	2	2	3	0,2	0,565
20	4	2	4	0,73	0,58	0,025	1	2	3	0,2	0,610
контрольна вибірка											
1	1	1	3	0,75	0,03	0,09	2	2	2	0,4	0,694
14	3	2	5	0,5	0,17	0,03	1	1	2	0,4	0,667
18	1	1	3	0,42	0,21	0,049	1	2	2	0,01	0,758
22	1	1	3	0,27	0,01	0,029	3	2	3	0,01	0,704

Для подальшого оцінювання та прогнозування ефективності ТЗ у складі ТС побудовано нечітку нейронну мережу засобами ANFIS-редактора пакету Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab. Розподіл значень індикатора  $In_{e.e}$  для кожної з трьох вибірок представлено на рис. 1.

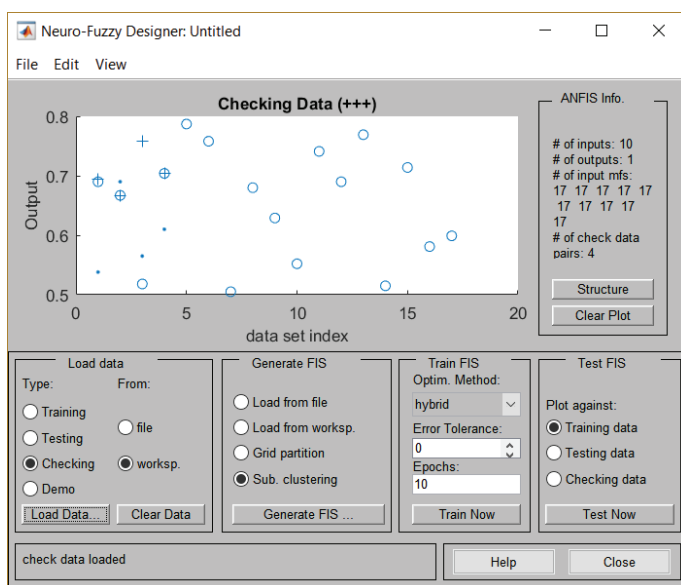


Рис. 1. Діапазон значень індикатора енергоефективності в редакторі ANFIS

В області візуалізації на рис. 1 використано такі маркери: блакитна точка ( $\cdot$ ) – тестова вибірка; блакитне коло ( $\circ$ ) – навчальна вибірка; блакитний плюс (+) – контрольна вибірка. По осі абсцис відкладається порядковий номер набору даних в середині кожної вибірки, а по осі ординат – значення результуючого параметра ( $In_{e.e}$ ) для даного рядка вибірки.

Ураховуючи кількість вхідних параметрів, що подаються на вхід (0-й шар) нейронної мережі, та результати аналізу останніх джерел і публікацій генерування мережі виконано за методом субстрактивної кластеризації у neuroFuzzyDesigner GUI в Matlab (рис. 2).

У наступному шарі мережі (рис. 2) виконується фазифікація, термам вхідних параметрів відповідають симетричні Гаусівські функції належності. У нейронах 2-го шару rule обчислюються добутки вхідних сигналів – функцій належності. Кількість термів індикатора енергоефективності дорівнює кількості правил (3-й шар). Далі виконуються агрегація та дефазифікація результату.

На рис. 3 наведено систему нечіткого виведення типу Сугено, що утворена із 17 правил відповідно до потужності навчальної вибірки.

Модельне значення індикатора енергоефективності на рис. 3 відповідає конфігурації ТС № 4, що увійшла до тестового набору даних.

Навчання мережі проведено за двома методами (табл. 3): методом зворотного поширення помилки та гібридним методом, що поєднує попередній метод із методом найменших квадратів.

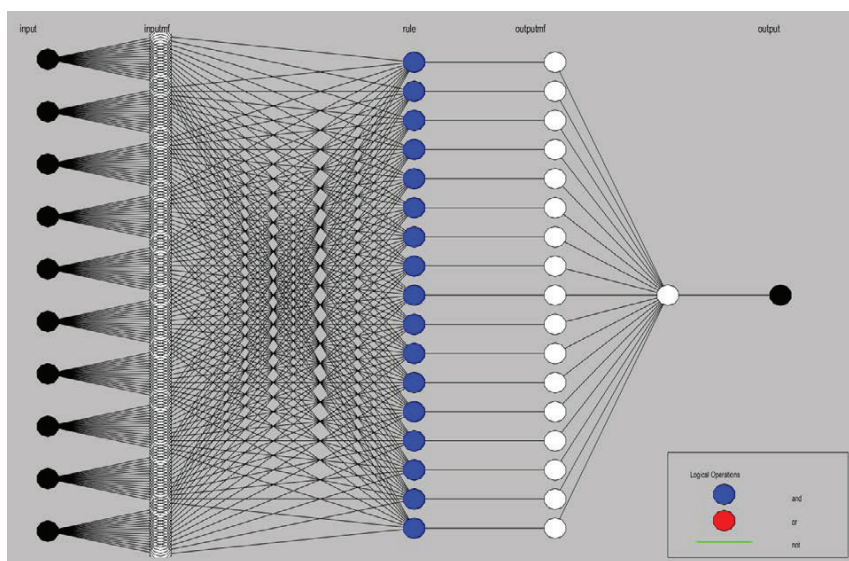


Рис. 2. Структура згенерованої адаптивної нейронної мережі ANFIS

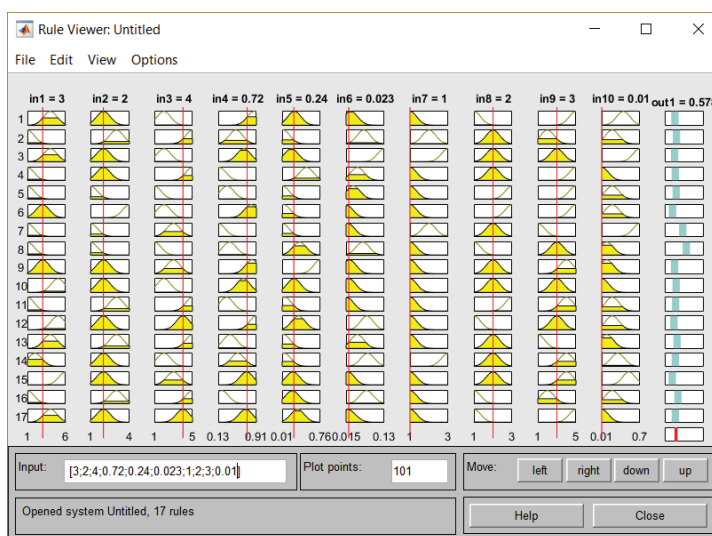


Рис. 3. База правил розробленої нейронної мережі

Таблиця 3

**Точності моделі за різними методами навчання**

Метод навчання	Тип вибірки	Мінімальне значення RMSE
Методом зворотного поширення помилки	навчальна	0,0141365
	контрольна	0,167083
Гібридний метод	навчальна	$2,1153 \times 10^{-8}$
	контрольна	0,167083

Гібридний метод виявився більш продуктивним на навчальній вибірці. Результати навчання з використанням даного методу візуально представлено на рис. 4. При цьому процес навчання мережі було повністю завершено після двох епох.

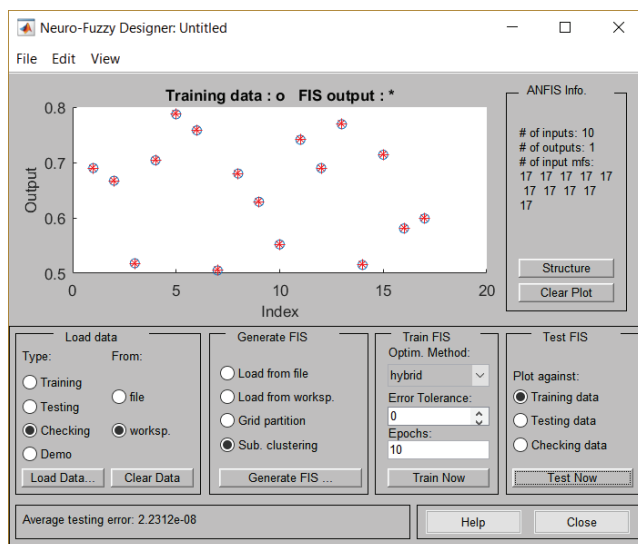


Рис. 4. Табличні (°) та модельні (\*) значення індикатора енергоефективності ТЗ на навчальній вибірці

Рис. 5 репрезентує результати оцінювання індикатора  $In_{e,e}$  порівняно з табличними значеннями початкового масиву даних для всіх досліджуваних конфігурацій ТС.

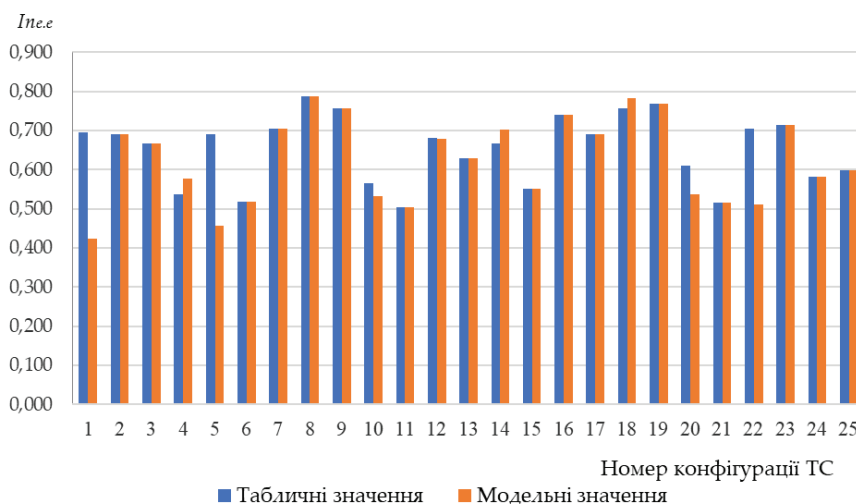


Рис. 5. Результати порівняння табличних та модельних значень індикатора енергоефективності ТЗ на початковій вибірці

Згідно з рис. 5 та табл. 2, найменша точність досягається під час оцінювання енергоефективності легкових бензинових автомобілів категорії М1 віком від 10 років та більше.

Розроблена нейронна мережа дала змогу дослідити сумарний вплив параметрів ТС на енергоефективність ТЗ заданих категорій та транспортних технологій. За результатами дослідження [2] можна стверджувати, що під час оцінювання енергоефективності найбільш вагомим із представлених параметрів функціонального елементу «ТЗ» є  $x_4$  – ступінь використання вантажоемності/пасажиромісткості. Тому доцільно дослідити динаміку впливу комбінацій зазначеного параметра та інших параметрів різних функціональних елементів системи на рівень енергоефективності ТЗ. Рис. 6 та рис. 7 демонструють вплив  $x_4$  та рівня складності транспортного потоку  $x_5$  на індикатор  $In_{e.e}$ .

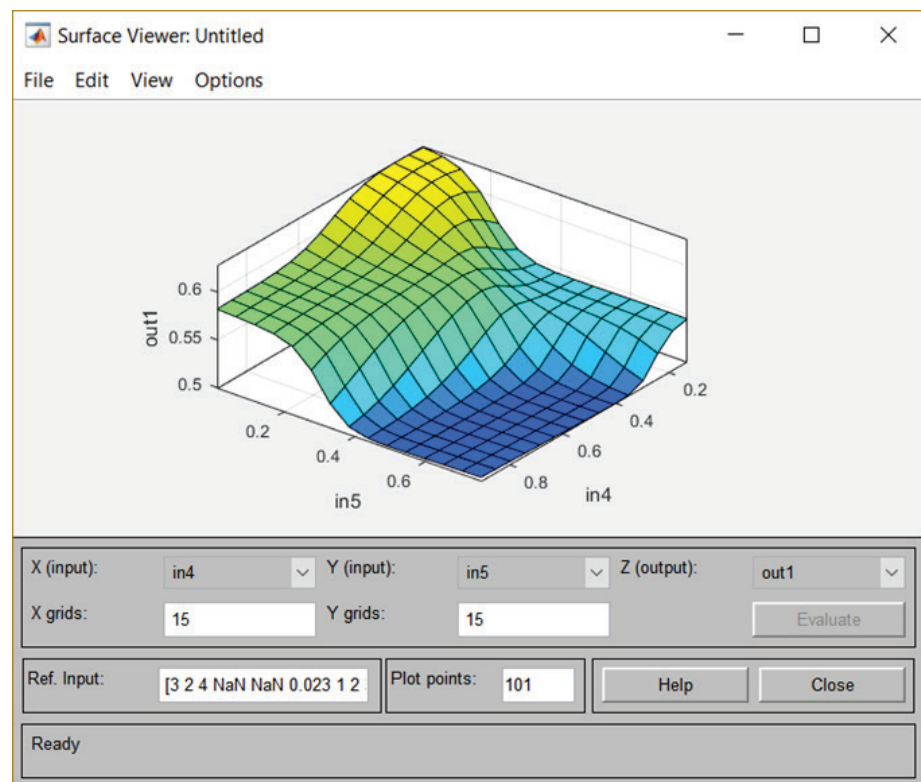


Рис. 6. Залежність  $In_{e.e}$  ( $x_4, x_5$ ) від ступеня використання пасажиромісткості ( $x_4$ ) та рівня складності транспортного потоку ( $x_5$ ) для автобусів

Із рис. 6 та 7 видно, що рівень складності транспортного потоку має більший вплив, ніж ступінь використання вантажоемності/ пасажиромісткості. Окрім того, обидва параметри більшою мірою чутливі до зміни своїх значень для пасажирського транспорту, ніж для вантажного. Аналогічна динаміка зміни результуючого параметра спостерігається для комбінацій інших параметрів функціональних елементів системи.

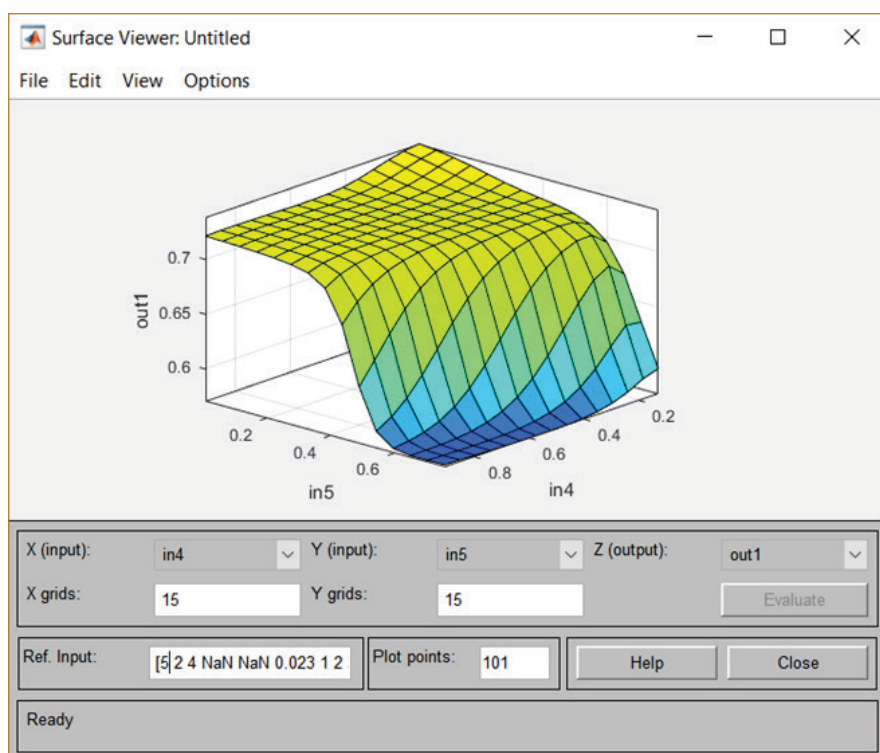


Рис. 7. Залежність  $In_{e,e}(x_p, x_s)$  від ступеня використання вантажосємності ( $x_s$ ) та рівня складності транспортного потоку ( $x_p$ ) для вантажних автомобілів

**Висновки.** У процесі дослідження досягнуто більш високу точність нелінійної моделі для оцінювання енергоефективності ТЗ порівняно з попередніми дослідженнями. Точність моделі суттєво зросла за рахунок поєднання систем нечіткого виведення з нейронмережевими технологіями. Дану модель доцільно використовувати в підсистемі оцінювання ефективності роботи функціональних елементів локальних ТС у складі ІТС на регіональному та державному рівнях. Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення масиву результуючих параметрів – індикаторів ефективності ТЗ під час розв’язання задач багатокритеріальної оптимізації функціонування ТС на заданому рівні.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Mateichyk V., Śmieszek M., Kostian N. Evaluation of transport system configuration by efficiency indicators. *Transport technologies*. 2022. 3(2). pp. 52–62. <http://doi.org/10.23939/tt2022.02.052>
2. Mateichyk V., Kostian N., Smieszek M., Mosciszewski J., Tarandushka L. Evaluating Vehicle Energy Efficiency in Urban Transport Systems Based on Fuzzy Logic Models. *Energies*. 2023. 16(2). 734. <http://doi.org/10.3390/en16020734>
3. Mateichyk V., Kostian N., Smieszek M., Gritsuk I., Verbovskiy V. Review of Methods for Evaluating the Energy Efficiency of Vehicles with

- Conventional and Alternative Power Plants. *Energies*. 2023. 16(17). 6331. <http://doi.org/10.3390/en16176331>
4. Zhou W., Wu N., Liu Q., Pan C., Chen L. Research on Ecological Driving Following Strategy Based on Deep Reinforcement Learning. *Sustainability*. 2023. 15. 13325. <https://doi.org/10.3390/su151813325>
  5. Кашканова А.А. Застосування нечіткої нейронної мережі для визначення інформативності факторів впливу на реалізацію зчпної здатності дороги і шини. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022. Вип. 15. № 1. С. 88–99. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-15-1-88-99>
  6. Снитюк В.Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми. Київ : Маклаут, 2008. 364 с.
  7. Пахомова В.М., Мандибуря Є.С. Визначення оптимального маршруту в інформаційній мережі залізничного транспорту з використанням нейро-нечітких моделей. *Наука та прогрес транспорту*. 2019. № 5(83). С. 81–98. <https://doi.org/10.15802/stp2019/184385>
  8. Zegai M.L., Bendjebbar M., Belhadri K., Lakhdari F. Adaptive Neuro-Fuzzy Speed Regulator Applied in Direct Torque Control for Induction Motor Drive Using Multilevel Inverter. *International Review of Automatic Control (IREACO)*. 2016. 9(4). 182–191. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v9i4.9149>
  9. Пахомова В.М., Дмитрієв С.Ю. Розробка підсистеми оперативного прогнозування простоїв прибуваючих поїздів на основі ANFIS-системи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. № 4. С. 46–55. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ikszt\\_2013\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ikszt_2013_4_10)
  10. Шевченко А.П. Моделі та методи прогнозування технічного стану засобів водного транспорту на основі м'яких обчислень : дис. ... доктора філософії : 271. Київ, 2020. 181 с.

## REFERENCES

1. Mateichyk, V., Śmieszek, M., & Kostian, N. (2022). Evaluation of transport system configuration by efficiency indicators. *Transport technologies*, 3(2), 52–62. <http://doi.org/10.23939/tt2022.02.052>
2. Mateichyk, V., Kostian, N., Smieszek, M., Mosciszewski, J., & Tarandushka, L. (2023). Evaluating Vehicle Energy Efficiency in Urban Transport Systems Based on Fuzzy Logic Models. *Energies*, 16(2), 734. <http://doi.org/10.3390/en16020734>
3. Mateichyk, V., Kostian, N., Smieszek, M., Gritsuk, I., & Verbovskyi, V. (2023). Review of Methods for Evaluating the Energy Efficiency of Vehicles with Conventional and Alternative Power Plants. *Energies*, 16(17), 6331. <http://doi.org/10.3390/en16176331>
4. Zhou, W., Wu, N., Liu, Q., Pan, C., & Chen, L. (2023). Research on Ecological Driving Following Strategy Based on Deep Reinforcement Learning. *Sustainability*, 15, 13325. <https://doi.org/10.3390/su151813325>
5. Kashkanova, A. (2022). The use of a fuzzy neural network to determine the information content of factors affecting the implementation of the grip

- properties of a road with a tire [Zastosuvannia nechitkoi neuronnoi merezhi dlia vyznachennia informatyvnosti faktoriv vplyvu na realizatsiiu zchipnoi zdatnosti dorohy i shyny]. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1(15), 88–99. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-15-1-88-99>
6. Snyiuk, V.Y. (2008). *Prognostication. Models. Methods. Algorithms [Prohnozuvannia. Modeli. Metody. Alhorytmy]*. Maklout: Kyiv, Ukraine, p. 364.
  7. Pakhomova, V.M., & Mandybura, Y.S. (2019). Optimal route definition in the railway information network using neural-fuzzy models [Vyznachennia optymalnoho marshrutu v informatsiinii merezhi zaliznychnoho transportu z vykorystanniam neironechitkykh modelei]. *Science and Transport Progress*, 5(83), 81–98. <https://doi.org/10.15802/stp2019/184385>.
  8. Zegai, M.L., Bendjebbar, M., Belhadri, K., & Lakhdari, F. (2016). Adaptive Neuro-Fuzzy Speed Regulator Applied in Direct Torque Control for Induction Motor Drive Using Multilevel Inverter. *International Review of Automatic Control (IREACO)*, 9(4), 182–191. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v9i4.9149>.
  9. Pakhomova, V.N., & Dmitriev, S.Y. (2013). The development of operational forecasting subsystem downtime trains arriving on ANFIS-based system [Rozrobka pidsystemy operatyvnoho prohnozuvannia prystoiv prybuvaiuchykh poizdiv na osnovi ANFIS-systemy]. *Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, 4, 46–55.
  10. Shevchenko A.P. *Models and methods for forecasting the technical state of soft-transport water transport [Modeli ta metody prohnozuvannia tekhnichnoho stanu zasobiv vodnoho transportu na osnovi miakyykh obchyslen]* : Thesis for a Doctor of Philosophy Degree : 271. Kyiv, 2020. 181 p.

## СУЧАСНИЙ СТАН КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЧЕРЕЗ УКРАЇНСЬКІ ПОРТИ ДУНАЮ

В.І. Літвяк<sup>1</sup>, О.В. Щербина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>здобувач ступеня доктора філософії

кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0009-0000-6261-927X

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-9247-5972

### Анотація

**Вступ.** Сьогодні транспортна система України зіткнулася з надзвичайними викликами. Кризова ситуація, що пов'язана з широкомасштабною російською воєнною агресією та блокадою українських морських торговельних портів, внесла суттєві зміни у діючу систему доставки експортних та імпорتنних вантажів. Відсутність можливості перевезень через порти Великої Одеси призвела до перенаправлення вантажопотоків, які частково перейшли до українських портів Дунаю. У тому числі ця зміна відбулася з контейнерними морськими перевезеннями. Оператори контейнерних ліній налаштували нові шляхи доставки контейнерних вантажів до дунайських портів, які конкурують зі схемами перевезень через порти інших держав. **Мета.** Метою статті є огляд наявних схем контейнерних перевезень через порти Дунаю, а також виявлення перспектив їх використання для освоєння імпорتنних та експортних вантажопотоків. **Результати.** Нині два українські порти Дунаю спроможні виконувати перевантаження контейнерних вантажів – Ренійський морський порт та Ізмаїльський морський порт. Окрім того, перевізники мають вибір між трьома шляхами слідування фідерних суден або барж із порту Констанца до українських портів: канал Констанца – Чернаводе, Сулинське гирло та глибоководний судновий хід «Дунай – Чорне море». Це дає змогу перевізникам вибирати найбільш фінансово ефективну організацію доставки вантажів. Незважаючи на наявну практику контейнерних перевезень у Дунайському регіоні, обсяги цих перевезень ледве сягають 6% показників довоєнного часу. Це означає, що системи перевезень контейнерів у цьому регіоні мають певний потенціал, за досягнення якого будуть підвищені їх обсяги та освоєні вантажопотоки. При цьому система контейнерних перевезень через порти Дунаю має певну кількість недоліків, які обмежують загальну пропускну здатність та підвищують тарифи перевезень. **Висновки.** Хоча використання портів Дунаю було вимушеним рішенням через поточні обставини, продовження використання цих схем доставки контейнерів має потенціал. Зазначені статтею недоліки можуть бути розглянуті більш детально з метою пошуку їх вирішення та подальшої оптимізації наявних маршрутів контейнерних перевезень.

**Ключові слова:** контейнерні перевезення, порти Дунаю, фідерне сполучення, річкова логістика, річка – море.

THE CURRENT STATE OF CONTAINER TRANSPORTATION VIA  
THE UKRAINIAN PORTS OF THE DANUBE

V.I. Litviak<sup>1</sup>, O.V. Shcherbina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD seeker of the Department «Fleet operation and shipping technologies»,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0009-0000-6261-927X

<sup>2</sup>PhD, Associate Professor at the Department «Fleet operation and shipping technologies»,  
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-9247-5972

**Summary**

**Introduction.** Today, the transport system of Ukraine is faced with extraordinary challenges. The crisis situation associated with large-scale Russian military aggression and the blockade of Ukrainian sea trade ports has brought significant changes to the operating system of delivery of export and import goods. The lack of the possibility of transportation through the ports of Great Odesa prompted the redirection of cargo flows, which were partially transferred to the Ukrainian ports of the Danube. This change also occurred with container sea transportation. Container line operators have set up new ways of delivering container cargo to the Danube ports, which compete with shipping schemes through the ports of other states. **Purpose.** The purpose of the article is to review the existing schemes of container transportation via the Danube ports, as well as to identify the prospects of their use for the development of import and export cargo flows. **Results.** At the moment, two Ukrainian ports on the Danube are capable of transshipment of container cargo - Reni seaport and Izmail seaport. In addition, carriers have a choice between three routes for following feeder vessels or barges from the port of Constanta to Ukrainian ports: the Constanța-Cernavodă channel, the Sulina branch, and the Danube-Black Sea deep-sea passage. This allows carriers to choose the most financially efficient cargo delivery organization. Despite the existing practice of container transportation in the Danube region, the volumes of these transportations barely reach 6% of the pre-war indicators. This means that container transportation systems in this region have a certain potential, when they are reached, their volumes will be increased and cargo flows will be developed. At the same time, the system of container transportation through the Danube ports has a certain number of disadvantages that limit the overall throughput and increase transportation tariffs. **Conclusions.** Although the use of the Danube ports was a forced decision due to the current circumstances, the continued use of these container shipping systems has potential. The shortcomings mentioned in the article can be considered in more detail in order to find their solution and further optimize the existing routes of container transportation.

**Key words:** container transportation, Danube ports, feeder connection, river logistics, river – sea.

**Вступ.** Із лютого 2022 р. в Україні відбулося значне зменшення обсягів імпорتنих та експортних перевезень. Хоча ці зміни частково пов'язані із загальним зменшенням рівнів споживання та виробництва, важливо зауважити, що існує певна кількість потенційних вантажопотоків, що могли б бути освоєні, але залишаються неосвоєними через неможливість доставки вантажів або її економічну

недоцільність, викликану підвищенням вартості транспортних перевезень. Окрім цього, важливим аспектом імпорتنних перевезень стала доставка гуманітарної допомоги, яка вимагає забезпечення ефективності доставки до України.

Одним із найважливіших складників системи міжнародних перевезень є перевезення контейнерних вантажів. Універсальність цих перевезень дає змогу використовувати різні способи перевезення, у тому числі мультимодальні, а також підходить для доставки широкої номенклатури вантажів.

Сьогодні транспортні компанії розглядають альтернативні варіанти доставки контейнерних вантажів. Поширення знайшли шляхи перевезення через порти інших країн: контейнери перевантажуються на залізничний та автотранспорт у таких портах, як Гданськ, Гдиня у Балтійському морі, а також Копер та Трієст на березі Адріатичного моря. Подібні схеми доставки є часовитратними через більшу відстань та необхідність перетину міжнародних кордонів і при цьому вимагають значних фінансових вкладень. Однією з альтернатив таким перевезенням є доставка контейнерних вантажів через українські порти Дунаю.

**Постановка проблеми.** Контейнерні перевезення через дунайські порти досі є темою, що розвивається. Ураховуючи той факт, що безперечна більшість морських контейнерних перевезень в Україні проходила через порти Великої Одеси, перспективним є дослідження альтернативних шляхів доставки контейнерів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перспективи розвитку морських перевезень різних видів вантажу через порти Дунаю вже довгий час розглядається вітчизняними науковцями. У цілому перспективи перевезення через українські порти Дунаю до 2022 р. розглядали В. Власова, Є. Єдемський, Н. Кухарська, С. Бугаєва, В. Калюжна та ін. Сучасна кризова ситуація в Україні, пов'язана з морськими перевезеннями, досліджувалася вітчизняними фахівцями (Ю. Шульдінер, Л. Кундій, О. Шевчук, Н. Гайванович, С. Ільченко, В. Грищенко, Л. Гошкова) та незначною кількістю іноземних науковців (J. Li, K. Jing, L. Shen, T. Rožić, D. Naletina, M. Zajac).

Зокрема, у дослідженнях Л. Гошкової та ін. [1] розглядаються перспективи перевезень через українські порти Дунаю та способи підвищення ефективності їхньої роботи у сучасних умовах. Незважаючи на це, проблеми та перспективи розвитку контейнерних перевезень через українські порти Дунаю досі детально не розглядалися.

**Метою статті** є проведення аналізу сучасного стану контейнерних перевезень через українські порти Дунаю, наявних умов та схем доставки. Також стаття визначає перспективи розвитку та шляхи усунення недоліків контейнерних перевезень у цьому регіоні.

**Виклад основного матеріалу.** Сьогодні два дунайські порти України мають необхідну матеріальну базу для перевантаження контейнерів – Ренійський морський торговельний порт та Ізмаїльський морський торговельний порт. Слід зазначити, що обидва порти до 2022 р. не спеціалізувалися у перевантаженні контейнерів: у 2021 р. переважна більшість морських контейнерних вантажопотоків йшла через порти Одеси, Південного та Чорноморська [2].

За інформацією Департаменту морегосподарського комплексу, транспортної інфраструктури та зв'язку Одеської обласної державної адміністрації [3], у 2021 р.

порт Ізмаїл переважно обробляв навалювальні вантажі (3,29 млн т, або 80,9% загального обсягу обробки вантажів). При цьому порт обробив 498,69 тис т (12,3% загальної обробки вантажів) генеральних вантажів, проте контейнерні вантажопо- токи портом не освоювалися.

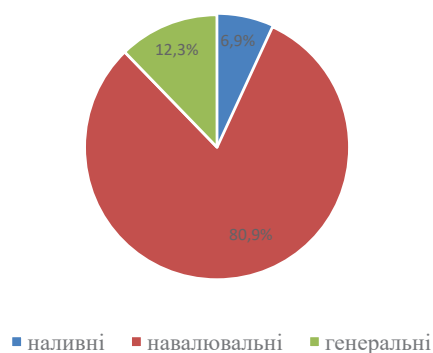


Рис. 1. Склад обробки вантажів порту Ізмаїл у 2021 р. за видами вантажів

Водночас порт Рені був спеціалізований на перевантаженні навалювальних вантажів більшою мірою: за 2021 р. ним було перевантажено 1,24 млн т цього виду вантажів, що становило 90,6% загального вантажообігу.

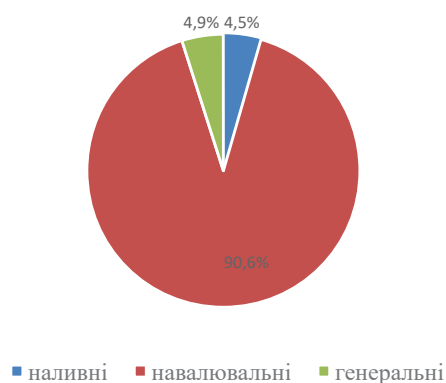


Рис. 2. Склад обробки вантажів порту Рені у 2021 р. за видами вантажів

Загалом існує три судноплавні маршрути, за якими судна можуть доставляти контейнери до портів Рені та Ізмаїл. По-перше, румунський канал Констанца – Чернаводе, який повністю проходить на території Румунії та має вихід поруч із портом Констанца. Значною перевагою цього шляху є те, що він не вимагає судна виходити в акваторію Чорного моря. Це не дає змогу суднам не лише здійснювати рейси незалежно від судноплавних умов у морі, а й уникнути можливої небезпеки перевезень у зв'язку з російською агресією. Ще одна причина використання цього шляху – коротша відстань між портами Констанца та Рені. Канал має глибину 7 м та дає змогу проходженню суден з осадкою до 5 м [4].



Рис. 3. Маршрути перевезення контейнерів через канал Констанца – Чернаводе до портів Рені (ліворуч) та Ізмаїл (праворуч)

Іншим судноплавним шляхом у Дунайському регіоні є Сулинське гирло, що знаходиться у дельті Дунаю та виходить у Чорне море в районі порту Сулина. Цей судноплавний маршрут входить до основного русла Дунаю за 80 км до його гирла, тобто щоб дістатися порту Рені судна мають іти ввєрх по Дунаю та вниз, щоб дістатися порту Ізмаїл. Глибина гирла сягає 7–9 м [4; 5].



Рис. 4. Маршрути перевезення контейнерів через Сулинське гирло до портів Рені (ліворуч) та Ізмаїл (праворуч)

Третій шлях із Чорного моря до дунайських портів лежить через Глибоководний судновий хід (ГСХ) «Дунай – Чорне море», що розташований у гирлі Бистре (Новостамбульське). Цей шлях відносно новий порівняно з румунськими варіантами: судноплавство по ньому було запущене у 2004 р. ГСХ «Дунай – Чорне море» дає змогу пересування суден осадкою до 6,5 м [6] та має загальну довжину 170,36 км і складається з чотирьох ділянок:

- морський підхідний канал довжиною 3,3 км, глибиною 7,65 м, який проходить у районі гирла Бистрого;

- море – Вилкове довжиною 19 км, із проєктними глибинами до 7,26 м;
- Вилкове – Ізмаїльський Чатал довжиною 95,4 км, глибинами до 7,26 м;
- Ізмаїльський Чатал – Рені довжиною 54,36 км, глибиною не менше 7,26 м [7].

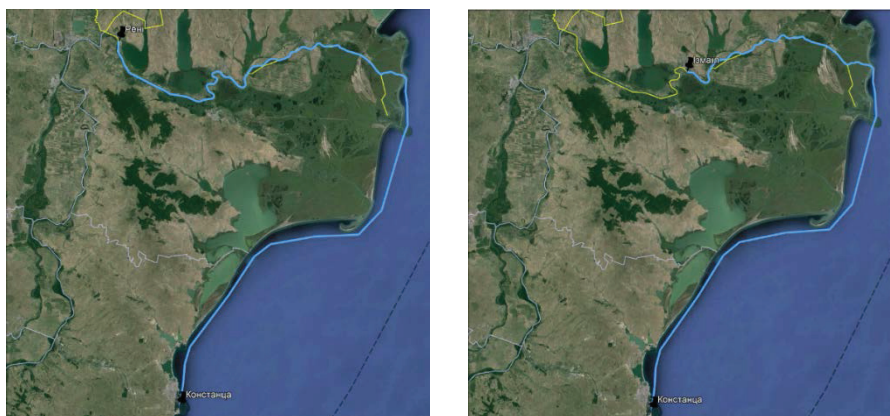


Рис. 5. Маршрути перевезення контейнерів через ГСХ «Дунай – Чорне море» до портів Рені (ліворуч) та Ізмаїл (праворуч)

Загальну інформацію про шляхи доставки контейнерів надано в табл. 1.

Попри непристосованість портового обладнання для контейнерних перевезень із перевантаженням у портах Дунаю та неможливість обробки суден в інших українських портах сучасні умови вимусили портових операторів та контейнерних перевізників співпрацювати з метою термінової організації нових портових контейнерних терміналів.

Таблиця 1

**Характеристики судноплавних шляхів від порту Констанца до контейнерних терміналів портів Дунаю**

	Канал Констанца – Чернаводе	Сулинське гирло	ГСХ «Дунай – Чорне море»
Гарантована глибина, м	7	7	7,26
Максимальна осадка суден, м	5	5,5	6,5
Відстань до порту Рені, км	236	298	347
Відстань до порту Ізмаїл, км	310	277	274

Сьогодні вже створено системи доставки контейнерів через вище зазначені порти, і перевізники контейнерних вантажів почали їх використання.

Першим маршрутом таких перевезень стало сполучення Констанца – Рені, запущене у листопаді 2022 р. компанією Maersk та її партнером – компанією «Вікінг

Альянс», що оперує контейнерним терміналом у Рені [8]. Цей маршрут пролягає через румунський канал Констанца – Чернаводе та використовує для перевезення контейнерів баржі. Ренійський термінал протягом перших пів року своєї роботи приймав приблизно 150 20-футових еквівалентів (TEU) в імпортному та 400 TEU в експортному напрямках за тиждень [9].

Іншим шляхом, що дає змогу імпортувати та експортувати контейнери через порти Дунаю, є доставка до контейнерного терміналу порту Ізмаїл. У березні 2023 р. компанії Iteric та United Global Logistics спільно запустили фідерний сервіс між Ізмаїлом та румунським портом Констанца. Цей маршрут обслуговує фідерне судно T-MOON, що може перевозити до 170 TEU за один рейс, який триває приблизно тиждень [10].

Загалом за підсумками 2022 р. портом Рені було оброблено 9 321 TEU. У 2023 р. із початком роботи контейнерного терміналу порту Ізмаїл цей показник зріс до 67 667 TEU [11].

Незважаючи на підвищення обсягів морських контейнерних перевезень, ці показники значно відрізняються від довоєнних рівнів. Наприклад, у 2021 р. три порти Великої Одеси перевантажили понад 1 млн TEU: у порту Одеса – 671,5 тис TEU, Південному – 238,6 тис TEU, Чорноморську – 112,2 тис TEU. Ця невідповідність пов'язана з переходом контейнеропотоків до систем доставки через морські порти країн Європейського Союзу та втратою деяких вантажопотоків через підвищення тарифів на доставку контейнерів до України. Відповідно, порти Дунаю мають нагоду залучити ці потенціальні вантажопотоки за умови підвищення обсягів перевезень.

Важливо зазначити, що системи доставки контейнерів через дунайські порти мають свої недоліки, вирішення яких має поліпшити загальну ефективність контейнерних перевезень у цьому регіоні та дасть змогу підвищити обсяги контейнерних перевезень.

По-перше, незначна глибина маршрутів доставки створює обмеження для максимальної місткості суден, що використовуються під час перевезення. Шлях, який використовує ГСХ «Дунай – Чорне море» і дає змогу проходити суднам із максимальною осадкою 6,5 м, також має обмеження у тому, що морський підхідний канал працює в односторонньому режимі, тобто судна не можуть рухатися в обох напрямках одночасно. Днопоглиблювальні роботи в українському каналі наразі не є перспективними через складність узгодження таких робіт із міжнародними організаціями, оскільки судноплавний хід проходить у регіоні, захищеному декількома конвенціями з охорони довкілля. Незважаючи на це, декілька можливих маршрутів доставки дають змогу перевізникам організувати перевезення різними шляхами. Наприклад, одночасно можуть функціонувати фідерне сполучення до порту Ізмаїл через ГСХ «Дунай – Чорне море» та Сулинське гирло з більшими за ємністю фідерними суднами та баржеве сполучення до порту Рені по каналу Дунай – Чорне море. При цьому варіанті організації доставки вантажів Приватне акціонерне товариство «Українське дунайське пароплавство» може забезпечити технічну базу для баржевого сполучення. Ця компанія практикує виробництво барж, створених шляхом стикування двох ліхтерів. Таке виробництво не потребує значних капіталовкладень, оскільки у ньому використовуються ліхтери, що

не експлуатуються. Нині на таких баржах переважно перевозяться навалювальні та насипні вантажі, але підприємство має можливість спеціалізувати такі баржі для перевезення контейнерів.

Іншою проблемою для контейнерних перевезень через Дунайський регіон України є склад експорту. Переважно, як і раніше, український експорт складається з насипних та навалювальних вантажів. Так, лише зернові культури становили майже 26% загального імпорту – 5,73 млрд USD із 21,93 млрд USD загалом [12]. Хоча такі вантажі можуть перевозитися у контейнерах, питома собівартість такого перевезення переважно вище, ніж навалом, і потребує додаткових послуг. Проте ця проблема може бути частково нівельована за організації надання послуги стафірування контейнерів навалювальними та насипними вантажами безпосередньо в портах Дунаю. У такому разі вантажовласники, які не мають можливості відправки своїх вантажів у контейнерах, можуть доставляти їх до портів навалом, а відправляти морським транспортом уже в контейнерах.

Важливою проблемою контейнерних перевезень через порти Дунаю є нерівномірність імпортного та експортного контейнерних вантажопотоків. Як зазначено раніше, порт Рені на початку своєї роботи з контейнерами обробляв за тиждень приблизно 150 TEU в імпорті порівняно з 400 TEU в експорті. Нерівномірність вантажопотоку вимушує перевізників завантажуватися порожніми контейнерами, що підвищує тарифи на імпортні перевезення. Для вирішення цієї проблеми необхідно знайти спосіб залучити імпортні вантажопотоки для цього маршруту перевезень. Одним із перспективних рішень є організація доставки гуманітарної допомоги у контейнерах. Ці перевезення є відносно постійними і можуть становити значну частину обсягів імпортних контейнерних перевезень.

Нещодавні заяви міністра розвитку громад, територій та інфраструктури та УДП [13] указують на те, що найближчим часом держава має намір відновити контейнерні перевезення до портів Великої Одеси шляхом фідерного сполучення з чорноморськими портами інших країн. Попри це подальше використання портів Дунаю для контейнерних перевезень у майбутньому може бути доцільним. По-перше, розподілення контейнерних вантажопотоків між портами Великої Одеси та портами Дунаю є оптимальним із метою уникнення ризиків, викликаних військовою агресією росії. Держава-агресор неодноразово наносила шкоду портовій інфраструктурі, і за повторення подібних випадків контейнерні термінали українських портів можуть тимчасово припинити свою роботу, що буде призводити до необхідності переведення частини вантажопотоків до інших функціонуючих портів. По-друге, матеріальну базу портів Дунаю можна використовувати у схемах перевезень вантажів до країн Європи річковим транспортом як альтернативу автомобільним та залізничним перевезенням. Сьогодні з перекриттями автомобільних та залізничних кордонних пропускних пунктів із Польщею українські вантажовласники шукають інші шляхи для транспортування своїх товарів до країн ЄС. Відповідно до пропозиції «Українського дунайського пароплавства», використання контейнерних перевезень із портів Дунаю дасть змогу оминати польську блокаду та надасть три варіанти схем експорту вантажів:

1) із переміщенням вантажів у контейнерах уверх по Дунаю до румунського порту Галац;

- 2) із доставкою контейнерів до портів Середнього та Верхнього Дунаю;
  - 3) із доставкою вантажів більшими баржами до морського порту Констанца.
- Пароплавство планує поставити на контейнерні лінії додаткові баржеві каравани, які щомісячно забезпечать доставку 2,1 тис TEU до Регенсбургу (Німеччина).



Рис. 5. Запропоновані маршрути експортних контейнерних перевезень до країн Європейського Союзу Дунаєм [13]

Останньою та найважчою для вирішення є проблема ефекту «вузького місця», що виникає через недостатній розвиток транспортної інфраструктури українського Дунайського регіону. Єдиним залізничним сполученням, що дозволяє перевезення з портів Рені та Ізмаїл по території України, є розвідний міст через Дністровський лиман. Через періодичні пошкодження цього мосту немає гарантії забезпечення безперебійної доставки контейнерів із дунайських портів. Двома варіантами вирішення цієї проблеми є побудова нових залізничних та автосполучень із портами, що вимагає значних капіталовкладень, а також співпраця з республікою Молдова з метою налагодження транзитних перевезень до Західної України. Друга опція є набагато перспективнішою, особливо зважаючи на розвиток транспортної інфраструктури та створення так званих «сухих» контейнерних терміналів у цьому регіоні, викликаних збільшенням обсягів контейнерних перевезень із Польщі.

**Висновки.** У сьогоdnішніх реаліях контейнерні перевезення через українські порти Дунаю є єдиним шляхом морської доставки контейнерів до та з України. Попри це такий маршрут перевезень має великий потенціал за подальшого розвитку систем доставки та організації взаємодії з портами Великої Одеси. Різноманітність варіантів сполучення дунайських портів із портом Констанца дає змогу створити декілька маршрутів перевезення, що можуть працювати одночасно.

Тема розвитку контейнерних перевезень через цей регіон може бути розглянута більш детально: системи контейнерних перевезень здійснюються лише незначний час та мають недоліки, які шкодять їх загальній ефективності. Можливі

рішення цих недоліків мають розглядатися окремо з метою розвитку цих перевезень. Також із нестабільністю поточної ситуації умови перевезень можуть значно змінюватися, що вимагає постійного аналізу їхнього стану та підготовки динамічного вирішення викликів, що виникають.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Горошкова Л.А., Васильєва О.О., Маслова О.В., Сумець О.М. Річкова логістика в умовах війни та повоєнного відновлення України: стан та перспективи. *Економічний вісник Університету Григорія Сковороди в Переяславі*. 2023. № 56. С. 113–125.
2. Вантажопотоки портів України – 2021. *Центр транспортних стратегій*. URL: [https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki\\_portov\\_ukrainy\\_2021](https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki_portov_ukrainy_2021) (дата звернення: 21.04.24).
3. Транспортна галузь Одеської області. Підсумки 2021 року та плани 2022 року. *Департамент морегосподарського комплексу, транспортної інфраструктури та зв'язку Одеської обласної державної адміністрації*. URL: <https://morhoz.od.gov.ua/transportna-galuz-odeskoj-oblasti-pidsumku-2021-roku/> (дата звернення: 21.04.24).
4. Звіт Європейської економічної комісії ООН №TRANS/SC.3/2003/3. Exchange of information on measures aimed at promoting transport by inland waterways. 2003. С. 3–5. URL: <https://files.pca-cpa.org/pcadocs/ua-ru/04.%20UA%20Rejoinder%20Memorial/01.%20Exhibits/UA-92.pdf> (дата звернення: 21.04.24).
5. Bondar С., Panin N. The Danube Delta Hydrologic Database and Modeling. *Гео-Еко-Марина*. 2000. С. 5–6.
6. Прогідну осадку в гирлі Бистре збільшено майже удвічі. *Порти України*. URL: <https://ports.ua/prohidnu-osadku-v-girli-bistre-zbilsheno-majzhe-udvichi/> (дата звернення: 21.04.24).
7. ГСХ «Дунай – Чорне море». Про проект. *Дельта-лоцман*. URL: [https://web.archive.org/web/20090830231145/http://www.delta-pilot.ua/index.php?mode=danube\\_about](https://web.archive.org/web/20090830231145/http://www.delta-pilot.ua/index.php?mode=danube_about) (дата звернення: 21.04.24).
8. Maersk відновила доставку вантажів в український порт Рені. *Interfax-Україна*. URL: <https://interfax.com.ua/news/economic/896713.html> (дата звернення: 21.04.24).
9. Між Ізмаїлом і портом Констанца запуснуть фідерні контейнерні перевезення. *Центр транспортних стратегій*. URL: [https://cfts.org.ua/news/2023/02/13/mizh\\_izmalom\\_i\\_portom\\_konstantsa\\_zapustyat\\_fiderni\\_konteynerni\\_perevezennya\\_73749](https://cfts.org.ua/news/2023/02/13/mizh_izmalom_i_portom_konstantsa_zapustyat_fiderni_konteynerni_perevezennya_73749) (дата звернення: 21.04.24).
10. Між Ізмаїлом та Констанцою запустили фідерні контейнерні перевезення (фото). *Центр транспортних стратегій*. URL: [https://cfts.org.ua/news/2023/03/21/mizh\\_izmalom\\_ta\\_konstantsoyu\\_zapustili\\_fiderni\\_konteynerni\\_perevezennya\\_foto\\_74230](https://cfts.org.ua/news/2023/03/21/mizh_izmalom_ta_konstantsoyu_zapustili_fiderni_konteynerni_perevezennya_foto_74230) (дата звернення: 21.04.24).
11. В очікуванні контейнерів: Чи підуть нові вантажі до портів Великої Одеси морським коридором. *Центр транспортних стратегій*. URL: <https://cfts.org.ua/>

- articles/v\_ochikuvanni\_konteyneriv\_chi\_pidut\_novi\_vantazhi\_do\_portiv\_veliko\_odesi\_morskim\_koridorom\_2028/140833 (дата звернення: 21.04.24).
12. Статистика та реєстри – Статистичний експорт та імпорт товарів за 2023 р. *Державна митна служба України*. URL: <https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri> (дата звернення: 21.04.24).
  13. УДП пропонує перенаправити вантажі, які перевозились у країні ЄС вантажівками, на річковий транспорт. *Центр транспортних стратегій*. URL: [https://cfts.org.ua/news/2024/02/22/udp\\_proponue\\_perenapraviti\\_vantazhi\\_yaki\\_perevozilis\\_u\\_krani\\_es\\_vantazhivkami\\_na\\_richkoviy\\_transport\\_78275](https://cfts.org.ua/news/2024/02/22/udp_proponue_perenapraviti_vantazhi_yaki_perevozilis_u_krani_es_vantazhivkami_na_richkoviy_transport_78275) (дата звернення: 21.04.24).

#### REFERENCES

1. Horoshkova L.A., Vasylieva O.O., Maslova O.V., Sumets O.M. (2023) River logistics in the conditions of war and post-war reconstruction of Ukraine: State and prospects [Richkova lohistyka v umovakh viiny ta povoiennoho vidnovlennia Ukrainy: Stan ta perspektyvy] / L.A. Horoshkova et al. *Economic Bulletin of the University. Grigory Skovoroda University in Pereyaslav*. 56. Pp. 113–125.
2. Cargo flows of Ukrainian ports – 2021 [Vantazhopotoky portiv Ukrainy – 2021]. (2022) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Center for Transport Strategies website: [https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki\\_portov\\_ukrainy\\_2021](https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki_portov_ukrainy_2021)
3. Transport industry of Odesa region. Results of 2021 and plans for 2022. [Transportna haluz odeskoi oblasti. Pidsumky 2021 roku ta plany 2022 roku]. (2022) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Department of Maritime Complex, Transport Infrastructure and Communications of Odesa Regional State Administration website: <https://morhoz.od.gov.ua/transportna-galuz-odeskoyi-oblasti-pidsumky-2021-roku/>
4. UN European Economic Commission. (2003) No.TRANS/SC.3/2003/3. Exchange of information on measures aimed at promoting transport by inland waterways. Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from <https://files.pca-cpa.org/pcadocs/ua-ru/04.%20UA%20Rejoinder%20Memorial/01.%20Exhibits/UA-92.pdf>.
5. Bondar S., Panin N. (2000) The Danube Delta Hydrologic Database and Modeling. *Geo-Eco-Marina*. P. 5–6.
6. The passing draft in the Bystre branch has been increased almost twice [Prokhidnu osadku v hyrli Bystre zbilsheno maizhe udvichi] [Electronic resource], (2023) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Ports of Ukraine website: <https://ports.ua/prohidnu-osadku-v-girli-bistre-zbilsheno-majzhe-udvichi/>
7. DNC «Danube-Black Sea». About the project. [HSKh «Dunai – Chorne more». Pro proekt]. (2009) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Delta-pilot website: [https://web.archive.org/web/20090830231145/http://www.delta-pilot.ua/index.php?mode=danube\\_about](https://web.archive.org/web/20090830231145/http://www.delta-pilot.ua/index.php?mode=danube_about)

8. Maersk resumed cargo delivery to the Ukrainian port of Reni. [Maersk vidnovyla dostavku vantazhiv v ukrainskyi port Reni]. (2023) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Interfax-Ukraine website: <https://interfax.com.ua/news/economic/896713.html>
9. Feeder container transportation will be launched between Izmail and the port of Constanta [Mizh Izmailom i portom Konstantsa zapustiat fiderni konteinerni perevezennia] (2023) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Center for Transport Strategies website: [https://cfts.org.ua/news/2023/02/13/mizh\\_izmailom\\_i\\_portom\\_konstantsa\\_zapustyat\\_fiderni\\_konteynerni\\_perevezennya\\_73749](https://cfts.org.ua/news/2023/02/13/mizh_izmailom_i_portom_konstantsa_zapustyat_fiderni_konteynerni_perevezennya_73749)
10. Feeder container transportation was launched between Izmail and Konstanza (photo) [Mizh Izmailom ta Konstantsoiu zapustyly fiderni konteinerni perevezennia (foto)]. (2023) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Center for Transport Strategies website: [https://cfts.org.ua/news/2023/03/21/mizh\\_izmailom\\_ta\\_konstantsoyu\\_zapusti\\_fiderni\\_konteynerni\\_perevezennya\\_foto\\_74230](https://cfts.org.ua/news/2023/03/21/mizh_izmailom_ta_konstantsoyu_zapusti_fiderni_konteynerni_perevezennya_foto_74230)
11. Waiting for containers: Will new cargoes go to the ports of Great Odesa via the sea corridor [V ochikuvanni konteyneriv: Chy pidut novi vantazhi do portiv Velykoi Odesy morskym korydorom]. (2024) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Center for Transport Strategies website: [https://cfts.org.ua/articles/v\\_ochikuvanni\\_konteyneriv\\_chi\\_pidut\\_novi\\_vantazhi\\_do\\_portiv\\_veliko\\_odesi\\_morskim\\_koridorom\\_2028/140833](https://cfts.org.ua/articles/v_ochikuvanni_konteyneriv_chi_pidut_novi_vantazhi_do_portiv_veliko_odesi_morskim_koridorom_2028/140833)
12. Statistics and registers – Statistical export and import of goods for 2023. (2024) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from State Customs Service of Ukraine website: <https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri>
13. UDSC proposes to redirect cargo transported to EU countries by trucks to river transport [UDP proponuie perenapravyty vantazhi, yaki perevozylys u krainy YeS vantazhivkamy, na richkovyi transport] [Electronic resource]. (2024) Retrieved April 21<sup>st</sup>, 2024, from Center for Transport Strategies website: [https://cfts.org.ua/news/2024/02/22/udp\\_proponue\\_perenapraviti\\_vantazhi\\_yaki\\_perevozilis\\_u\\_krani\\_es\\_vantazhivkami\\_na\\_richkoviy\\_transport\\_](https://cfts.org.ua/news/2024/02/22/udp_proponue_perenapraviti_vantazhi_yaki_perevozilis_u_krani_es_vantazhivkami_na_richkoviy_transport_)

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ПІД ЧАС КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Г.О. Черепашук<sup>1</sup>, О.П. Потильчак<sup>2</sup>, Т.В. Бикова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,  
Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,  
Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-0184-5388

### Анотація

**Вступ.** Контейнерні перевезення є одним із найважливіших резервів підвищення продуктивності та зниження собівартості перевезення вантажів для України. Важливим складником реалізації контейнерних перевезень є процес визначення характеристик завантаження контейнера, таких як вага порожнього контейнера, вага бруто, вага нетто і рівномірність розподілу навантаження у контейнері. Більшість контейнерних ваг, які випускаються в Україні та світі, мають такий спільний недолік, як конструктивне виконання у вигляді суцільного силового каркасу. Це ускладнює як експлуатацію, так і метрологічне забезпечення контейнерних ваг. Також до істотних недоліків існуючих контейнерних ваг можна віднести відсутність вбудованої функції контролю рівномірності завантаження контейнера. **Мета.** Створення контейнерних ваг, котрі переважають існуючі за точністю, мобільністю, універсальністю, зручністю експлуатації, мають кращі масогабаритні та вартісні показники, а також розширені функціональні можливості, зокрема функцію оперативного контролю рівномірності завантаження контейнера. **Результати.** Авторами запропоновано тензометричні контейнерні ваги з радіоканалом KB-40P, призначені для статичного зважування вантажних контейнерів, контролю рівномірності завантаження контейнера, поетапного зважування та визначення відхилення центру ваги під час завантаження контейнера, контролю ваги під час приймання контейнера. Ваги KB-40P складаються з чотирьох окремих вагових модулів і вагового терміналу. Визначення відхилення центру ваги контейнера реалізовано відповідно до вимог документів, що регламентують безпеку морського перевезення контейнерів. Метрологічне забезпечення контейнерних ваг KB-40P значно спрощується порівняно з аналогами завдяки їхній модульній структурі. **Висновки.** Використання запропонованих авторами контейнерних ваг дає змогу вдосконалити процес визначення параметрів завантаження контейнера. Головними їхніми перевагами є модульна структура,

передавання даних по радіоканалу, а також наявність функції контролю рівномірності завантаження контейнера.

**Ключові слова:** контейнерні перевезення, контейнерні ваги, тензодатчик, центр ваги, метрологічне забезпечення.

## OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF LOADING CONTAINERS DURING CONTAINER TRANSPORTATION

G.O. Cherepashchuk<sup>1</sup>, O.P. Potylchak<sup>2</sup>, T.V. Bykova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Candidate of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Intelligent Measuring Systems and Quality Engineering,  
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

<sup>2</sup>Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Intelligent Measuring Systems and Quality Engineering,  
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

<sup>3</sup>Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Systems Engineering,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-0184-5388

### Summary

**Introduction.** Container transportation is one of the most important reserves for increasing productivity and reducing the cost of transportation of goods for Ukraine. An important component of the implementation of container transportation is the process of determining the characteristics of loading a container, such as the weight of an empty container, gross weight, net weight and the equability of the load distribution in the container. Most of the container scales produced in Ukraine and the world have such a common drawback as a structural design in the form of a continuous power frame. This complicates both operation and metrological assurance of container scales. Also, the lack of a built-in function to control the uniformity of container loading can be attributed to the significant disadvantages of existing container scales. **Purpose.** The development of container scale, which are superior to the existing ones in terms of accuracy, mobility, versatility, ease of use, have better weight, size and cost characteristics, as well as expanded functionality, in particular, the function of operational control of the equability of container loading. **Results.** The authors proposed KV-40R tensometric container scale with a radio channel, designed for static weighing of cargo containers, control of equability of container loading, step-by-step weighing and determination of the deviation of the center of gravity during container loading, weight control during container acceptance. KV-40R scales consist of four separate weighing modules and a weighing terminal. Determination of the deviation of the center of gravity of the container is implemented in accordance with the requirements of the documents regulating the safety of sea transportation of containers. Metrological assurance of KV-40R container scale is significantly simplified compared to analogues, thanks to their modular structure. **Conclusions.** The use of container scale proposed by the authors allows to improve the process of determining the parameters of container loading. Their

*main advantages are a modular structure, data transmission over a radio channel, as well as the presence of a function to control the equability of container loading.*

**Key words:** *container transportation, container scale, strain gauge, center of gravity, metrological assurance.*

**Вступ.** Протягом останніх десятиліть зростає обсяг контейнерних перевезень по всьому світу. У зв'язку із цим багато країн приділяють підвищену увагу розвитку системи контейнерної доставки вантажів. Для України контейнерні перевезення є одним із найважливіших резервів підвищення продуктивності та зниження собівартості перевезення вантажів [1]. Основними перевагами контейнерних перевезень є:

- збереження вантажів під час транспортування від відправника до одержувача різними видами транспорту. За змішаних сполучень контейнер відіграє роль ланки, що поєднує діяльність різних видів транспорту;
- висока продуктивність вантажно-розвантажувальних робіт;
- зменшення потреби у складських площах та ризик дорожньо-транспортних пригод;
- забезпечення найбільшої екологічної чистоти транспортної продукції, що гарантується контейнерами [2].

Для забезпечення універсальності використовуються контейнери стандартних довжин: 20 футів (6,10 м), 40 футів (12,19 м), 45 футів (13,72 м), 48 футів (14,63 м) та 53 футів (16,15 м). За призначенням контейнери поділяють на універсальні – для перевезення тарно-штучних вантажів і спеціалізовані – для перевезення насипних матеріалів, рідких, рефрижераторних, газоподібних та інших вантажів. За конструкцією контейнери бувають відкриті та закриті, водонепроникні та негерметичні, металеві і з полімерних матеріалів із металевим каркасом [3].

Для кожного типу контейнерів регламентують такі важливі характеристики завантаження, як вага порожнього контейнера (TARE), максимальна вага брутто (MAX WT або MAX GROSS), максимальна допустима вага нетто (NET або PAYLOAD). Окрім того, існують вимоги до дозволеного навантаження на підлогу, стінки та дах контейнера. Також дуже важливою є рівномірність розподілу навантаження: вага вантажу в межах половини довжини контейнера не має перевищувати 60% від ваги нетто [4].

**Постановка проблеми.** З огляду на вищесказане, актуальним є завдання розроблення контейнерних ваг, які б дали змогу вдосконалити процес визначення характеристик завантаження контейнера.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Україні та світі виготовляються контейнерні ваги, за допомогою яких можна визначити необхідні характеристики завантаження контейнера [5–8]. Спільним недоліком більшості з відомих контейнерних ваг є конструктивне виконання у вигляді суцільного силового каркасу. Таке виконання ускладнює як експлуатацію, так і метрологічне забезпечення контейнерних ваг.

Ще одним суттєвим недоліком деяких існуючих контейнерних ваг можна назвати відсутність вбудованої функції контролю рівномірності завантаження контейнера.

**Формулювання цілей статті.** Метою, яку ставили перед собою автори, було створення контейнерних ваг, котрі переважають існуючі за точністю, мобільністю, універсальністю, зручністю експлуатації, мають кращі масогабаритні та вартісні показники, а також розширені функціональні можливості, зокрема функцію оперативного контролю рівномірності завантаження контейнера.

**Виклад основного матеріалу.** Для досягнення сформульованих цілей авторами запропоновано тензометричні контейнерні ваги з радіоканалом KB-40P [9; 10], структурну схему яких зображено на рис. 1.

Ваги KB-40P призначені для:

- статичного зважування вантажних контейнерів;
- контролю рівномірності завантаження контейнера, який реалізовано шляхом визначення відхилення центру ваги вантажного контейнера відносно його осей симетрії;
- поетапного зважування та визначення відхилення центру ваги під час завантаження контейнера;
- контролю ваги під час приймання контейнера.

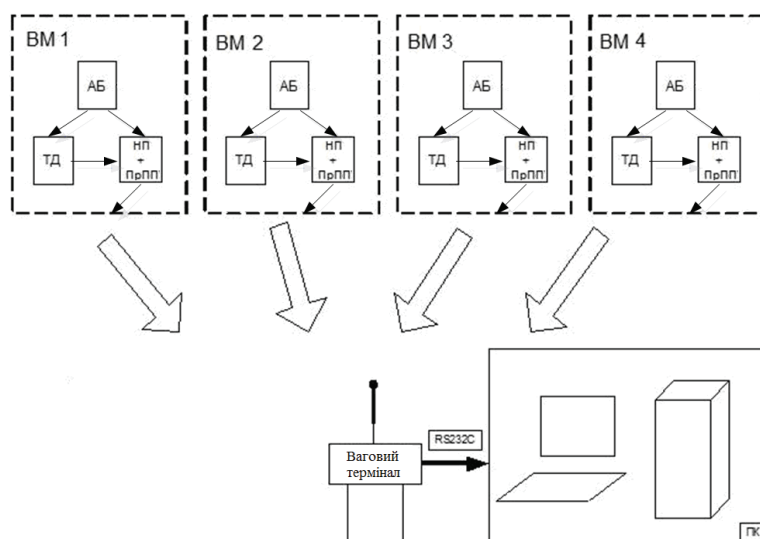


Рис. 1. Структурна схема контейнерних ваг KB-40P

Ваги KB-40P складаються з чотирьох окремих вагових модулів (BM) вантажопідйомністю 10 т та приведеною похибкою не більше  $\pm 0,1\%$  кожен і вагового терміналу (BT). Кожен BM містить тензодатчик (ТД) фірми FLINTEC, нормуючий перетворювач (НП) із приймально-передавальним пристроєм (ПрПП) та аккумуляторний блок (АБ). Зовнішній вигляд вагових модулів і вагового терміналу зображено на рис. 2.

Вагові модулі можуть бути встановлені на будь-якій рівній поверхні, після чого на них розміщують зважуваний контейнер (рис. 3а). Також можливе встановлення вагових модулів на напівпричепі автомобіля (рис. 3б). Завдяки цій можливості

ваги КВ-40Р можуть використовуватися для зважування контейнерів у процесі їх внутрішньоскладських або внутрішньотермінальних переміщень.

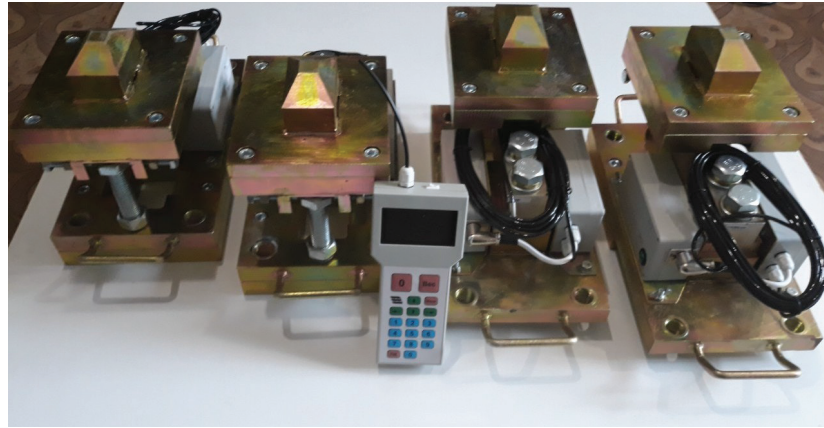


Рис. 2. Зовнішній вигляд вагових модулів і вагового термінала

Принцип роботи кожного вагового модуля оснований на вимірюванні деформації пружного елемента (тензодатчика) під дією ваги вантажу, що зважується, з подальшою обробкою сигналу нормуючим перетворювачем і передачею радіоканалом результатів вимірювань за допомогою приймально-передавального пристрою для опрацювання і знаходження потрібних параметрів у ВТ. Плату НП та ПрПП розміщено в електронному блоці ВМ. На лицьовій панелі електронного блоку розміщено антену та індикатор радіообміну вагового модуля з ваговим терміналом.



а)

б)

Рис. 3. Варіанти встановлення вагових модулів

- У контейнерних вагах КВ-40Р реалізовано такі функції:
- режим статичного зважування вантажного контейнера (робочий режим);
  - режим поканальних вимірювань, тобто визначення складників сили ваги, що діють на кожен ваговий модуль;
  - визначення відхилення центру ваги контейнера відносно осей симетрії;
  - вибірка маси тари;
  - візуальна та звукова сигналізація виходу ваги та положення центру ваги контейнера за встановлені допустимі межі;
  - фіксація перевантажень та запис даних про зважені контейнери в архів;
  - передавання архіву ВТ через стандартний інтерфейс RS-232C у ПК.
- Основні метрологічні та технічні характеристики ваг КВ-40Р наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Характеристики ваг КВ-40Р**

Технічні характеристики	Канали				Ваги
	К1	К2	К3	К4	
Верхня межа зважування ( <i>Max</i> ), кг	10000	10000	10000	10000	40000
Нижня межа зважування ( <i>Min</i> ), кг	400	400	400	400	1000
Ціна повірювальної поділки <i>e</i> , кг	20	20	20	20	100
Ціна поділки дійсна <i>d</i> , кг	20	20	20	20	100
Клас точності згідно з ДСТУ EN 45501: 2017	Середній (III)				
Поріг чутливості, кг	28	28	28	28	140
Межа допустимої абсолютної похибки під час первинної повірки, кг від <i>Min</i> до 500 <i>e</i> від 500 <i>e</i> до <i>Max</i>	±10,0 ±20,0	±10,0 ±20,0	±10,0 ±20,0	±10,0 ±20,0	±50,0 ±100,0
Межа допустимої абсолютної похибки під час експлуатації, кг від <i>Min</i> до 500 <i>e</i> від 500 <i>e</i> до <i>Max</i>	±20,0 ±40,0	±20,0 ±40,0	±20,0 ±40,0	±20,0 ±40,0	±100,0 ±200,0
Похибка встановлення на нуль, не більше	±0,25 <i>e</i>				
Максимальне допустиме навантаження ( <i>Lim</i> ), не більше, кг	12500	12500	12500	12500	50000
Вибірка маси тари	У всьому діапазоні зважування сумарна маса вантажу та тари не повинна перевищувати <i>Max</i>				
Час встановлення показів, не більше, с	2...5				
Час безперервної роботи без підзарядки акумуляторів: - вагових модулів, не менше, год. - вагового терміналу, не менше, год.	50 25				
Дальність дії радіоканалу, не менше, м	100				
Розміри індикатора вагового терміналу, мм	72 × 40				
Тип і роздільна здатність індикатора	Графічний РК-дисплей (128 × 64 пікселів)				

Продовження таблиці 1

Ступінь захисту згідно з ГОСТ 14254-96: - для вагових модулів; - для вагового термінала	IP68 IP54
Габаритні розміри вагового модуля, не більше, мм	530x210x290
Маса вагового модуля, не більше, кг	53

Від того, як розміщено вантаж усередині контейнера, залежить положення його центру ваги (ЦВ), що, своєю чергою, впливає на безпеку контейнерних перевезень. Основними документами, що регламентують безпеку морського перевезення контейнерів, є:

- Міжнародна конвенція щодо безпечних контейнерів (КБК) 1972 р.;
- MSC.1/Circ.1497 IMO / ILO / UNECE Code of practice for packing of cargo transport units (кодекс СТУ);
- MSC.1/Circ.1498 Informative material related to the Code of practice for packing of cargo transport units (кодекс СТУ);
- Правила перевезення вантажів у контейнерах морським транспортом (РД 31.11.2118-96).

У цих документах, а також у правилах класифікаційних товариств установлюються нормативи стосовно положення ЦВ контейнера.

Фактично ЦВ контейнера може не збігатися з його геометричним центром як уздовж, так і поперек контейнера. Поздовжнє відхилення ЦВ значною мірою впливає на збалансованість контейнера, що є критично важливим під час вантажно-розвантажувальних робіт, а також під час перевезення контейнерів автомобільним транспортом.

Щоб запобігти небезпеці перекосу контейнера, ваговий термінал у процесі зважування виконує програму, за допомогою якої обчислюється положення ЦВ контейнера, а також зміщення його в поздовжньому та поперечному напрямках від заданого положення, що знаходиться в геометричному центрі контейнера. У разі перевищення одного з граничних значень відхилень умикається аварійний сигнал.

Поздовжнє положення ЦВ контейнера відносно центру отвору фітинга першого вагового модуля (ВМ1) (рис. 4), прийнятого за початок системи координат, розраховується за формулою:

$$L_1 = \frac{(P_3 + P_4) \cdot L}{G},$$

де  $L$  – відстань між центрами отворів фітингів по довжині контейнера,

$G = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$  – вага контейнера,

$P_1, P_2, P_3, P_4$  – вага, що припадає на кожен ваговий модуль.

Поперечне положення ЦВ контейнера відносно тієї ж точки:

$$B_1 = \frac{(P_2 + P_3) \cdot B}{G},$$

де  $B$  – відстань між центрами отворів фітингів по ширині контейнера.

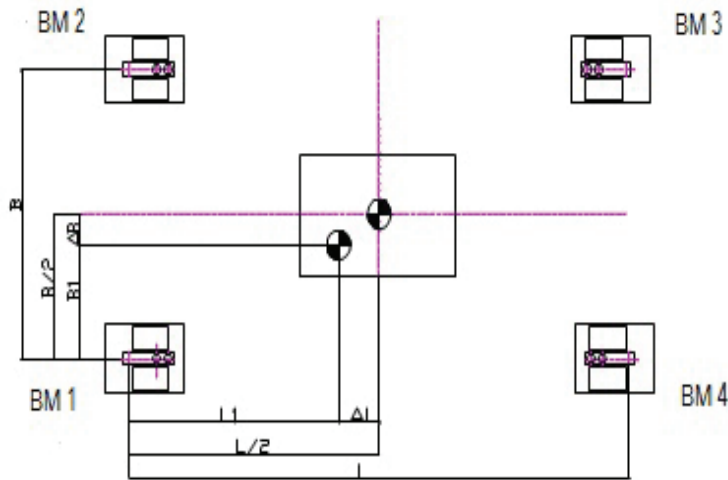


Рис. 4. Схема визначення центру ваги контейнера

Поздовжнє зміщення положення ЦВ контейнера відносно геометричного центру контейнера:

$$\Delta L = \frac{L}{2} - L_1.$$

Максимальне значення поздовжнього зміщення не повинне перевищувати 600 мм для 20-футових контейнерів і 1 200 мм для 40-футових контейнерів згідно з п. 3.1.3.9 РД 31.11.21.18-96.

Поздовжнє центрування (відносне зміщення ЦВ у відсотках від довжини контейнера):

$$\overline{X}_T = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100 \%.$$

Поперечне зміщення положення ЦВ контейнера відносно геометричного центру контейнера:

$$\Delta B = \frac{B}{2} - B_1.$$

Поперечне центрування (відносне зміщення ЦВ у відсотках від ширини контейнера):

$$\overline{Y}_T = \frac{\Delta B}{B} \cdot 100 \%.$$

Максимальні значення поздовжнього і поперечного центрувань не повинні перевищувати 5...10% згідно з розд. 3.1.4 кодексу СТU.

У програмі вагового термінала ваг KB-40P встановлено порогові значення поздовжнього і поперечного центрувань – 10%, за перевищення яких умикається аварійна сигналізація.

Метрологічне забезпечення контейнерних ваг KB-40P значно спрощується порівняно з аналогами завдяки тому, що вагові модулі не зв'язані між собою суцільним силовим каркасом, функції якого виконує сам зважуваний контейнер. Таким чином, калібрування і повірка ваг можуть здійснюватися з використанням зразкової силовимірювальної машини 2-го розряду з верхньою межею вимірювань 10 т.

Контейнерні ваги KB-40P були впроваджені у компанії «ТІС-Контейнерний термінал» (морський порт Південний, Україна).

**Висновки.** Використання контейнерних ваг KB-40P дає змогу вдосконалити процес визначення параметрів завантаження контейнера завдяки таким перевагам, як модульна структура, передавання даних по радіоканалу, а також наявність функції контролю рівномірності завантаження контейнера.

Подальшим розвитком даного напрямку має стати інтеграція контейнерних ваг в інформаційну систему обліку вантажопотоків [11].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Стрелко О.Г., Бердниченко Ю.А., Вознюк В.С., Ковальський І.Л. Аналіз розвитку контейнерних перевезень залізничним транспортом в Україні. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2020. № 2. doi: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-2-39-44>.
2. Андрієнко М.М. Оцінка ефективності контейнерних перевезень на транспорті. *Ефективна економіка*. 2011. № 10. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek\\_2011\\_10\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2011_10_9)
3. Ламанова М.П., Гармаш О.М., Кагоєра Р. Розвиток контейнерних перевезень та їх ефективність. *Проблеми підготовки професійних кадрів із логістики в умовах глобального конкурентного середовища* : збірник доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2022. С. 82–84.
4. Правила завантаження контейнера та кріплення вантажу. URL: <https://containers.ua/uk/articles/pravila-zagruzki-kontejnera/>
5. Контейнерні ваги. URL: <https://atagos.com.ua/product/kontejnerye-vesy/>
6. Ваги контейнерні 15 тонн. URL: <https://abc-dnepr.com/ua/p1364274989-vesy-kontejnerye-tonn.html>
7. Container weighing SOLAS. URL: <https://www.vetek.com/en/container-weighing-solas>
8. Container Scale. URL: [https://www.mt.com/nz/en/home/products/Transport\\_and\\_Logistics\\_Solutions/container-scales-au/container-scales.html](https://www.mt.com/nz/en/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/container-scales-au/container-scales.html)
9. Контейнерні ваги KB-40P. URL: <https://inburo.com.ua/product/kontejnerye-vagi-kv-40r/>

10. Черепашук Г.О., Потильчак О.П., Бикова Т.В. Застосування багатомодульних тензометричних ваг із радіоканалом під час завантаження контейнерів. *Innovations in Scientific Research: World Experience and Realities: Collection of abstracts XVIII International scientific and practical conference* (Riga, Latvia, April 10–12, 2024). International Scientific Unity, 2024. P. 218–220.
11. Копитчук М.Б. Теоретичні основи побудови і засоби практичної реалізації інтегрованих інформаційних систем обліку вантажопотоків : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.06. Одеса, 2003. 37 с.

### REFERENCES

1. Strelko, O.G., Berdnychenko, Yu.A., Vozniuk, V.S., & Koval's'kyi I.L. (2020). Analysis of the development of container transportation by rail in Ukraine [Analiz rozvytku konteinerlykh perevezen zaliznychnym transportom v Ukraini]. *Scientific works of Vinnytsia National Technical University*, 2. doi: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-2-39-44>.
2. Andriienko, M.M. (2011). Evaluation of the efficiency of container transportation in transport [Otsinka efektyvnosti konteinerlykh perevezen na transporti]. *Efficient economy*, 10. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek\\_2011\\_10\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2011_10_9)
3. Pamanova, M.P., Garmash, O.M., & Kagoiera, P. (2022). Development of container transportation and its efficiency [Rozvytok konteinerlykh perevezen ta yikh efektyvnist]. *Problems of training professional personnel in logistics in the conditions of a global competitive environment: Collection of reports of the 19th International Scientific and Practical Conference*. Kyiv, 82–84.
4. Rules for loading the container and securing the cargo [Pravyla zavantazhennia konteineru ta kriplennia vantazhu]. Retrieved from <https://containers.ua/uk/articles/pravila-zagruzki-kontejnera/>
5. Container scales [Konteinerni vahy]. Retrieved from [https://atagos.com.ua/product/kontejnernye\\_vesy/](https://atagos.com.ua/product/kontejnernye_vesy/)
6. Container scale on 15 tons [Vahy konteineru 15 tonn]. Retrieved from <https://abc-dnepr.com/ua/p1364274989-vesy-kontejnernye-tonn.html>
7. Container weighing SOLAS. Retrieved from <https://www.vetek.com/en/container-weighing-solas>
8. Container Scale. Retrieved from [https://www.mt.com/nz/en/home/products/Transport\\_and\\_Logistics\\_Solutions/container-scales-au/container-scales.html](https://www.mt.com/nz/en/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/container-scales-au/container-scales.html)
9. Container Scale KV-40R [Konteinerni vahy KV-40R]. Retrieved from <https://inburo.com.ua/product/kontejnerni-vagi-kv-40r/>
10. Cherepashchuk, G.O., Potylchak, O.P., & Bykova, T.V. (2024). Application of multi-module tensometric scale with a radio channel during loading of containers [Zastosuvannia bahatomodulnykh tenzometrychnykh vah z radiokanalom pid chas zavantazhennia konteineriv]. *Innovations in Scientific Research: World Experience and Realities: Collection*

of abstracts XVIII International scientific and practical conference. Riga, 218–220.

11. Kopytchuk, M.B. (2003). Theoretical foundations of construction and means of practical implementation of integrated information systems for accounting of cargo flows [Teoretychni osnovy pobudovy i zasoby praktychnoi realizatsii intehrovanykh informatsiinykh system obliku vantazhopotokiv]. *Extended abstract of doctoral dissertation*. Odesa.

## АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ СХЕМ ДОСТАВКИ УКРАЇНСЬКИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ

Д.С. Шапошніков<sup>1</sup>, Л.М. Белаковський<sup>2</sup>, Л.О. Заборський<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.ю.н., підприємець

ORCID ID: 0009-0009-4298-7417

<sup>2</sup>к.е.н., фінансовий консультант

ORCID ID: 0009-0001-6881-3118

<sup>3</sup>к.т.н. менеджер компанії CMA CGM Shipping Agencies Ukraine

ORCID ID: 0009-0009-7923-3475

### Анотація

Зовнішні та внутрішні чинники, які останнім часом мають кардинальні зміни для України, впливають на структуру внутрішньої та зовнішньої торгівлі. Як відомо, витрати на перевезення становлять вагомий частину у витратах, особливо за перевезень на дальні відстані, тому схеми доставки товарів повинні бути ретельно обґрунтованими. В умовах невизначеності необхідно швидко реагувати на зміни, тому потрібно мати альтернативні обґрунтовані схеми доставки. Україна має величезний потенціал у зовнішній торгівлі і донедавна займала провідне місце на ринку перевезень продукції агропромислового комплексу, залізної руди, чорних металів, вугілля та вантажів у контейнерах. Перевезення в Україні завдяки географічному положенню можливо здійснювати в декількох напрямках. У довоєнний період основними воротами до українських вантажів були порти «Великої Одеси», менший обсяг ішов наземним транспортом через митні кордони з Молдовою, Польщею, Румунією, Словаччиною та Угорщиною. Сьогодні роль морських портів зменшилася. На митних кордонах також виникають перешкоди (затримки та блокади, наприкладі Польщі). Фахівці розробляють схеми через українські дунайські порти та вверх по річці, а також на контейнерні порти Європи (Констанца, Щецин, Гдиня та Гданськ). Проте кожна з них підлягає обґрунтуванню з економічного, технічного та організаційного погляду, а деякі потребують додаткових інвестицій. У роботі розглянуто основні чинники, які впливають на вибір схеми доставки, переваги та недоліки застосування різних видів транспорту як окремо, так і сумісно. Зроблено пропозицію щодо необхідності розвитку логістичних центрів на західних кордонах, наприклад у Львівській області, та висновок щодо напрямку державних та приватних інвестицій у річкову портову інфраструктуру і флот задля створення необхідних конкурентоспроможних умов перевезень як на даний момент, так і на перспективу.

**Ключові слова:** схеми доставки, вантажопотік, транспорт, Дунай, обґрунтування, логістичні центри.

ANALYSIS OF UKRAINIAN FREIGHT FLOWS  
ALTERNATIVE DELIVERY SCHEMES

D.S. Shaposhnikov<sup>1</sup>, L.M. Belakovskiy<sup>2</sup>, L.O. Zaborskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., entrepreneur

ORCID ID: 0009-0009-4298-7417

<sup>2</sup> Ph.D, Financial consultant

ORCID ID: 0009-0001-6881-3118

<sup>3</sup> Ph.D, manager in CMA CGM Shipping Agencies Ukraine

ORCID ID: 0009-0009-7923-3475

**Summary**

*External and internal factors, which are still looming for cardinal changes for Ukraine, influence the structure of internal and external trade. As you can see, the cost of transportation adds up to a large part of the cost, especially when transporting to long distances, so the goods delivery schemes must be strictly grounded. In the minds of uncertainty, it is necessary to react quickly to changes, which requires alternative delivery schemes. Ukraine has great potential in foreign trade and has recently occupied a leading position in the market for the transportation of agro-industrial products, ferrous ores, ferrous metals, coal and vanishes in containers. Transported in Ukraine, depending on the geographical location, can be carried out in several directions. In the pre-war period, the main gates to the Ukrainian vantages were the ports of “Great Odessa”, with a smaller number of routes by land transport through the border cordons with Moldova, Poland, Romania, Slovakia and Ugorshchina. Nowadays, the role of seaports has changed. At the military cordons there are also pereshkodi (shutdowns and blockades, in Poland). The companies are developing schemes through the Ukrainian Danube ports and up the river, as well as at the container ports of Europe (Constanza, Szczecin, Gdinia and Gdansk). The skin of them requires priming from an economical, technical and organizational point of view, and these activities will require additional investments. The paper examines the main factors that influence the choice of a delivery scheme, the advantages and disadvantages of using different types of transport both separately and in combination. A proposal was made regarding the need to develop logistics centers on the western borders, for example in the Lviv region, and a conclusion was made regarding the direction of public and private investments in river port infrastructure and the fleet in order to create the necessary competitive conditions for transportation both at the moment and in the future.*

**Key words:** *delivery schemes, cargo flow, transport, Danube, lining, logistics centers.*

**Вступ.** Торговельними партнерами України є велика кількість країн у всіх напрямках світу. За даними [1; 2], із понад 170 країн світу найбільшими торговельними партнерами України в експорті та імпорті останнім часом були Болгарія, Італія, Китай, Литва, Нідерланди, Німеччина, Польща, Румунія, США, Туреччина, Угорщина, Франція, Чехія, Швейцарія.

Ще донедавна Україна входила до списку провідних світових експортерів продукції агропромислового, металургійного та хімічного комплексів. До 2022 р. п'ятірку основних видів вантажів становили зернові, залізородна сировина, чорні метали, контейнери, вугілля. Проте ситуація в країні внесла зміни й у структуру

зовнішньої торгівлі. За даними [1], за 2023 р. та I квартал 2024 р. в експорті основу становили чорні метали, жири та олії, зернові, електричні машини, а в імпорті – засоби наземного транспорту (за винятком залізничного), котли, машини, палива мінеральні, нафта і продукти її перегонки. При цьому через українські порти переважно йшли зерно, нафта, руда, чорні метали, будівельні матеріали та вантажі у контейнерах [3]. У цілому, за даними за 2020–2023 рр., спостерігається суттєве зменшення обсягів зовнішньої торгівлі товарами з країнами світу, а також зростання ролі у вантажообробці українських дунайських портів.

Навіть контейнерні перевезення, які набули масового поширення в системі міжнародної торгівлі (у тому числі й у засвоєнні українських вантажопотоків) як найбільш вигідний, зручний та надійний спосіб доставки вантажів, сьогодні також зазнають значних складнощів через відсутність заходу в українські порти, що спеціалізуються на переробці контейнерів, а також відсутність гарантій безпечного заходу судна та знаходження контейнерів на території України.

Через неможливість заходу в порти «Великої Одеси» перевізникам довелося розробляти нові схеми доставки вантажів, які мають забезпечувати не лише виконання торговельних контрактів, а й прибуток від перевезень.

**Постановка проблеми.** Етапу практичної реалізації процесу доставки вантажів передують теоретичне обґрунтування схеми доставки будь-якого вантажу, яке зазвичай здійснюється в такій послідовності:

1. Визначити переваги та недоліки використання видів транспорту на напрямку.
2. Проаналізувати можливості транспортних підприємств здійснювати певні перевезення. Для цього необхідно проробити інформацію щодо складу наявних транспортних засобів (вид, тип, вантажопідйомність і місткість, вартість перевезення, дата звільнення від попередніх зобов'язань та ін.), що можуть здійснювати перевезення.
3. Визначитися з пунктами відправлення, призначення, перевантаження та побудувати можливі схеми доставки.
4. Розрахувати час доставки вантажів та транспортних витрат із доставки одиниці вантажу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Актуальність теми підтверджується великою кількістю досліджень за даним напрямом [4–12]. Дослідження виконуються як науковцями, так і компаніями-перевізниками та аналітичними центрами у різних сферах виробничої діяльності. Так, наприклад, Центр транспортних стратегій представляє аналіз сьогоденного стану перевезень та перспективи розвитку. Науковці також пропонують свої наукові обґрунтування розвитку перевезень.

**Виклад основного матеріалу.** Для реалізації першого завдання з визначення переваг та недоліків використання видів транспорту на напрямку проаналізуємо можливі види транспорту для залучення до перевезень з України та в зворотному напрямку.

До основних портів, через які відбувається на даний момент транshipment українських вантажопотоків, а також перевезення у європейські країни, доставка здійснюється автомобільним, залізничним та внутрішнім водним транспортом.

Україна має спільні митні кордони з Молдовою, Польщею, Румунією, Словаччиною та Угорщиною. Усього, за інформацією [13] на 2019 р., на державному

кордоні України функціонувало 230 пунктів пропуску та пунктів контролю за видом сполучення, через які проходили основні маршрути доставки: 100 – автомобільних; 29 – повітряних; 28 – морських; 2 – поромних; 10 – річкових; 59 – залізничних; 2 – пішохідних.

Із них функціонують пункти пропуску:

- на українсько-польському кордоні – 8 автомобільних та 6 залізничних;
- на українсько-словацькому кордоні – 2 автомобільних та 2 залізничних;
- на українсько-угорському кордоні – 5 автомобільних та 2 залізничних;
- на українсько-румунському кордоні – 3 автомобільних, 3 річкових, 1 морський та 4 залізничних;
- на українсько-молдовському кордоні – 41 автомобільний, 3 річкових, 2 поромних та 8 залізничних.

За даними [14], у грудні 2023 р. Україна експортувала 71,4% агропродукції через порти Одеси, 14,3% – через порти Дунаю і 14,3% – через західні кордони. Експортно-імпортні перевезення авто- і залізничним транспортом є традиційним для країни. Частка участі українських дунайських портів в експорті збільшилася в період блокади портів Одеси. Переважно це агропродукція, яка йшла через порти Ізмаїл, Рені та Усть-Дунайськ. Нині відсоток перевезень через українські річкові порти зменшився і становить близько 10% від загального обсягу експорту водним транспортом.

Таким чином, за умови відсутності або обмеження прямого виходу до морських портів Україна має єдино можливі водні сполучення через територію Румунії та Молдови й українські річкові порти. Для внутрішніх перевезень, а також у забезпеченні зовнішньоторговельних зв'язків європейських країн в останні десятиліття значно зросла роль внутрішнього водного транспорту.

По річці Дунай Україна має можливість вести торговельні відносини з такими країнами, як Німеччина, Австрія, Словаччина, Угорщина, Хорватія, Сербія, Болгарія, Румунія, Молдова.

Згідно з Європейською угодою про найважливіші внутрішні водні шляхи (ВВШ) міжнародного значення, до портів категорії «Е» на Дунаї і Кілійському гирлі відносяться Усть-Дунайськ, Кілія, Ізмаїл, Рені. До класифікації європейських ВВШ річки Дніпро та Дунай відносяться до Vb та VII класів водних шляхів відповідно, що надає можливість розвивати річкове судноплавство міжнародного значення.

Під час побудови схем доставки вантажів необхідно враховувати переваги та недоліки кожного виду транспорту та особливості їх використання в кожному регіоні. Знаючи взаємопов'язані між собою економічні, технічні й експлуатаційні переваги та недоліки кожного з видів транспорту, можливо завчасно оцінювати їхню роль під час складання схем доставки вантажу [15–19].

Під час оцінювання ролі видів транспорту використовуються шість основних чинників (час доставки, собівартість перевезення, надійність дотримання графіку доставки, здатність перевезення різних вантажів, знатність доставки вантажу в будь-яку точку простору, частота відправлень), за якими здійснюється приблизна оцінка видів транспорту за ступенем відповідності умовам перевезення, причому перші три мають найбільше значення під час їх відбору. Проте остаточний вибір

робиться на підставі економічних розрахунків шляхом аналізу економічних показників, пов'язаних із транспортуванням.

Під час обґрунтування схем доставки вантажів, окрім переваг видів транспорту як окремих перевізників, із розвитком комбінованих перевезень (мультимодальних перевезень) доцільно розглянути ефективність від сумісного їх використання. До переваг віднесемо такі чинники, як, наприклад, розвантаження автодоріг, швидкість доставки і можливість доставки вантажів «від двері до двері», економія витрат на перевезення, екологічна безпека, вирівнювання навантаження різних видів транспорту. При цьому відзначаються й недоліки, такі як ускладнення процесу узгодження роботи транспорту, можливі затримки в доставці вантажів та збільшення пробігу порожніх вантажних засобів.

Через геоструктуру (звивість, глибини, обмеження надводної висоти судна та ін.) європейських річок, використання річкового флоту не завжди є доцільним. Часто автомобільне та залізничне сполучення, що зв'язує Україну з Європою, заощаджує транзитний час доставки порівняно з водним. Таким чином, більш висока собівартість перевезення наземним транспортом порівняно з водним компенсується можливістю скорочення строку постачань та можливістю доставки «від двері до двері». До залучення до схем доставки авіаційного транспорту через європейські авіапорти вдаються в особливих випадках через високу вартість доставки. Ця обставина впливає на вибір маршруту доставки з урахуванням логістичних принципів постачань.

Окрім того, ще до 2020 р. інтеграцію України у європейські та міжнародні транспортні зв'язки стримувала низка проблем, які умовно можна поділити на технічні та організаційні.

До основних проблем, які носять технічний характер, відносять:

- 1) різноколіїність у Євро-Азіатському регіоні;
- 2) застарілу інфраструктуру залізничних і автомобільних доріг та внутрішніх водних шляхів;
- 3) обмежену кількість рухомого складу під перевезення контейнерів (залізничних платформ, автотягачів та причепів);
- 4) обмежену пропускну спроможність залізничних і автомобільних доріг, портів та прилеглих до них територій (особливо це відчувалося в період початку маркетингового року для зернових);
- 5) обмежену місткість портових складських приміщень.

Для вирішення першого завдання деякі країни оснащують свої перевантажувальні термінали відгалуженнями широкої колії. Другу проблему вирішують шляхом будівництва й реконструкції залізничних і автомобільних доріг згідно з національними і міжнародними проектами. Рішенням третьої є залучення інвестицій у розвиток підприємств та транспортної галузі у цілому, зокрема через лізинг, будову «сухих портів» та місць TIR-стоянок, реконструкцію автомобільних доріг та підвищення їх класу.

У цілому залежно від пропускну спроможності, кількості смуг руху, ширини смуг, ширини проїзної частини, ширини земляного полотна, ширини смуги водовідводу, поздовжнього ухилу дороги й радіуса закруглень дороги автодороги розділяють на п'ять категорій. Основні їхні характеристики представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри автомобільних доріг

Клас автомобільних доріг	Автомагістраль	Швидкісна дорога	Дорога звичайного типу (нешвидкісна дорога )			
			2	3	4	5
Категорія	1a	16	2	3	4	5
Фактична інтенсивність руху, (авт/доб)	>7000	>7000	>3000 -7000	>1000 -3000	>200 -1000	<200
Розрахункова швидкість руху, км/година	150	140	120	100	80	60

Пропускна спроможність окремих автодоріг України, як бачимо, розрізняється. Як висновок: якщо розглядати будівництво в Україні автомагістралей європейського рівня на перспективу, можна сказати, що це дасть змогу, передусім, збільшити швидкість доставки вантажів, скоротити витрати пального, гроші на ремонт рухомого складу і самих автодоріг, а також на експлуатаційні матеріали. Це вигідно, насамперед, українським перевізникам та їх замовникам. Експерти відзначають, що навіть якщо проїзд по цих дорогах буде платним, економія під час перевезень може збільшитися на 20–30%.

Вихід України до водного простору Чорного моря через річку Дунай можливий трьома основними гирлами: Кілійським (північним), Георгієвським (південним) і розташованим між ними Сулінським гирлом. Георгієвське і Кілійське гирла мають свої другорядні гирла, зокрема від останнього відходить Очаківське гирло, що зв'язує з Дунаєм порт Усть-Дунайськ. Проте основним українським судноплавним каналом є канал рукавом Бистрий – Чорне море, на якому гарантована осадка становить 6,5 м.

Вихід із Нижнього Дунаю у Чорне море можливий і через румунську територію (рис. 1).

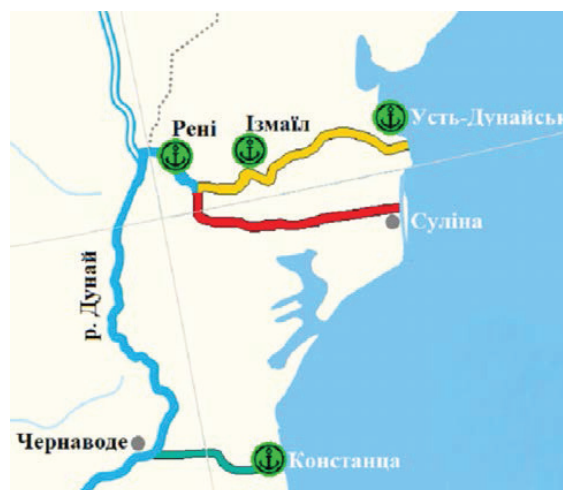


Рис. 1. Основні дунайські судноплавні шляхи

Таким чином, нині існує три судноплавні шляхи на річці Дунаї, через які можливо здійснювати вихід із річкових портів України (Рені, Кілія та Ізмаїл) у Чорне море через:

1. Український глибоководний судновий хід (ГСХ) «Дунай – Чорне море», що проходить через гирло Бистре (Новостамбульське). ГСХ «Дунай – Чорне море» дає змогу пересування суден осадкою до 6,5 м.

2. Сулинське гирло – румунський канал, що знаходиться у дельті Дунаю та виходить до Чорного моря у районі порту Суліна. Глибини досягають 7–9 м.

3. Румунський канал Констанца – Чорновода. Канал має глибину 7 м та дає змогу проходження суден осадкою до 5 м та має переваги перед останніми, оскільки має вихід поруч із портом Констанца та найменшу відстань між портами Констанца та Рені.

Окрім виходу в Чорне море, українські річкові порти Дунаю мають перспективи розвитку в перевезеннях через засвоєння вантажопотоків, що прямують до країн уверх по Дунаю (рис. 2) [20; 21].



Рис. 2. Шлях Констанца – Роттердам через Дунай та Рейн [12]

Незважаючи на переваги водного транспорту, існують організаційні перешкоди розвитку цих перевезень, зокрема обмежена кількість судноводіїв, лоцманів для провідки каналами та акваторіями портів Дунайського регіону.

Вузьким місцем у схемах доставки вантажів з Одеського регіону є автомобільно-залізничний міст через Дністровський лиман у районі Затоки, який має стратегічне значення, оскільки через нього проходить дорога з Румунії, зокрема від порту Констанца. У разі руйнування мосту найкоротшим шляхом сушею з Одеси буде шлях через територію Молдови.

Сьогодні ситуація на кордонах України з ЄС не завжди стабільна. Через пошкодження авто- та залізничного мосту через Дністровський лиман у районі Затоки, пошкодження й окупацію стратегічних об'єктів аграрної інфраструктури, ураження поромної переправи, а потім ще й під час перекриття автомобільних та залізничних кордонних пропускних пунктів із Польщею виникла необхідність у пошуку інших шляхів доставки вантажів до країн ЄС та через його територію до основних європейських контейнерних портів.

Можна запропонували такі варіанти змін у схемах доставки, деякі з яких уже експериментально опробувані з економічного та технічного боків передовими компаніями-перевізниками для вантажопотоків:

Із Південного регіону України:

1. Із переміщенням вантажів з Ізмаїлу та Рені у контейнерах та насипом уверх до портів Середнього та Верхнього Дунаю річковим флотом, у т. ч. баржами.

2. Із доставкою вантажів більшими баржами з Ізмаїлу, Рені та Усть-Дунайська до морського порту Констанца з подальшим експортом у будь-яку точку світу, а також у зворотному напрямку з можливим застосуванням технології рейдового перевантаження.

Із Північного регіону України:

1. Створення нових логістичних центрів у західних областях.

У цілому:

1. Створення «сухих портів» на граничних прикордонних областях.

За даними [2], основними областями-експортерами у 2022 р. були Київська (27,1%), Дніпропетровська (12%), Львівська (7,2%), Одеська (5,6%) та Запорізька (5,5%). Причому спостерігається зменшення у Південно-Східному регіоні та збільшення – у Північно-Західному та в Одеській області (рис. 3).

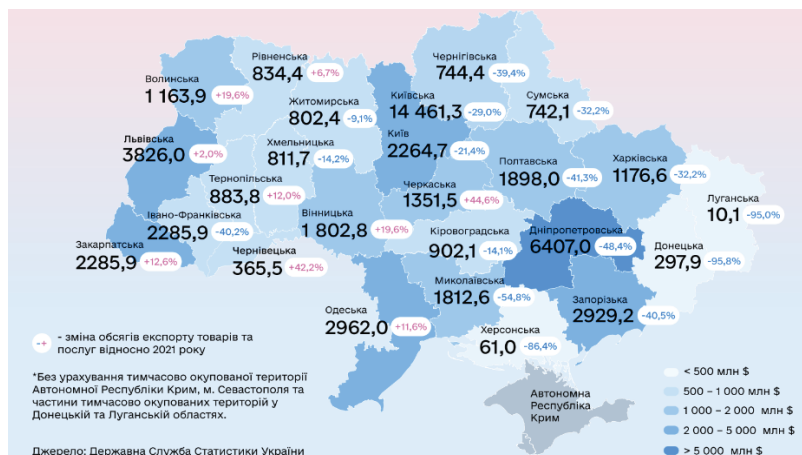


Рис. 3. Експорт України за регіонами у 2022 р. [2]

Донедавна основним індустріальним регіоном України була Наддніпрянина. Центрами металургії були Кривий Ріг, Запоріжжя, Дніпро та Маріуполь, найбільшими центрами машинобудування – Харків та Кременчук. Також великими промисловими районами виступали Полтава, Львів, Кам'янськ, Нікополь, Миколаїв, Краматорськ, Вінниця та Черкаси.

На даний момент Україна майже втратила свій експортний потенціал. Вантажопотоки базуються переважно на зернових вантажах в експорті та на імпорتنих вантажах.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** За перенаправлення вантажопотоків із портів «Великої Одеси» виникла потреба в пошуках нових схем

доставки вантажів для реалізації торговельних контрактів та задоволення потреб українських споживачів. За перевезення вантажів у контейнерах, які переважно йдуть через порти Констанца, Щецин, Гдиня та Гданськ, можливим варіантом є зменшення собівартості перевезень за рахунок обґрунтування місця розташування «сухих портів» та логістичних центрів на перетині основних сухопутних автомобільних та залізничних шляхів. Вибір схеми доставки вантажів залежить не лише від його виду і напрямку перевезень, а й від організаційних і технічних обмежень та переваг.

Аналіз транспортної інфраструктури доводить наявність альтернативних схем перевезення вантажів, які мають потенціал, проте потребують державних та приватних інвестицій:

I. У річкову портову інфраструктуру і флот:

- у розвиток терміналів річкових портів Ізмаїл, Рені, Усть-Дунайськ із переробки вантажів, передусім навалювальних і контейнерів;
- у поповнення флоту суднами, у т. ч. баржевими складами річкового та змішаного плавання;
- у поглиблення українських дунайських судноплавних каналів;
- в автомобільні та залізничні під'їзні шляхи.

II. У розвиток «сухих портів» та логістичних центрів на західних кордонах, наприклад у Львівській області.

Кожен напрям інвестицій підлягає ретельному обґрунтуванню.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Географічна структура зовнішньої торгівлі товарами в I кварталі 2024 року. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 25.05.2024).
2. Експорт України у 2022 році: головні тенденції, сектори та регіони. URL: [https://export.gov.ua/news/4570-eksport\\_ukraini\\_u\\_2022\\_rotsi\\_golovni\\_tendentsii\\_sektori\\_ta\\_regioni](https://export.gov.ua/news/4570-eksport_ukraini_u_2022_rotsi_golovni_tendentsii_sektori_ta_regioni) (дата звернення 25.05.2024).
3. Портова галузь України 2023: другий рік роботи в умовах війни. URL: [https://cfts.org.ua/infographics/portova\\_galuz\\_ukrani\\_2023\\_drugiy\\_rik\\_roboti\\_v\\_umovakh\\_viyuni](https://cfts.org.ua/infographics/portova_galuz_ukrani_2023_drugiy_rik_roboti_v_umovakh_viyuni) (дата звернення 25.05.2024).
4. Горошкова Л.А., Васильєва О.О., Маслова О.В., Сумець О.М. Річкова логістика в умовах війни та повоєнного відновлення України: стан та перспективи. *Економічний вісник університету*. 2023. № 56. С. 113–125. doi: 10.31470/2306-546X-2023-56-113-125.
5. Павловська Л.А., Кириллова О.В., Коробкова О.М., Шпак Н.Г. Особливості моделювання інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів у сучасних умовах. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2023. № 1. С. 173–174. doi:10.32782/2663-5941/2023.2.2/29.
6. Коробкова О.М. Логістична діяльність підприємств в умовах воєнного стану. *Actual problems of modern science*. 2023. № 4. С. 457–459.
7. Огренич Ю.О., Діброва В.О. Логістична діяльність підприємств в умовах невизначеності: особливості, проблеми, напрямки вдосконалення.

- Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. 2023. № 5. С. 20–28. doi: 10.32782/2413-2675/2023-55-3.*
8. Шпак Н.Г., Павловська Л.А., Коробкова О.М. Дослідження митно-транспортних операцій при експорті зерна з України. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2023. Т. 34(73). С. 238–242. doi:10.32782/2663-5941/2023.2.2/39.
  9. Пешко М.І., Завербний А.С. Проблеми та перспективи зміни ланцюгів поставок із метою мінімізування втрат під час війни. *Економіка та суспільство*. 2022. № 44. С. 12–24. doi:10.32782/2524-0072/2022-44-5.
  10. Озарко К.С., Челомбитько В.В. Особливості логістичних процесів у воєнний період: проблеми та перспективи розвитку. *Економічний вісник Донбасу*. 2022. № 2(68). С. 74–78.
  11. Кічка О.І., Кічкін О.В. Автоматизація побудови, порівняння та вибору маршрутів та схем доставки в системі мультимодальних перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022. № 18(2). С. 73–79. doi:10.31649/2413-4503-2023-18-2-73-79.
  12. Завербний А.С., Дзуліт З.П., Вуєк Х.І. Особливості формування логістичних ланцюгів в умовах війни та післявоєнний період. *Економіка та суспільство*. 2022. № 43. doi:10.32782/2524-0072/2022-43-54.
  13. Перелік пунктів пропуску. URL: <https://dpsu.gov.ua/ua/perelik-punktiv-prorusku> (дата звернення: 25.05.2024).
  14. Дунай може стати планом «Б», якщо кордон з Польщею повністю закрито для торгівлі. URL: <https://ru.bessarabiainform.com/2024/03/dunay-mozhe-staty-planom-b-yakscho-kordon-iz-polschoyu-povnistyu-zakryetsya-dlya-torhivli/> (дата звернення: 25.05.2024).
  15. Транспортна екологія : навчальний посібник / за ред. С.В. Бойченка. Харків : НАУ, 2017. 507 с.
  16. Соловійова О.О. Загальний курс транспорту. Харків : НАУ, 2019. 244 с.
  17. Яцківський Л.Ю. Загальний курс транспорту. Артесте. 2007. 504 с.
  18. Як планувати постачання, щоб встигнути до сезону? URL: <https://m3cargo.com/ua/blog/yak-planuvati-postachannya-shchob-vstignuti-do-sezonu/> (дата звернення: 25.05.2024).
  19. Мультимодальні перевезення з Китаю в Україну. URL: <https://ptl-group.com.ua/content/multimodalnye-perevozki-iz-kitaya-v-ukrainu> (дата звернення: 25.05.2024).
  20. Напрями підвищення ефективності роботи портів Дунайського регіону. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/napryamy-pidvyshchennya-efektyvnosti-roboty-portiv-dunayskoho-rehionu> (дата звернення: 25.05.2024).
  21. Шлях Констанца – Роттердам через Дунай та Рейн. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%83%D0%BD%D0%B0%D0%B9#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Constanta-Rotterdam\\_DE.PNG](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%83%D0%BD%D0%B0%D0%B9#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Constanta-Rotterdam_DE.PNG) (дата звернення: 25.05.2024).

### REFERENCES

1. Geographical structure of foreign trade in goods in the 1st quarter of 2024 [Heohrafichna struktura zovnishn'oyi torhivli tovaramy v I kvartali 2024 roku] URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> [In Ukrainian]
2. Exports of Ukraine in 2022: main trends, sectors and regions [Eksport Ukrayiny u 2022 rotsi: holovni tendentsiyi, sektory ta rehiony] URL: [https://export.gov.ua/news/4570-eksport\\_ukraini\\_u\\_2022\\_rotsi\\_golovni\\_tendentsii\\_sektori\\_ta\\_rehioni](https://export.gov.ua/news/4570-eksport_ukraini_u_2022_rotsi_golovni_tendentsii_sektori_ta_rehioni) [In Ukrainian]
3. The port industry of Ukraine 2023: the second year of work in war conditions [Portova haluz' Ukrayiny 2023: druhyy rik roboty v umovakh viyny] URL: [https://cfts.org.ua/infographics/portova\\_galuz\\_ukrains\\_2023\\_druhyy\\_rik\\_roboti\\_v\\_umovakh\\_viyni](https://cfts.org.ua/infographics/portova_galuz_ukrains_2023_druhyy_rik_roboti_v_umovakh_viyni) [In Ukrainian]
4. Horoshkova L.A., Vasylyeva O.O., Maslova O.V., Sumets' O.M. (2023) River logistics in the conditions of war and post-war reconstruction of Ukraine: State and prospects Economic Bulletin of the University. Grigory Skovoroda University in Pereiaslav [Richkova lohistyka v umovakh viyny ta povoyennoho vidnovlennya Ukrayiny: Stan ta perspektyvy] 56, 113–125. doi:10.31470/2306-546X-2023-56-113-125 [In Ukrainian]
5. Pavlovs'ka L.A., Kyrylova O.V., Korobkova O.M., Shpak N.H. (2023) Features of modeling the infrastructural framework of cargo delivery schemes in modern conditions. Academic notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series: Technical sciences. [Osoblyvosti modelyuvannya infrastruktornoho karkasu skhem dostavky vantazhiv u suchasnykh umovakh: 2023 rik] 1, 173–174. doi:10.32782/2663-5941/2023.2.2/29 [In Ukrainian]
6. Korobkova O.M. (2023) Logistic activity of enterprises under martial law. Actual problems of modern science [Lohistychna diyal'nist' pidpryyemstv v umovakh voyennoho stanu] 4, 457–459. [In Ukrainian]
7. Ohrenych Yu.O., Dibrova V.O. (2022) Logistic activity of enterprises in conditions of uncertainty: features, problems, areas of improvement. Scientific Bulletin of the International Humanitarian University [Lohistychna diyal'nist' pidpryyemstv v umovakh nevyznachennosti: osoblyvosti, problemy, napryamky vdoskonalennya] doi:10.32782/2413-2675/2023-55-3 [In Ukrainian]
8. Shpak N.H., Pavlovs'ka L.A., Korobkova O.M. (2023) Study of customs and transport operations during the export of grain from Ukraine. Academic notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series: Technical sciences [Doslidzhennya mytno-transportnykh operatsiy pry eksporti zerna z Ukrayiny], 34 (73), 238–242. doi:10.32782/2663-5941/2023.2.2/39 [In Ukrainian]
9. Peshko, M.I., Zaverbnyy, A.S. (2022) Challenges and prospects for changing supply chains to minimize wartime losses. Economy and society [Problemy ta perspektyvy zminy lantsyuhiv postavok z metoyu minimizuvannya vtrat pid chas viyny], (44), doi: 10.32782/2524-0072/2022-44-5 [In Ukrainian]

10. Ozarko K.S., Chelombyt'ko V.V. (2022) Peculiarities of logistics processes during the war period: problems and development prospects. *Economic Herald of Donbass [Osoblyvosti lohistychnykh protsesiv u voyennyi period: problemy ta perspektyvy rozvytku]*, 2(68), 74–78 [In Ukrainian]
11. Kichkina O.I., Kichkin O.V. (2023) Automation of construction, comparison and selection of routes and delivery schemes in the system of multimodal transportation. *Herald of mechanical engineering and transport [Avtomatyzatsiya pobudovy, porivnyannya ta vyboru marshrutiv ta skhem dostavky v systemi mul'tymodal'nykh perevezhen']* 18, 73–79. doi: 10.31649/2413-4503-2023-18-2-73-79 [In Ukrainian]
12. Zaverbnyy A.S., Dvulit, Z.P., Vuyek, Kh.I. (2022). Peculiarities of the formation of logistics chains in the conditions of war and the post-war period. *Economy and society [Osoblyvosti formuvannya lohistychnykh lantsyuhiv v umovakh viyny ta pislyavoyennyi period]*, (43). doi: 10.32782/2524-0072/2022-43-54 [In Ukrainian]
13. List of checkpoints [Perelik punktiv propusku]. URL: <https://dpsu.gov.ua/ua/perelik-punktiv-propusku/> [In Ukrainian]
14. The Danube can become a plan «B» if the border with Poland is completely closed to trade [Dunay mozhet stat' planom «B», esly hranytsa s Pol'shey polnost'yu zakroet'sya dlya torhovly]. URL: <https://ru.bessarabiainform.com/2024/03/dunay-mozhe-staty-planom-b-yakscho-kordon-iz-polschoyu-povnistyu-zakryetsya-dlya-torhivli/> [In Ukrainian]
15. Transport ecology: study guide (2017) [Transportna ekolohiya] NAU, 507 [In Ukrainian]
16. Solovyova O.O. (2019) General course of transport [Zahal'nyy kurs transportu] NAU, 244 [In Ukrainian]
17. Yatskivskyi L.Yu. (2007) General course of transport [Zahal'nyy kurs transportu]. Artist, 504. [In Ukrainian]
18. How to plan supplies to be in time for the season? [Yak planuvaty postachannya, shchob vstyhnuty do sezonu?] URL: <https://m3cargo.com/ua/blog/yak-planuvati-postachannya-shchob-vstignuti-do-sezonu/> [In Ukrainian]
19. Multimodal transportation from China to Ukraine [Mul'tymodal'ni perevezennya z Kytayu v Ukrayinu] URL: <https://ptl-group.com.ua/content/multimodalnye-perevozki-iz-kitaya-v-ukrainu> [In Ukrainian]
20. Directions for improving the efficiency of the ports of the Danube region [Napryamy pidvyshchennya efektyvnosti roboty portiv Dunays'koho rehionu] URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/napryamy-pidvyshchennya-efektyvnosti-roboty-portiv-dunayskoho-rehionu> [In Ukrainian]
21. The Constanta-Rotterdam route via the Danube and the Rhine [Shlyakh Konstantsa-Rotterdam cherez Dunay ta Reyn] URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%83%D0%BD%D0%B0%D0%B9#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Constanta-Rotterdam\\_DE.PNG](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%83%D0%BD%D0%B0%D0%B9#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Constanta-Rotterdam_DE.PNG) [In Ukrainian]

Наукове видання

## РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Випуск 2(21), 2024

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською  
та англійською мовами*

Видається з жовтня 2016 р.

Формат 70×108/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 10,08.  
Замов. № 0824/592. Наклад 200 прим.

---

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Scientific publication

# TRANSPORT DEVELOPMENT

**Scientific journal**

**Issue 2(21), 2024**

Founded by Odessa National Maritime University

*In Ukrainian and English*

Since October 2016

Format 70×108/16. Times New Roman Font.  
Offset. Digital printing. Conventional printed sheet 10,08.  
Order No 0824/592. Edition of 200 copies.

---

Publishing House “Helvetica”  
65101, Ukraine, Odessa, 6/1 Inglizi St.  
Phone: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Certificate of publishing entity  
ДК № 7623 as of 22.06.2022