

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

*Науковий журнал*

**ВИПУСК 4(11), 2021**

*Заснований у жовтні 2016 року*



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2021

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

**№ 4(11)**  
**2021**

**Заснований у жовтні 2016 року**

**Виходить 4 рази на рік**

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

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

**Засновник:**

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

**Редакційна колегія:**

**Головний редактор**

*Руденко С.В.*, д.т.н., професор, ректор Одеського національного морського університету

**Заступник головного редактора**

*Немчук О.О.*, к.т.н., доцент, Одеський національний морський університет

**Відповідальний секретар**

*Мельников С.В.*, к.е.н, доцент, Одеський національний морський університет

**Члени редакційної колегії:**

*Шахов А.В.*, д.т.н., професор, проректор з науково-організаційної роботи, Одеський національний морський університет

*Варбанець Р.А.*, д.т.н., професор, Одеський національний морський університет

*Дубровський М.П.*, д.т.н., професор, Одеський національний морський університет

*Єгунов К.В.*, д.т.н., професор, Одеський національний морський університет

*Постан М.Я.*, д.е.н., професор, Одеський національний морський університет

*Кириллова О.В.*, д.т.н., професор, Одеський національний морський університет

*Ланкіна І.О.*, д.е.н., професор, Одеський національний морський університет

*Пітерська В.М.*, д.т.н., доцент, Одеський національний морський університет

*Малаксіано М.О.*, д.т.н., проф., Одеський національний морський університет

*Філіпа-Давидович Л.С.*, д.т.н., Західноморський технологічний університет, Щецин, Польща

*Аймелек Мурат*, PhD, Ізмірський Університет імені Катіпа Челебі, Туреччина

*Малекі Вішакі Бехзад*, PhD, Вільний міжнародний університет соціальних досліджень імені Гвідо Карлі, Італія

*Колмикова Анна*, DSc, Бременський університет, Німеччина

*Любоміров Славі Ясенов*, PhD, Пловдивський університет імені Паїсія Гілендарського, Болгарія

*Духовник Йозеф*, 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 Мін*, PhD, Технологічний університет Кочі, Японія

*Медведєв Олександр*, DSc, Інститут транспорту та зв'язку, Латвія

*Попова Олена*, DSc, Інститут транспорту та зв'язку, Латвія

*Mežītis Mareks*, DSc, Транспортна академія, Латвія

Рекомендовано до друку Вченою радою Одеського національного морського університету  
(протокол № 5 від 24 листопада 2021 р.)

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

Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися

з точкою зору редакційної колегії, не покладають на неї ніяких зобов'язань.

Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.

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

ISSN 2616-7360

© Одеський національний морський університет, 2021

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ODESSA  
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY

# TRANSPORT DEVELOPMENT

*Scientific journal*

**ISSUE 4(11), 2021**

*Founded in October 2016*



Publishing House  
"Helvetica"  
2021

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

**№ 4(11)  
2021**

**Founded in October 2016**

**Frequency: four times a year**

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

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

**Founder:**

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

**Editorial Board:**

**Editor-in-Chief**

*Rudenko S.V.*, DSc, professor, Rector of the Odessa National Maritime University

**Deputy Editor**

*Nemchuk O.O.*, PhD, associate professor, Odessa National Maritime University

**Executive Editor**

*Melnykov S.V.*, PhD, associate professor, Odessa National Maritime University

**Editorial Board Members:**

*Shakhov A.V.*, DSc, professor, vice-rector for scientific and organizational work, Odessa National Maritime University

*Varbanets R.A.*, DSc, professor, Odessa National Maritime University

*Dubrovskiy M.P.*, DSc, professor, Odessa National Maritime University

*Yehupov K.V.*, DSc, professor, Odessa National Maritime University

*Postan M.Ia.*, DSc, professor, Odessa National Maritime University

*Kyrylova O.V.*, DSc, professor, Odessa National Maritime University

*Lapkina I.O.*, DSc, professor, Odessa National Maritime University

*Piterska V.M.*, DSc, associate professor, Odessa National Maritime University

*Malaksiano M.O.*, DSc, professor, Odessa National Maritime University

*Filina-Dawidowicz Ludmila*, DSc, 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

*Gasarov 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

*Mezītis Mareks*, DSc, Transport Academy, Latvia

Recommended for printing by the Academic Council of Odessa National Maritime University  
(Minutes No 5 dated November 24, 2021)

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

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

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

The articles were checked for plagiarism using the software [StrikePlagiarism.com](http://StrikePlagiarism.com)  
developed by the Polish company [Plagiat.pl](http://Plagiat.pl).

**ISSN 2616-7360**

© Odessa National Maritime University, 2021

З М І С Т

---

**МЕНЕДЖМЕНТ**

<b>O.O. Bakulich, E.S. Samoilenko, V.O. Holodenko</b> Modeling of level of pollution of canyons during management of the ecological condition of the megapolis.....	7
<b>I.P. Kic</b> Механізм управління екологічними ризиками на транспортних підприємствах.....	16
<b>I.M. Майорова, В.П. Литвиненко</b> Концепція екологістичної моделі морського порту в умовах циркулярної економіки.....	25
<b>Lub.S. Chernova, S.D. Titov, Lud.S. Chernova</b> Model approach in project management methodology.....	40

**РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ**

<b>Д.В. Курносенко, В.П. Савчук, Є.В. Білоусов</b> Дослідження впливу характеристик масляних фільтрів типу «spin-on» на робочі параметри масляної системи.....	52
<b>А.О. Лисий, О.Ю. Нестеров, С.М. Перепечасв</b> Дослідження умов безпеки плавання як фактору безаварійності судноводіння.....	65
<b>С.В. Терлич</b> Вплив аеродинамічного сліду авіанесучого судна на динамічні параметри супутніх літальних апаратів.....	72

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)**

<b>В.В. Берестенко, С.П. Онищенко</b> Структура й характеристики мультимодальної доставки з позиції цифровізації.....	82
<b>Т.І. Берневек, Н.Л. Павлова, І.І. Тихоніна</b> Використання сучасних технологій перевезення наливних вантажів морським транспортом.....	94
<b>В.І. Главатських</b> Ефективність роботи суден залежно від швидкісного режиму .....	104
<b>А.Г. Данилян, І.З. Маслов, Н.Б. Тірон-Воробйова</b> Створення та дослідження нових наукоємних технологій щодо зниження шкідливих викидів у випускних газах судових дизелів.....	116
<b>О.Т. Чернова, Г.М. Кривенко</b> Аналіз небезпек під час розриву автоцистерни.....	129

CONTENTS

---

---

**MANAGEMENT**

<b>O.O. Bakulich, E.S. Samoylenko, V.O. Holodenko</b> Modeling of level of pollution of canyons during management of the ecological condition of the megapolis.....	7
<b>I.R. Kis</b> Mechanism of environmental risk management at transport enterprises.....	16
<b>I.M. Mayorova, V.P. Litvinenko</b> Ecological logistics model of the seaport in a circular economy.....	25
<b>Lub.S. Chernova, S.D. Titov, Lud.S. Chernova</b> Model approach in project management methodology.....	40

**RIVER AND SEA TRANSPORT**

<b>D.V. Kurnosenko, V.P. Savchuk, E.V. Bilousov</b> Study of the influence of the characteristics of spin-on oil filters on the operating parameters of the oil system.....	52
<b>A.O. Lysyi, O.Y. Nesterov, S.M. Perepechaev</b> Investigation of navigation safety conditions as a factor of safety sailing.....	65
<b>S.V. Terlych</b> The influence of aircraft vessel aerodynamic track on dynamic parameters for associated aircraft.....	72

**TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPE)**

<b>V.V. Berestenko, S.P. Onyshchenko</b> Structure and characteristics of the multimodal delivery from the standpoint of digitalization .....	82
<b>T.I. Bernevek, N.L. Pavlova, I.I. Tykhonina</b> Use of modern technologies of bulk cargo transportation by sea transport.....	94
<b>V.I. Glavatskhih</b> Efficiency of vessels depending on speed mode.....	104
<b>A.H. Danylyan, I.Z. Maslov, N.B. Tiron-Vorobiova</b> Creation and research of new scientific technologies to reduce harmful emissions in the exhaust gases of marine diesels.....	116
<b>O.T. Chernova, G.M. Kryvenko</b> Danger analysis during a tank break.....	129

## МЕНЕДЖМЕНТ

UDC 502.3

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.4-11.01>

### MODELING OF LEVEL OF POLLUTION OF CANYONS DURING MANAGEMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE MEGAPOLIS

O.O. Bakulich<sup>1</sup>, E.S. Samoylenko<sup>2</sup>, V.O. Holodenko<sup>3</sup>

Ph.D.,

National Transport University, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-5700-0576

Assistant of the Department of Management,

National Transport University, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0001-8352-2282

Postgraduate student of the Department of Management,

National Transport University, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-8009-3539

#### **Summary**

**Introduction.** In the conditions of rapid urbanization, the share of people living in megacities is growing. Urban development creates its own microclimate and its own unique circulation of air masses. Road transport is the biggest polluter of the city, the number of which is growing over the years, especially in the current environment, when it has become more accessible. As a result, its impact on human health is becoming more tangible. Urban canyons are the main functional unit of the metropolis. The study of the impact of urban canyons on the ecological situation in the conditions of dense construction of the metropolis is an extremely urgent task. Simulation divergent wind fields in urban areas is an extremely difficult task, because the structure of urban development is uneven. In this regard, the architectural planning urban piece was presented a set of elementary fragments – street canyons with appropriate spatial and geometric characteristics. The practical significance of the results is to understand the future state of the environment in urban canyons. **Purpose.** The aim of the work is to model and quickly assess the concentration of pollutants in street canyons in the projects of environmental management of the metropolis. **Results.** Based on the recommended model, the air dynamics of the level of the transport level of the atmosphere by the main flows, the concentration of the period of the day, the amount of pollutants reaches a critical level, exceeding the maximum allowable values. **Conclusions.** The proposed model will allow to model the level of pollution of street canyons of cities, as well as to determine the critical values of traffic intensities at which the concentration of pollutants will exceed the maximum allowable values. The obtained results can be used to build a forecast of daily pollution of roadside ecosystems and management of the ecological state of the metropolis.

**Key words:** management, transport, pollution assessment, transport flow, project, modeling of pollution fields.

МЕНЕДЖМЕНТ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ  
ВУЛИЧНИХ КАНЬЙОНІВ ПІД ЧАС УПРАВЛІННЯ  
ЕКОЛОГІЧНИМ СТАНОМ МЕГАПОЛІСУ

О.О. Бакуліч<sup>1</sup>, Є.С. Самойленко<sup>2</sup>, В.О. Голоденко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., професор,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-5700-0576

<sup>2</sup>асистент кафедри менеджменту,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-8352-2282

<sup>3</sup>аспірант кафедри менеджменту,

Національний транспортний університет, Київ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-8009-3539

**Анотація**

**Вступ.** В умовах швидкої урбанізації зростає частка людей, що живуть у мегаполісах. Міський розвиток створює власний мікроклімат і свою неповторну циркуляцію повітряних мас. Автомобільний транспорт є найбільшим забруднювачем міста, кількість якого з роками зростає, особливо в сучасних умовах, коли він став більш доступним. У результаті цього його вплив на здоров'я людини стає відчутнішим. Міські каньйони є основною функціональною одиницею мегаполісу. Вивчення впливу міських каньйонів на екологічну ситуацію в умовах щільної забудови мегаполісу є надзвичайно актуальним завданням. Моделювання полів забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій є надзвичайно складним завданням, оскільки структура міського розвитку нерівномірна. У зв'язку з цим у статті представлено безліч елементарних фрагментів – вуличних каньйонів з відповідними просторово-геометричними характеристиками. Практичне значення результатів полягає в оцінці та прогнозуванні стану атмосферного повітря в міських каньйонах. **Мета.** Метою роботи є моделювання й оперативна оцінка концентрації забруднюючих речовин вуличних каньйонах у проектах екологічного менеджменту мегаполісу. **Результати.** На основі запропонованої моделі визначено динаміку рівня забруднення атмосферного повітря міст транспортними потоками, встановлено періоди доби, коли концентрація забруднюючих речовин досягає критичного рівня, перевищуючи гранично допустимі значення. **Висновки.** Запропонована модель дасть змогу моделювати рівень забруднення вуличних каньйонів міст, а також визначати критичні значення інтенсивностей транспортних потоків, при яких концентрація забруднюючих речовин перевищуватиме гранично допустимі значення. Отримані результати можуть бути використані для побудови прогнозу щоденного забруднення екосистем придорожного простору й управління екологічним станом мегаполісу.

**Ключові слова:** управління, транспорт, оцінка забруднення, транспортний потік, проект, моделювання полів забруднення.

**Introduction.** Today, the level of air pollution is one of the key factors determining the quality of living conditions in megacities. In many cities, the concentration of pollutants significantly exceeds the maximum acceptable values [1; 2]. As a result,

the health of the population is deteriorating and there are significant economic losses that are directly related to human health, disease and disability. The main sources of pollution of urban areas are traffic flows, the specificity of which is manifested in their close proximity to residential areas, territorial distribution, ground location. The fields of concentration of pollutants formed in the surface layer of the atmosphere have an spatiotemporal heterogeneity, which is explained by both dynamic (intensity, traffic flow, meteorological conditions) and static (geometric characteristics of street canyons, terrain, the presence of greenery, regulated intersections, spatial orientation of the street, etc.) factors [3; 4].

Assessment of air pollution is conducted in two directions: field observations and mathematical modeling. The construction of mathematical models is based on the results of theoretical and experimental study of the patterns of distribution of pollutants, which allow to build fields of pollution and reflect their spatiotemporal dynamics. Thus, modeling of pollution fields will allow to make operative forecasts of concentration of pollutants in street canyons of cities and by traffic control, to prevent critical situations in which the level of pollution exceeds the maximum allowable values, and thus to manage the ecological state of the metropolis.

**Purpose.** The aim of the work is to model and quickly assess the concentration of pollutants in street canyons in the projects of environmental management of the metropolis.

**Analysis of recent researches and publishing.** There are different approaches to solving the problem of scattering of pollutants in the atmosphere and modeling of pollution fields, in particular: analytical solution of the equation of turbulent diffusion, numerical modeling of turbulent flows, Lagrange models, Gaussian models, statistical models, models of urban canyons: STREET (Johnson et al., 1973); Canyon Plum Box Model (Yamartino et al., 1986); Operational Street Pollution Model (Berkowicz, 1996). To date, there is no generally accepted model for the dispersion of pollutants due to its complexity [5].

To determine the level of pollution in cities, there is a class of semi-empirical models based on a priori parameterization of the conditions of transport and scattering of pollutants. Among these models, the most well-known are: California Line Sours Dispersion Model (CALINE-4) and Danish Operational Street Pollution Model (OSPM). The CALINE-4 model was created by the California Department of Transportation, based on the Gaussian torch model. The stability class of the surface layer of the atmosphere is determined using modified Pasquill-Gifford curves. This model requires a small amount of input information, which ensures its simplicity and widespread use. However, the simulation results can be considered only approximate, as this model does not take into account the features of urban development, terrain, meteorological characteristics [6; 7].

The OSPM model is focused on determining the concentration of pollutants from traffic flows in street canyons, taking into account meteorological conditions, geometric characteristics of street canyons: different street configurations, width, height, building density, also the model takes into account mechanical turbulence created by vehicles. The main disadvantage of OSPM is the inability to take into account the deformation of the wind flow depending on the configuration of buildings.

**Main material.** Determination of the concentration of pollutants in street canyons from traffic flows is proposed to be based on the methodology of the Operational Street

Pollution Model. The model is based on the Gaussian type of scattering of pollutants in combination with the characteristics of the road network of cities [8].

Modeling of pollution fields in cities is a rather difficult task, as the structure of urban development is heterogeneous [9]. Therefore, it is advisable to present an architectural and planning fragment of urban development with a set of elementary street canyons with appropriate spatial and geometric characteristics.

The street canyon is a typical architectural and planning element of the city, which is an elementary area with buildings along the carriageway between the nearest cross-roads. The space between buildings is an elementary ecosystem, the level of pollution which determines the level of ecological safety of the canyon. Street canyons of the city have different spatial and geometric characteristics: width, length, spatial orientation of the canyon, continuity and composition of buildings (weighted average height of buildings, density of buildings, average angle of rotation of buildings to the axis of the street). There are also symmetrical and asymmetrical street canyons. The following zones are distinguished in the street canyon: the windward side, which is characterized by a minimum level of pollution due to the inflow of clean air; the inner part and the leeward side, for which the maximum level of pollution is observed [10; 11].

When modeling the level of pollution, a distinction is made between wind speed and direction at the level of the roof of buildings, which is determined by the global transfer of air masses and wind speed at the street level. There is also a recirculation zone, which is characterized by the inflow of pollutants from another part of the street canyon and is determined by the length of the turbulent vortex, the geometric parameters of the canyon [11] Figure 1.

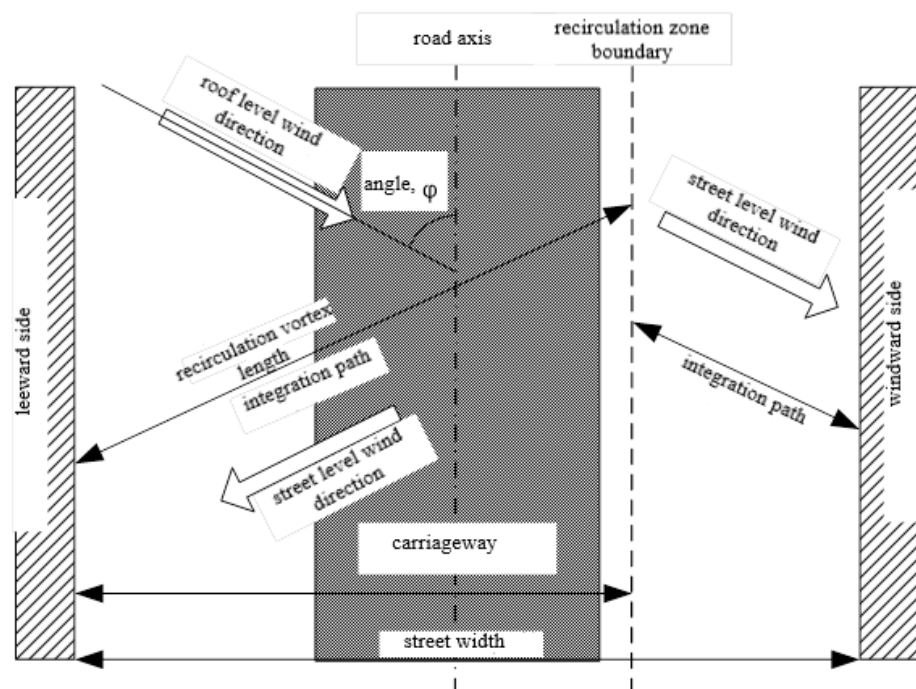


Fig. 1. The main parameters of the street canyon

The concentration of pollutants is determined within the street canyon and is equal to the sum of the concentration of direct scattering of pollutants ( $C_d$ ), the concentration caused by air recirculation in the street canyon ( $C_r$ ) and the urban background concentration ( $C_o$ ) [6; 7].

$$C = C_d + C_r + C_o. \quad (1)$$

The concentration of direct scattering of pollutants from the traffic flow is equal to:

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int \frac{Q dx}{U_s W \sigma_z(x)}, \quad (2)$$

where  $Q$  – intensity of pollutant emissions from “efficient” transport flow,  $\text{mg} / \text{m} \cdot \text{s}$ ;

$U_s$  – wind speed at street level,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$W$  – width of the street canyon,  $\text{m}$ ;

$\sigma_z(x)$  – the parameter of the vertical variance at a distance  $x$  from the emission source;

The wind speed at street level is determined as follows:

$$U_s = U_r \frac{\ln(h_0 / z_0)}{\ln(H / z_0)} (1 - 0.2 p \sin \varphi), \quad (3)$$

where  $U_r$  – wind speed at the roof level,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$z_0$  – effective size of inequality,  $\text{m}$ ,  $z_0=0.6$ ;

$h_0$  – effective height of a loop after movement of the car,  $\text{m}$ ,  $h_0=2$ ;

$H$  – average height of street canyon buildings (on the windward and leeward side of the canyon),  $\text{m}$ ;

$p$  – the ratio of the height of buildings on the leeward side to the average height of buildings on the street canyon;

$\varphi$  – the angle of the wind direction at roof level relative to the axis of the street,  $\text{rad}$ ;

The parameter of the vertical dispersion of pollutants at a distance  $x$  from the emission source is determined by the following formula:

$$\sigma_z(x) = \sigma_w \frac{x}{U_s} + h_0, \quad (4)$$

where  $\sigma_w$  – vertical turbulence dispersion,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$x$  – is the distance from the source to the calculation point,  $\text{m}$

$$\sigma_w = \sqrt{(0.1 U_s)^2 + \sigma_{w0}^2}, \quad (5)$$

where  $\sigma_{w0}$  – turbulence variance caused by vehicle traffic,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$$\sigma_{w0} = 0.3 \sqrt{\frac{NVS}{W}}, \quad (6)$$

where  $N$  – traffic intensity,  $\text{bus}/\text{s}$ ;

$V$  – average speed of traffic flow,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$S$  – the average area occupied by the vehicle,  $\text{m}^2$ ;

Thus, the concentration of pollutants from direct scattering perpendicular to the wind direction to the axis of the street is determined:

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{W\sigma_w} \ln\left(1 + \frac{W\sigma_w}{h_0 U_s}\right). \quad (7)$$

The calculation of the concentration of pollutants in the recirculation zone of the street canyon is carried out depending on the length of the turbulent vortex:

$$l_v = 2rH_l \quad (8)$$

where  $r$  – an indicator that depends on the wind speed (for wind speeds  $< 2\text{ m/s}$   $r = U_r/2$  in other cases  $r = 1$ ).

The concentration from the recirculation of pollutants within the street canyon is determined as follows:

$$C_r = \frac{Q \cdot l_r}{W \cdot (\omega_t \cdot l_t + \omega_s \cdot l_s)}, \quad (9)$$

where  $l_r, l_t, l_s$  – geometric characteristics of the recirculation zone;  
 $\omega_t, \omega_s$  – the rate of dispersion of pollutants through the upper and side of the street canyon, respectively, m/s.

$$\omega_t = \sqrt{(0,1U_r)^2 + (0,4\sigma_{w0})^2}, \quad (10)$$

$$\omega_s = \sqrt{U_s^2 + \sigma_{w0}^2}. \quad (11)$$

Based on this model, an estimate of the concentration of pollutants in the street canyons of the city can be performed, taking into account the daily dynamics of traffic intensity. Emission intensities are estimated on the basis of the concept of “efficient transport flow”, ie a model flow, the technogenic effect of which on the environment is equivalent to the action of a real transport flow containing a similar number of vehicles. “Efficient” traffic flow is a statistical set of “efficient” vehicles of the respective categories [12].

Therefore, the obtained results can be used in modeling the level of pollution in the street canyons of cities and streets of the metropolis, which will allow to perform operational forecasts of air pollution and timely environmental measures to normalize the environment.

Figure 2 shows the daily course of the concentration of the main pollutants, namely carbon monoxide and nitrogen oxides in one of the most typical street canyons (I. Mazepa Street). The wind speed at the roof level is 5 m/s.

Thus, at the established intensities of traffic flow and wind speed of 5 m / s, the dynamics of the concentration of pollutants in the street canyon in the period from 8:00 to 20:00 was determined [13]. Thus, in the morning periods, when the greatest traffic intensities are observed, the concentrations reach the maximum allowable values.

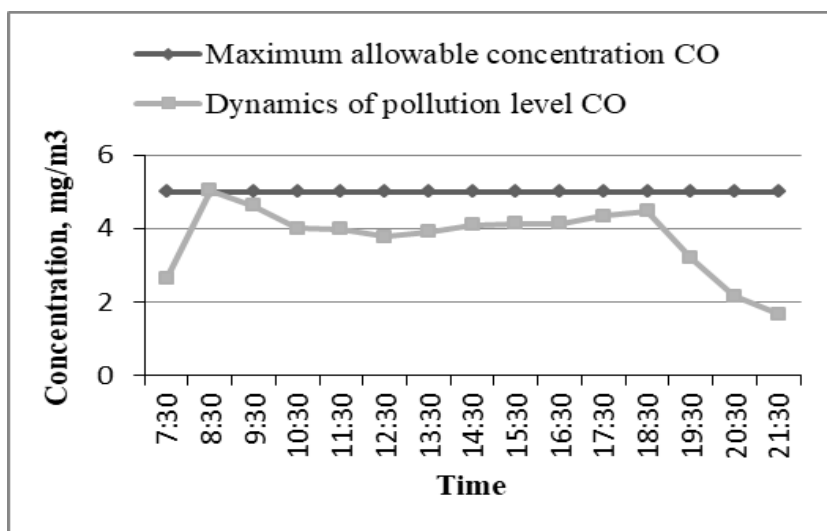


Fig. 2. Dynamics of the level of carbon monoxide concentration during the day (I. Mazepa Street)

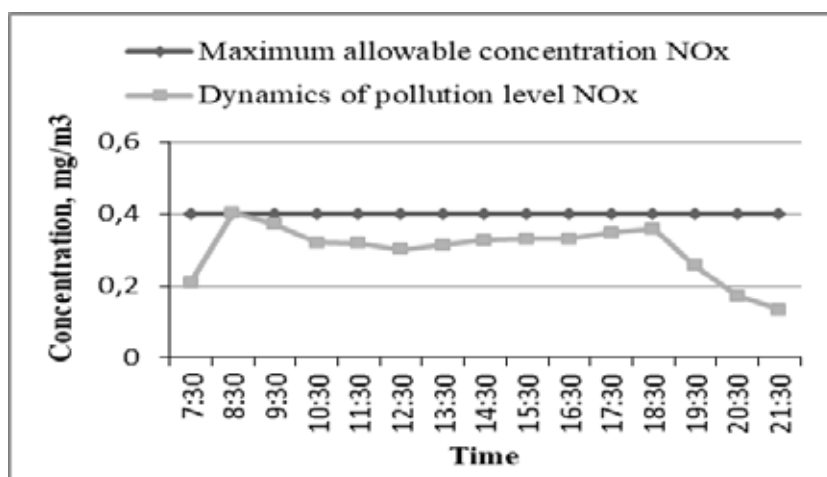


Fig. 3. Dynamics of the level of nitrogen oxides concentration during the day (I. Mazepa Street)

**Conclusions.** The main models of pollutant scattering in the atmosphere are analyzed. A model of urban street canyons (OSPM) is proposed to determine the daily dynamics of the concentration of major pollutants in the street canyons of the metropolis. The proposed model will allow modeling critical pollution levels both for individual sites and for the network as a whole. Therefore, the obtained results can be used in modeling the level of pollution in the street canyons of cities, which will make operational forecasts of air pollution and timely environmental measures to reduce the concentration of pollutants.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт : навчальний посібник. Київ : Арістей, 2006. 292 с.
2. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология. Москва : Высш. школа, 2003. 273 с.
3. Абрамова Л.С., Бакуліч О.О. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом : навчальний посібник. Харків, 2014. 184 с.
4. Поліщук В.П. Організація дорожнього руху: підручник / за ред. проф. В.П. Поліщука. Київ : Вища школа, 2011. 425 с.
5. Hertel O., Berkowicz R. Modelling pollution from traffic in a street canyon – evaluation of data and model development. Report A-129 1989 (Ministry of the Environment, National Environmental Research Institute: Roskilde, Denmark).
6. Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations / R. Berkowicz, M. Ketzel, S. S. Jensen, M. Hvidberg, O. Raaschou-Nielsen. *Environ. Model. Softw.* 2008. № 23. 296 p.
7. Hertel O., Berkowicz R. Operational street pollution model (OSPM) – evaluation of data and model development, Report A-135 1989 (Ministry of the Environment, National Environmental Research Institute: Roskilde, Denmark).
8. Mensink C., Cosemans G. From traffic flow simulations to pollutant concentrations in street canyons and backyards. *Environ. Model. Softw.* 2008. № 23. 288 p.
9. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Точність оцінки при розрахунку концентрації забруднюючих речовин у вуличному каньйоні. *Технічні науки : науково-технічний збірник.* 2017. № 1 (36). С. 13–20.
10. Ранжування структурних елементів вулично-дорожньої мережі за допомогою індексного методу / В.Д. Данчук, Р.В. Олійник, Є.С. Самойленко, С.М. Тарабан. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво / НТУ.* 2012. № 86. С. 146–153.
11. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів міста. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» : науково-технічний збірник.* 2015. Вип. 1 (31). С. 12–19. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31\\_1\\_tech\\_2015/018-026.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/018-026.pdf).
12. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Модель складу транспортного потоку міста. *Економіка та управління на транспорті : науковий журнал / НТУ.* 2016. Вип. 3. С. 3–9. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/eut/2016-03/003-009.pdf>.
13. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Динаміка рівня забруднення урбанізованих територій. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» : науково-технічний збірник.* 2021. Вип. 1 (48). С. 12–19. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf>.

### REFERENCES

1. Gutarevich YF, Zerkalov DV, Govorun AG, Korpach AO, Merzhievskaya LP Ecology and road transport: A textbook. – K.: Aristey, 2006. – 292 p. [in Ukrainian].
2. Lukanin V.N. Industrial and transport ecology: M.: Higher. school, 2003. – 273 p. [in Ukrainian].
3. Abramova L.S., Bakulich O.O. Automated traffic control systems: textbook. way. Kharkiv, 2014, p. 184 [in Ukrainian].
4. Polishchuk V.P. Organization of traffic: a textbook / ed. prof. Polishchuk V.P. Kyiv, Higher School, 2011, p. 425 [in Ukrainian].
5. O. Hertel, R. Berkowicz, Modeling pollution from traffic in a street canyon – evaluation of data and model development. Report A-129 1989 (Ministry of the Environment, National Environmental Research Institute: Roskilde, Denmark).
6. R. Berkowicz, M. Ketzel, S. S. Jensen, M. Hvidberg, O. Raaschou-Nielsen, Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations. Environ. Model. Softw. 2008, 23, 296. doi: 10.1016 / J.ENVSOFT.2007.04.007.
7. O. Hertel, R. Berkowicz, Operational street pollution model (OSPM) – evaluation of data and model development, Report A-135 1989 (Ministry of the Environment, National Environmental Research Institute: Roskilde, Denmark).
8. C. Mensink, G. Cosemans, From traffic flow simulations to pollutant concentrations in street canyons and backyards. Environ. Model. Softw. 2008, 23, 288. doi: 10.1016 / J.ENVSOFT.2007.06.005.
9. Bakulich O.O., Samoylenko E.S. Accuracy of assessment when calculating the concentration of pollutants in the street canyon. «Technical Sciences» series. Scientific and technical collection. 2017. Issue№ 1 (36). P. 13–20 [in Ukrainian].
10. Danchuk V.D., Oliynyk R.V., Samoylenko E.S., Taraban SM Ranking of structural elements of the road network using the index method. Roads and road construction, NTU. – 2012. – № 86. – P. 146–153 [in Ukrainian].
11. Bakulich O.O., Oliynyk R.V., Samoylenko E.S. Potential environmental hazards of the city's street canyons. Bulletin of the National Transport University. «Technical Sciences» series. Scientific and technical collection. 2015. Issue 1 (31). Pp. 12–19. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31\\_1\\_tech\\_2015/018-026.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/018-026.pdf) [in Ukrainian].
12. Bakulich O.O., Samoylenko E.S. Model of the city traffic flow composition. Economics and management of transport. Scientific journal. NTU, 2016, issue 3. P. 3–9. <http://publications.ntu.edu.ua/eut/2016-03/003-009.pdf> [in Ukrainian].
13. Bakulich O.O., Samoylenko E.S. Dynamics of pollution level in urban areas. Bulletin of the National Transport University. «Technical Sciences» series. Scientific and technical collection. 2021. Issue 1 (48). Pp. 12–19. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf> [in Ukrainian].

## МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ НА ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

I.P. Kic

PhD студентка кафедри менеджменту,  
Національний транспортний університет, Київ, Україна,  
ORCID ID: [orcid.org/0000-0002-8386-8379](https://orcid.org/0000-0002-8386-8379)

### *Анотація*

**Вступ.** Проблематиці ризик-менеджменту та управління екологічними ризиками й ризиками проєктів присвячено багато наукових праць, з огляду на високий рівень актуальності питання. Реалізація методів і моделей ризик-менеджменту екологічних ризиків проєктів транспортних підприємств передбачає опрацювання чіткої послідовності дій і виконання завдань, що комплексно її формують. З огляду на зміни інструментарію управління екологічними ризиками проєктів транспортного підприємства та його механізму, виникає необхідність уточнення й формалізації особливостей функціонування та складників. **Мета.** Опрацювання механізму та практичних засад управління екологічними ризиками проєктів транспортного підприємства задля структуризації процесів і підвищення ефективності менеджменту. **Результати.** У роботі розглянуто й проаналізовано вплив характеристик проєкту транспортного підприємства (наявність чи відсутність проєктного офісу на транспортному підприємстві; рівень проєкту; масштаб проєкту; терміни реалізації проєкту; рівень учасників проєкту; характер поставленого завдання в проєкті; причина виникнення проєкту) на розподіл службових обов'язків щодо ризик-менеджменту. Наведено механізм ризик-менеджменту проєктів транспортного підприємства із зазначенням структурних компонентів. **Висновки.** Опрацьовано методичні засади управління ризиками проєктів транспортних підприємств щодо взаємозв'язків між характеристиками проєкту й наявністю ризик-менеджера як члена команди проєкту чи відповідальністю менеджера проєкту за управління проєктними ризиками. Визначено систематизовані елементи механізму ризик-менеджменту транспортного підприємства, серед яких – зміст системи, узагальнена мета системи, основні принципи системи, об'єкти системи, суб'єкти системи, інструменти ризик-менеджменту, результат. На наш погляд, з огляду на перехід до циркулярної економіки, доцільним є врахування її принципів (обґрунтованість, прозорість, легітимність, адекватність, контрольованість, логічність і проактивність, структурна довершеність) у механізмі ризик-менеджменту проєктів транспортного підприємства.

**Ключові слова:** ризики, екологічні ризики, ризик-менеджмент, проєкт, підприємство, транспортне підприємство.

MECHANISM OF ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT  
AT TRANSPORT ENTERPRISES

I.R. Kis

PhD student at the Department of Management,  
National Transport University, Kyiv, Ukraine,  
ORCID ID: [orcid.org/0000-0002-8386-8379](https://orcid.org/0000-0002-8386-8379)

**Summary**

**Introduction.** Many scientific papers are devoted to the issue of risk management and environmental risks and project risks, given the high level of relevance of the issue. Implementation of methods and models of risk management of environmental risks of projects of transport enterprises involves the development of a clear sequence of actions and tasks that comprehensively form a certain sequence. Given the changes in the tools of environmental risk management projects of the transport company and its mechanism, there is a need to clarify and formalize the features of their operation. **Purpose.** Elaboration of the mechanism and practical bases of ecological risk management of projects of the transport enterprise for the structuring of processes and increase of efficiency of management. **Results.** The paper considers and analyzes the impact of the characteristics of the project of the transport company (presence or absence of the Project Office at the transport company; project level; project scale; project implementation time; level of project participants; nature of the task; project reason) on the distribution of risk-management responsibilities. The mechanism of risk management of projects of the transport enterprise with indication of structural components is resulted. **Conclusions.** Methodical bases of risk management of transport enterprises projects on the relationship between the characteristics of the project and the presence of a risk manager as a member of the project team or the responsibility of the project manager for project risk management are processed. Systematized elements of the mechanism of risk management of the transport enterprise are determined, including the content of the system, the generalized purpose of the system, the basic principles of the system, objects of the system, subjects of the system, tools of risk management, result. In our opinion, given the transition to a circular economy, it is advisable to take into account its principles (validity, transparency, legitimacy, adequacy, controllability, logic and proactivity, structural perfection) in the risk management mechanism of transport projects.

**Key words:** risks, environmental risks, risk management, project, enterprise, transport company.

**Вступ.** Ризик-менеджмент, як і загалом питання ефективності управління проектами, є важливим науковим напрямом останніх десятиліть. Реалізація методів моделей ризик-менеджменту екологічних ризиків проектів транспортних підприємств передбачає опрацювання чіткої послідовності дій і виконання завдань, що комплексно її формують. Для забезпечення належного рівня ефективності ризик-менеджменту необхідно пропрацювати механізм управління проектами та ризиками у сфері транспорту з урахуванням впливу їх характеристик.

**Постановка проблеми.** Наявність різноманітних методик, підходів, методів ризик-менеджменту екологічних ризиків як дає можливості щодо ефективного

управління ними, так і передбачає наявність перешкод, що мають управлінський характер, практичний тощо, які здатні зашкодити отриманню запланованого результату. Одним із важливих завдань є аналіз і вдосконалення механізму застосування і трансформації інструментарію, інших компонентів, що є складниками процесу й системи ризик-менеджменту проєктів транспортного підприємства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематиці управління ризиками, екологічними зокрема, присвятили праці О.О. Бакуліч [1; 2], С.Д. Бушуєв [3], Н.С. Бушуєва [3], С.В. Войтко [4], О.Б. Данченко [5], В.О. Занора [1; 4–6], В.І. Зюзюн [7], Т.А. Ковтун [8; 9], М.Я. Постан [10; 11], С.В. Руденко [9], Н.С. Скопенко [12], а також інші науковці.

С.Д. Бушуєв та Н.С. Бушуєва [3], розглядаючи управління проєктами в умовах переходу до циркулярної економіки, зауважують на дотриманні певних принципів, які, відповідно, мають бути враховані при ризик-менеджменті. С.В. Войтко й В.О. Занора [4], досліджуючи різноманітні аспекти управління підприємствами, приділяють увагу й управлінню ризиками як важливому елементу системи менеджменту господарської діяльності. О.Б. Данченко та В.О. Занора [5] ґрунтовно досліджують процеси управління ризиками та змінами в проєктах і процесах прийняття управлінських рішень. У роботі [6] стратегічний аналіз розглядається як базис управління проєктами підприємства та його розвитку. Однак поширення принципів циркулярної економіки, доцільність проведення певних методологічних змін у ризик-менеджменті зумовлюють систематичне опрацювання механізму управління ризиками проєктів транспортних підприємств. В.І. Зюзюн [7] присвятив працю розробці моделей і методів управління екологічними ризиками в проєктах розвитку транспорту. Н.С. Скопенко [12] у праці проаналізувала особливості формування комплексного механізму ризик-менеджменту.

Однак поширення принципів циркулярної економіки, доцільність проведення певних методичних змін з урахуванням сучасних тенденцій зумовлюють систематичне опрацювання засад і механізму управління ризиками проєктів транспортних підприємств задля його розвитку й удосконалення.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є опрацювання механізму та практичних засад управління екологічними ризиками проєктів транспортного підприємства задля структуризації процесів і підвищення ефективності менеджменту.

**Виклад основного матеріалу.** Одним із важливих аспектів реалізації проєктів транспортних підприємств є з'ясування його терміну. Термін проєкту є визначальним для розуміння необхідності встановлення рівня екологічних ризиків як на оперативному рівні, так і на тактичному й стратегічному рівнях. Зазначимо, що традиційно за тривалістю проєкти становлять три групи: 1 група – короткострокові проєкти з тривалістю до трьох років; 2 група – проєкти середньострокові з тривалістю від трьох до п'яти років; 3 група – довготривалі проєкти, тривалість яких становить понад 5 років. Отже, на нашу думку, для короткострокових проєктів доречним є визначення екологічних ризиків на оперативному рівні, за необхідності – на тактичному й стратегічному рівнях. Для середньострокових проєктів варто визначати екологічні ризики на оперативному, тактичному рівнях, а за необхідності – на стратегічному. Умови «необхідності визначення» екологічних ризиків на різних рівнях потребують окремого дослідження й обґрунтування. Для

довгострокових проєктів важливим є визначення екологічних ризиків на всіх рівнях. Відповідність доцільності визначення екологічних ризиків на різних горизонтах наведена в таблиці 1.

Окремим аспектом, таким, що потребує уваги, є визначення посадових осіб, які мають реалізовувати ризик-менеджмент екологічних ризиків проєктів транспортних підприємств. Зрозуміло, що особою, яка управляє проєктом, є його керівник, однак склад команди проєкту може бути різним. Одним із членів команди може бути ризик-менеджер, проте може бути й такий склад, де згадана посада не передбачена.

Таблиця 1

**Тривалість проєктів транспортних підприємств  
і визначення екологічних ризиків на різних горизонтах**

Тривалість Горизонти	Тривалість проєкту		
	до 3 років	від 3 до 5 років	більше 5 років
Оперативний рівень	+	+	+
Тактичний рівень	+ / -	+	+
Стратегічний рівень	+ / -	+ / -	+

+ – проводиться визначення рівня екологічних ризиків;

+/- – визначення рівня екологічних ризиків проводиться за необхідності.

Водночас важливою є, якщо не наявність окремої посади ризик-менеджера на транспортному підприємстві, що є доречним для великих підприємств, то, як мінімум, наявність відповідальної за ризик-менеджмент особи. Зазначена особа під час реалізації проєкту транспортним підприємством може бути відповідальною за управління екологічними ризиками. Від чого ж залежить наявність ризик-менеджера як окремого члена команди або ж відповідального за ризик-менеджмент у проєкті? Жорстких умов на цей випадок немає, однак, на нашу думку, ми можемо сформулювати перелік основних із них. До таких умов відносяться наявність чи відсутність проєктного офісу на транспортному підприємстві; рівень проєкту; масштаб проєкту; терміни реалізації проєкту; рівень учасників проєкту; характер поставленого завдання в проєкті; причина виникнення проєкту. Зауважимо, що перелік умов не є жорстким і може бути змінений і доповнений.

Розглянемо окремі з умов детальніше. Наявність проєктного офісу на транспортному підприємстві має місце в тому випадку, коли підприємство регулярно й активно реалізує різноманітні проєкти. Таким чином, виникає необхідність у структуризації проєктної діяльності й чіткій організованості процесу, що здатен забезпечити саме проєктний офіс. В умовах відсутності офісу є необхідність уточнення всіх етапів управління проєктом, починаючи з його ініціації та закінчуючи завершенням, що зумовлює наявність вищого рівня невизначеності й у більшості випадків витрачання більшої кількості часу на реалізацію етапів. Наявність проєктного офісу полегшує та спрощує процес організації управління проєктом.

Ураховуючи, що виконуватися може низка проєктів одночасно або ж вони можуть реалізовуватися як програма, то рівень проєкту впливає на ефективність управління ним та екологічними ризиками. Відповідно, під час реалізації програми варто довірити управління екологічними ризиками безпосередньо

ризик-менеджеру. Під час реалізації портфелю проєктів у команді проєкту має бути як мінімум ризик-менеджер, а у випадку наявності складних проєктів може бути затребувана наявність декількох фахівців. В умовах управління одним проєктом функції з управління екологічними ризиками може взяти на себе його керівник, однак за високого рівня складності проєкту й довготривалості наявність ризик-менеджера є необхідною.

Масштаб проєкту також визначає розподіл відповідальності щодо управління ризиками. У випадку реалізації малого за масштабом проєкту відповідати за політику управління екологічними ризиками може не лише ризик-менеджер, а й керівник проєкту. Що ж до проєктів середнього масштабу та великого, то в такому випадку більш доречною є наявність ризик-менеджера в команді проєкту транспортного підприємства.

Терміни реалізації проєкту як його характеристика опосередковано визначають складність ризик-менеджменту. Однак якщо розглядати середньостроковий і довгостроковий проєкти як складніші за короткостроковий і такі, що потребують використання, наприклад, форсайт-методики для визначення екологічних ризиків, то рівень складності проєкту зростає, що свідчить про необхідність більш компетентного підходу. Тобто у випадку короткострокового проєкту питанням ризик-менеджменту може опікуватися не лише ризик-менеджер, а й менеджер проєкту, а у випадку середньострокового проєкту та довгострокового бажаною є позиція ризик-менеджера в команді проєкту.

Така ознака проєкту, як «рівень учасників», впливає на формування команди проєкту, а також безпосередньо на доцільність наявності члена команди ризик-менеджер. У такій ситуації, коли рівень учасників проєкту місцевий або ж територіальний, при тому що й проєкт реалізується в цій локації, то й відповідальність щодо управління екологічними ризиками може брати на себе менеджер проєкту, якщо він обізнаний з особливостями управління ними. Державний, а тим більше міжнародний рівень учасників проєкту може зумовити наявність саме ризик-менеджера в команді проєкту, з огляду на те що проблематика управління екологічними ризиками набуває все більшої актуальності.

Характер поставленого завдання в проєкті як його ознака визначає рівень актуальності питання управління екологічними ризиками для проєкту транспортного підприємства. Якщо поставлене завдання стосується, наприклад, маркетингового аспекту діяльності, то рівень актуальності ризик-менеджменту екологічних ризиків може бути мінімальний. Водночас поставлене завдання може бути надзвичайним або проєкт інноваційним, що передбачає наявність екологічних ризиків і необхідність управління ними. У таких випадках позиція ризик-менеджера є беззаперечною як члена команди проєкту.

Серед причин виникнення проєкту можуть бути як реорганізація чи реінжиніринг, так і надзвичайна ситуація тощо. Причина виникнення проєкту також є однією з умов, що визначають складність проблематики ризик-менеджменту екологічних ризиків. За надзвичайної ситуації чи під час реалізації можливостей підприємства щодо розвитку необхідність управління екологічними ризиками є високою, що передбачає наявність персоналу, який безпосередньо опікується цим питанням. Якщо причиною виникнення проєкту є реорганізація на

транспортному підприємстві, наприклад, то в цьому випадку за управління ризиками може відповідати й менеджер проекту.

У будь-якому випадку має бути забезпечено компетентний підхід до управління екологічними ризиками проектів транспортного підприємства, а наявність зазначеної проблематики та необхідність управління нею належить до відповідальності керівництва підприємства та проекту. Менеджмент транспортного підприємства та проекту мають визначити, яким чином якнайкраще, відповідно до умов, що склалися, реалізовувати ризик-менеджмент екологічних ризиків.

Визначимо систематизовані елементи механізму ризик-менеджменту транспортного підприємства.

Компоненти механізму ризик-менеджменту транспортного підприємства	
Зміст системи	планування, організація, контроль, реагування щодо управління ризиками
Узагальнена мета системи	формування та функціонування ефективної системи управління ризиками проектів із забезпеченням можливості адаптації відповідно прогнозних значень ризиків
Основні принципи системи	логічність та проактивність, структурна довершеність, врахування зовнішніх впливів, обґрунтованість, прозорість, легітимність, адекватність, контрольованість тощо.
Об'єкти системи	ризики проектів транспортних підприємств
Суб'єкти системи	вище керівництво, фахівці з ризик-менеджменту та інші співробітники
Інструменти ризик-менеджменту	традиційні методи ризик-менеджменту, а також ситуаційний метод, що застосовується на різних горизонтах з визначенням прогнозного значення ризику
Результат	забезпечення ефективності системи ризик-менеджменту транспортного підприємства шляхом її трансформації відповідно до ситуації

*Рис. 1. Основні систематизовані елементи механізму ризик-менеджменту транспортного підприємства (сформовано автором)*

За зміст системи ризик-менеджменту транспортного підприємства приймаємо основні функціональні складники, серед яких – традиційні функції, а саме планування, організація, контроль і реагування.

Зауважимо, що на рис. 1 визначили саме узагальнену мету системи, оскільки з часом вона може бути скорегована та сформульована за критеріями SMART (англ. specific, measurable, assignable, realistic, time-related – укр. конкретна, вимірювана, досяжна, реалістична, обмежена в часі). Основним аспектом є саме формування й функціонування ефективної системи управління ризиками проектів транспортного підприємства із забезпеченням можливості адаптації відповідно до прогнозних значень ризиків.

Серед основних принципів зазначаємо самі ті, що стосуються переходу до циркулярної економіки: логічність і проактивність, структурну довершеність, врахування зовнішніх впливів, обґрунтованість, прозорість, легітимність, адекватність, контрольованість. Однак передбачаємо більшу кількість принципів, що є загалом традиційними як для системи менеджменту, так і для системи ризик-менеджменту зокрема.

Як об'єкти системи ризик-менеджменту транспортного підприємства визначено ризики проектів транспортних підприємств, а суб'єктами є вище керівництво, спеціалісти з ризик-менеджменту й інші співробітники, які тим чи іншим чином мають справу з ризиками.

Як інструменти ризик-менеджменту зазначаємо традиційні, ті, що зазвичай застосовуються в управлінні ризиками, а також ситуаційний метод, який модифіковано з огляду на необхідність використання на різних рівнях, тобто оперативному, тактичному та стратегічному.

Як і мету системи, так і результат сформульовано в узагальненому вигляді з урахування особливостей роботи транспортних підприємств і їхніх проектів, що, як зазначалося раніше, характеризуються унікальністю. Отже, результат має бути уточнений і конкретизований у кожному окремому випадку, тобто під час роботи системи ризик-менеджменту певного підприємства з урахуванням особливостей його проектів.

**Висновки.** За результатами проведеного дослідження проаналізовано вплив характеристик проекту транспортного підприємства на доцільність наявності фахівця з ризик-менеджменту в проектній команді або ж відповідального за управління ризиками. Серед умов і характеристик проекту транспортного підприємства такі як наявність чи відсутність проектного офісу, рівень і масштаб проекту, терміни його реалізації, рівень учасників, характер поставленого завдання в проекті, а також причина його виникнення.

Визначено систематизовані компоненти механізму ризик-менеджменту транспортного підприємства, серед яких – зміст системи, узагальнена мета, основні принципи, об'єкти й суб'єкти системи, інструменти управління ризиками та результат. В умовах переходу до циркулярної економіки під час ризик-менеджменту екологічних ризиків доречно враховувати її принципи. Згідно з принципами циркулярної економіки, ризик-менеджмент має бути обґрунтованим, прозорим, легітимним, адекватним, контрольованим, логічним і проактивним, структурно завершеним. Також важливим є врахування зовнішніх впливів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бакуліч О.О., Кіс І.Р., Занора В.О. Тенденції управління екологічними ризиками транспортних проектів. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія «Економічні науки»*. 2020. Вип. 56. С. 62–69.
2. Бакуліч О.О., Кіс І.Р. Методичний інструментарій управління екологічними ризиками проектів підприємств транспортної галузі. *Науковий погляд: економіка та управління*. 2020. № 4 (70). С. 60–65.
3. Управління проектами в умовах переходу до циркулярної економіки / С.Д. Бушуєв, Д.А. Бушуєв, В.Б. Бушуєва, О.В. Веренич. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 45. С. 21–26.
4. Занора В.О., Войтко С.В. Управління підприємствами: планування технологічних витрат, ризик-менеджмент, мотивування, прийняття управлінських рішень : монографія. Київ, 2017. 224 с.

5. Данченко О.Б., Занора В.О. Проектний менеджмент: управління ризиками та змінами в процесах прийняття управлінських рішень : монографія. Черкаси, 2019. 278 с.
6. Занора В.О. Стратегічний аналіз як основа управління проектами розвитку підприємства. *Європейський журнал економіки та менеджменту*. 2020. № 6 (1). С. 151–157.
7. Зюсюн В.І. Методи та моделі управління екологічними ризиками в проектах розвитку транспорту : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22. Київ, 2017. 202 с.
8. Ковтун Т.А. Впровадження принципів циркулярної економіки для досягнення цілей сталого розвитку. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2020. № 3 (72). С. 22–42.
9. Руденко С.В., Ковтун Т.А. Екологізація логістики як напрямок реалізації концепції сталого розвитку. *Проектний та логістичний менеджмент: нові знання на базі двох методологій* : монографія / авт. кол. : С.В. Руденко, І.О. Лапкіна та ін. Одеса, 2020. Т. 3. С. 7–24.
10. Postan M.Ya. Optimal Planning of Integrated Logistical System Functioning Taking into Account Environment Protection. Markets, Business, and Sustainability / eds. Pias P. Vlachos and George Malindretos. Sharjah: Bentham e-Books, 2014. P. 205–219. URL: <http://ebooks.benthamscience.com/book/9781681080253>.
11. Постан М., Савельєва І., Корнієць Т. Страхування ризику простою автомашин на портовому контейнерному терміналі. *Схід. Серія «Економічні науки»*. 2015. № 8 (140). С. 48–54.
12. Скопенко Н.С. Особливості формування комплексної системи ризик-менеджменту. *Теоретичні та прикладні питання економіки*. 2016. Вип. 1 (32). С. 32–42.

#### REFERENCES

1. Bakulich, O.O., Kis, I.R., & Zanora, V.O. (2020). Trends in environmental risk management of transport projects [Tendentsii upravlinnia ekolohichnymy ryzykamy transportnykh proektiv]. *Proceedings of Scientific Works of Cherkasy State Technological University. Series: Economic Sciences*, 56, 62–69. <https://doi.org/10.24025/2306-4420.0.56.2020.201674> [in Ukrainian].
2. Bakulich, O.O., & Kis, I.R. (2020). Methodical tools for ecological risks management of projects of transport industry enterprises [Metodychnyi instrumentarii upravlinnia ekolohichnymy ryzykamy proektiv pidpriemstv transportnoi haluzi]. *Scientific view: economics and management*, 4(70), 60–65. <https://doi.org/10.32836/2521-666X/2020-70-10> [in Ukrainian].
3. Bushuyev, S.D., Bushuiev, D.A., Bushuieva, V.B., & Verenych, O.V. (2021). Project management in the transition to a circular economy [Upravlinnia proiektamy v umovakh perekhodu do tsyrkuliarnoi ekonomiky]. *Management of Development of Complex Systems*, 45, 21–26. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.45.21-26> [in Ukrainian].

4. Zanora, V.O., & Voitko, S.V. (2017). *Enterprise management: technological cost planning, risk management, motivation, management decisions* [Upravlinnia pidpriemstvamy: planuvannia tekhnolohichnykh vytrat, ryzyk-menedzhment, motyvuvannia, pryiniattia upravlinskykh rishen]. Kyiv [in Ukrainian].
5. Danchenko, O.B., & Zanora, V.O. (2019). *Project management: risk and changes management in decision-making processes* [Proektnyi menedzhment: upravlinnia ryzykamy ta zminamy v protsesakh pryiniattia upravlinskykh rishen]. Cherkasy [in Ukrainian].
6. Zanora, V.O. (2020). Strategic analysis as the basis for project management of enterprise development [Stratehichnyi analiz yak osnova upravlinnia proektamy rozvytku pidpriemstva]. *European Journal of Economics and Management*, 6(1), 151–157 [in Ukrainian].
7. Ziuziun, V.I. (2017). *Methods and models for environmental risk management in transport development projects* [Metody ta modeli upravlinnia ekolohichnymy ryzykamy v proektakh rozvytku transportu] [Doctoral dissertation, National Transport University] [in Ukrainian].
8. Kovtun, T.A. (2020). Implementation of the circular economy principles to achieve sustainable development goals [Vprovadzhennia pryntsyypiv tsyrkuliarnoi ekonomiky dlia dosiahnennia tsilei staloho rozvytku]. *Development of management and entrepreneurship methods of transport*, № 3(72), 22–42. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-3-22-42> [in Ukrainian].
9. Rudenko, S.V., & Kovtun, T.A. (2020). Greening of logistics as a direction of realization of the concept of sustainable development [Ekolohizatsiia lohistyky yak napriamok realizatsii kontseptsii staloho rozvytku. Proektnyi ta lohistrychnyi menedzhment: novi znannia na bazi dvokh metodolohii]. In S.V. Rudenko, & I.O. Lapkina, & etc., *Project and logistics management: new knowledge based on two methodologies* [Proektnyi ta lohistrychnyi menedzhment: novi znannia na bazi dvokh metodolohii] (pp. 7–24). Odesa [in Ukrainian].
10. Postan, M.Ya. (2014). Optimal Planning of Integrated Logistical System Functioning Taking into Account Environment Protection. In Ilias P. Vlachos, & George Malindretos (eds). *Markets, Business, and Sustainability* (pp. 205–219). Bentham e-Books. URL: <http://ebooks.benthamscience.com/book/9781681080253>.
11. Postan, M., Savelieva, I., & Korniets, T. (2015). Insurance of downtime's risk of vehicles at the port's container terminal [Strakhuvannia ryzyku prostoiu avtomashyn na portovomu konteinerenom terminali]. *Skhid. Series «Economic sciences»*, № 8(140), 48–54. [https://doi.org/10.21847/1728-9343.2015.8\(140\).59632](https://doi.org/10.21847/1728-9343.2015.8(140).59632) [in Ukrainian].
12. Skopenko, N.S. (2016). Features of the formation of a comprehensive system of risk management [Osoblyvosti formuvannia kompleksnoi systemy ryzyk-menedzhmen.tu]. *Theoretical and applied issues of economics*, 1(32), 32–42 [in Ukrainian].

## КОНЦЕПЦІЯ ЕКОЛОГІСТИЧНОЇ МОДЕЛІ МОРСЬКОГО ПОРТУ В УМОВАХ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

І.М. Майорова<sup>1</sup>, В.П. Литвиненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.е.н., професор,

професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,

Азовський морський інститут Національного університету

«Одеська морська академія», м. Маріуполь, Україна,

ORCID ID: 0000-5703-4338-4675

<sup>2</sup>к.т.н., доцент,

завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,

Азовський морський інститут Національного університету

«Одеська морська академія», м. Маріуполь, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-7814-4157

### Анотація

**Вступ.** Обрання морського порту як об'єкта, де використовується екологістичний підхід, пояснюється тим, що саме морські порти в будь-якій країні є її найпотужнішим і виробничим, і транспортним, і торгівельним потенціалом. Саме морські порти забезпечують транспортну незалежність країни, є найважливішою ланкою її зовнішньої торгівлі й несуть комерційні і стратегічні перспективи з використання її транзитного потенціалу. Адаптація морського порту до вимог циркулярної економіки дає змогу йому покращити власні стратегічні перспективи, розширити транзитні можливості й виступати в ролі форварда зовнішньої торгівлі регіону або країни в цілому. **Мета статті** – розробити концепцію екологістичної моделі морського порту, яка налічує й екологічні, й економічні, і соціальні компоненти, позитивно впливає на становище всіх трьох і покращує їх. **Результати.** Обґрунтовано необхідність розглядати морський порт не як окрему систему або об'єкт, а враховувати, що транспортна система морського порту нерозривно пов'язана з транспортною системою міста, регіону, має тісний контакт і залежність із транспортними системами вантажовласників, вантажоспоживачів, судноплавних і транспортних компаній, з магістральним транспортом. Розроблено авторську концепцію екологістичної системи морського порту, яка ґрунтується на екологічних, економічних і соціальних стратегіях, що змістовно розширюються для кожної зі стратегій, має власний вплив на кожну з них. Сформульовано вимоги до функціонування екологістичних моделей. Запропоновано доповнити наявні наукові розробки з екологістичних моделей, саме для морського порту, компонентами мобільності й безпечності. **Висновки.** Показано, традиційний прояв сучасних підходів до екологізації на рівні виробництва, а саме: очисні споруди, маловідходні технології, пристрої з переробки відходів, екологічні матеріали, мало забруднюючі технології тощо; на рівні мотиваційних заходів і принципів – принцип «забруднювач сплачує», ефективна форма його реалізації – наявні платежі за використання природних

ресурсів і забруднення середовища є недосконалими та малоефективними. Розроблено екологістичну модель морського порту як транспортного об'єкта, яка дає змогу регулювати екологічну й логістичну ситуації й у морському порту, і в транспортних системах міста, регіону та зв'язаних із морським портом виробників вантажів, вантажоутримувачів. Розроблена екологістична модель морського порту визначається цілісністю й роздільністю, наївністю зв'язків, організацією, інтегрованими властивостями та являє собою взаємопов'язану сукупність її складників, їх функції й керівні впливи.

**Ключові слова:** логістика, екологія, транспорт, морський порт, економіка, екодеструктивний вплив, система, екологістика, модель.

### ECOLOGICAL LOGISTICS MODEL OF THE SEAPORT IN A CIRCULAR ECONOMY

I.M. Mayorova<sup>1</sup>, V.P. Litvinenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctor of Economics, Professor,  
Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants,  
Azov Maritime Institute National University "Odessa Maritime Academy", Mariupol, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-5703-4338-4675

<sup>2</sup>candidate of technical sciences, assistant professor,  
assistant professor of the Department of Operation of Ship Power Plants,  
Azov Maritime Institute National University "Odessa Maritime Academy", Mariupol, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-7814-4157

#### **Summary**

**Introduction.** The choice of the seaport as an object where an ecological approach is used is explained by the fact that the seaports in any country are its most powerful in terms of production, transport and trade. It is the seaports that ensure the country's transport independence, are the most important part of its foreign trade and carry commercial and strategic prospects for the use of its transit potential. The adaptation of the seaport to the requirements of the circular economy allows it to improve its own strategic prospects, expand transit opportunities and act as a foreign trade forward of the region or the country as a whole. The **purpose** of the article is to develop the concept of the ecological model of the seaport, which includes both environmental, economic and social components, has a positive impact on the situation of all three and improves them. **Results.** It is justified to consider the seaport not as a separate system or object, but to take into account that the transport system of the seaport is inextricably linked with the transport system of the city, region, has close contact and dependence with transport systems of cargo owners, cargo consumers, shipping and transport companies with trunk transport. The author's concept of the ecological system of the seaport is developed, which is based on ecological, economic and social strategies, which are meaningfully expanded for each of the strategies, has its own influence on each of them. Requirements for the functioning of environmental models are formulated. It is proposed to supplement the existing scientific developments on environmental models, namely for the seaport, with components of mobility and security. **Conclusions.** It is shown that the traditional manifestation of modern approaches to greening at the level of production, namely: treatment plants, low-waste technologies, waste processing

*devices, environmental materials, low-polluting technologies, etc.; at the level of motivational measures and principles – the principle “the polluter pays”, the effective form of its implementation – the available payments for the use of natural resources and environmental pollution are imperfect and inefficient. An ecological model of the seaport as a transport object has been developed, which allows to regulate the ecological and logistical situation both in the seaport and in the transport systems of the city, region and seaport-related cargo producers, cargo holders. The developed ecological model of the seaport is determined by the integrity and separation, naivety of connections, organization, integrated properties and is an interconnected set of its components, their functions and controlling influences.*

**Key words:** *logistics, ecology, transport, seaport, economy, Eco destructive influence, system, ecology, model.*

**Вступ.** Вимоги циркулярної економіки ставлять нові завдання перед суб'єктами господарювання. До роботи морських портів завжди ставилися вимоги відповідності, які необхідно виконувати, щоб залучати вантажі, споживачів портових послуг, мати зв'язки з іншими територіями й державами. Морські торговельні порти будь-якої держави є складниками її транспортної системи, промисловими, комерційними й торговельним центрами, зв'язками між іншими державами, територіями, центрами розподілу вантажів і центрами інформаційного забезпечення.

Циркулярна економіка ставить перед морськими портами завдання економічного, екологічного й соціального розвитку, що зумовлює зростання витрат на організацію навантажувальних, розвантажувальних і складських робіт, на впровадження оперативних змін у цих технологіях і забезпечення надійності транспортно-технологічного обладнання основного виробничого процесу морського порту, до морських портів також висувуються екологічні вимоги з обов'язковим виконанням усіх природно-охоронних заходів, платежів тощо, як для будь-якого суб'єкта господарювання.

**Постановка проблеми.** У загальній більшості підходів морський порт прийнято розглядати як окремий суб'єкт господарювання, як замкнену систему й в економічних, і в екологічних, і в соціальних дослідженнях. Насправді морський порт має власну транспортну систему, яка безпосередньо взаємодіє з транспортними системами міста, транспортними системами виробників, відправників, замовників вантажів, міським і магістральним транспортом. Вітчизняні реалії такі, що в більшості випадків вантажі транспортуються в морський порт по залізничних коліях, які проложені через курортні зони, зони відпочинку, уздовж морського узбережжя, у деяких містах морські порти знаходяться в центрі міста.

На думку авторів, некоректно окремо розглядати морський порт, бо він є частиною міста, він є ланкою і збутового, і зовнішньоекономічного ланцюга цілого регіону. Морський порт у вітчизняному випадку досить часто виступає в ролі містоутворювального підприємства, від наслідків діяльності якого залежить рівень транспортної насиченості місцевих магістралей і доріг, рівень розвитку транспортної інфраструктури території, рівень соціального становища на цій території, її екологічна безпека й потенціал життєдіяльності.

Найпростіше – будь-який вантаж сам по собі переміщатися в просторі не може, він завжди на чомусь транспортується. Тобто існують дороги, по яких вантаж перевозиться, і транспортні засоби, на яких вантаж перевозиться.

Розповсюдженням серед науковців є підхід, коли ефективність транспортного процесу вимірюється розміром прибутку, виконанням термінів постачання. Проблема такого підходу полягає в тому, що в більшості наукових публікацій не враховували екологічний складник транспортного процесу, який залежить не тільки від економічних умов і вимог, а й від робочого стану транспортних засобів і доріг, від терміну експлуатації транспортного обладнання, від його екологічної безпечності, яка, до речі, напряду залежить від терміну експлуатації транспортного засобу й року його виробництва. Загалом транспортна сфера, тобто й засоби транспорту, і процеси транспортування, і технології, є джерелом екодеструктивної дії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом особлива увага провідної наукової думки спрямована на дослідження «циркулярної економіки» («circular economy»), можливості впровадження її концепції, принципів, розробку методів і підходів до використання промисловими об'єктами господарювання та практичної реалізації.

М. Гур'єва [1] зробила згрупування наявних понять «циркулярна економіка» за періодами її становлення: глобальна економічна модель (2004 р.); діяльність (2007 р.); новий тренд 4.0 (2013 р.); економічна модель (2015 р.); виробнича система (2016 р.); економічна діяльність, інструмент (2017 р.); філософія, економіка (2018 р.) [2, с. 12]. Експерти Оксфордського університету у 2019 році провели інтерв'ювання з учасниками Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE) [3], на основі якого зробили таке тлумачення поняття «циркулярна економіка»: «... економіка замкнутого циклу являє собою регенеративний за своїм задумом тип економіки, який має на меті збереження якомога більшої цінності продуктів, їх складових частин і матеріалів, чиє зростання не стимулюється й не залежить від використання обмежених ресурсів» [2, с. 9].

Т. Ковтун у дослідженні [4] показала, що циркулярна економіка є перехідною до екологічної економіки. Циркулярна економіка має п'ять бізнес моделей, упровадження яких можливо завдяки комбінації її процесів у фреймворки різного ступеня складності, взаємодія між ними забезпечується на принципах індустріального метаболізму та симбіозу, забезпечення ресурсами відбувається в каскадному режимі, а саме: відходи одного виробництва є сировиною для іншого, що забезпечує зменшення деструктивного впливу на довкілля. У публікації Т. Ковтун зазначила також, що впровадження принципів циркулярної економіки висуває нові вимоги до логістичних систем. Насамперед відбувається об'єднання звичайних процесів прямого ланцюга постачання зі зворотними логістичними процесами.

Питаннями впровадження екологічних концепцій і підходів у логістичних системах займалися С.Д. Джонсон, Д.Ф. Вуд, Д.Л. Вордлоу, Мерфи-мл. Р. Поль [5], Н. Бамтдаретен [6], І. Гупфер [7; 8], М. Гюльсман [9], Д. Вебер [10; 11], Г. Куметштайнер [12]. Аналіз наукових здобутків вищеназваних авторів дає змогу зробити такі узагальнення: по-перше, суто логістичні принципи є основою екологістики, а не навпаки; по-друге, сучасність вимагає присутності екології в логістичних ланцюгах.

Вітчизняні науковці О. Минх і Б. Гречин [13] опублікували результати дослідження впровадження принципів екології на вітчизняному підприємстві; показали на різних рівнях управління тісні взаємозв'язки при впровадженні енергоощадних технологій у таких підрозділах діяльності підприємства, як постачання, виробництво, збут; визначили практичну цінність екології в царинах діяльності промислового підприємства; проаналізували зовнішні та внутрішні чинники впливу на процеси реструктуризації бізнесу промислового підприємства на засадах екології.

Б. Гречин у роботах [14; 15; 16] опублікував результати опитування зарубіжних і вітчизняних виробників щодо запровадження у виробничий процес принципів екології, де екологіка є органічним складником загальної виробничої стратегії фірми і стратегією її подальшого розвитку.

На сторінках журналу «Розвиток транспорту» Т. Ковтун у роботах [22; 23] проводила внутрішнє дослідження екологічних систем. Так, у публікації [22] автор дослідила зміни в структурі і тривалості життєвого циклу проекту екологічної системи залежно від його екологічної орієнтації та рівня ефективності, де критерієм ефективності обрано дисконтований термін окупності, з урахуванням специфічних особливостей потоків коштів упродовж життєвого циклу проекту екологічної системи. У праці також названо фази життєвого циклу проекту екологічної системи, кожна фаза напряму пов'язана і власним екологічним станом і наступна фаза настає тільки тоді, коли в системі відбулася екологічна рівновага.

У роботі [23] Т. Ковтун провела фреймове моделювання продуктів проекту екологічної системи й розробила модель і мережу продуктів проекту екологічної системи, які є похідними від змісту та конфігурації продуктів проекту. Конфігурація продуктів фаз життєвого циклу проекту полягає в представленні їх сумісної структури з визначенням причинно-наслідкових зв'язків між характеристиками, що визначають зміст продуктів.

У праці І. Азарової [17] зроблена комплексна оцінка Одеського морського порту на базі концепції сталого розвитку. Автор проаналізував діяльність Одеського морського порту за такими напрямками, як економічний, соціальний і стратегічний аналіз діяльності порту; містоутворювальна функція діяльності порту; екологічний аналіз діяльності порту. Таким чином, у публікації І. Азарової оприлюднено наукове дослідження щодо морського порту, яке охоплює й діяльність самого порту, і соціальне становище в морському порту, й екологічний складник, саме за такими показниками рекомендується досліджувати виробничу діяльність морських портів, які висуває концепція сталого розвитку до таких об'єктів критичної інфраструктури. У публікації [17] більше наукових пошуків спрямовано в площину містоутворювальної місії морського порту, саме екологічні проблеми досліджено досить коротко.

Особливостями розбудови морських логістичних систем присвячено праці С. Крижановського [18], В. Чкаловца [19], Ю. Васькова [20], Б. Козиря [21] та ін. У жодній із цих робіт не розглядається впровадження екологічних принципів у морських портах і логістичних системах.

**Формулювання цілей статті.** Мета статті – спираючись на раніше викладені наукові здобутки, розбудувати сучасну концепцію екологічної моделі морського порту.

**Виклад основного матеріалу.** Екологістична модель морського порту повинна відповідати вимогам системи екологічного менеджменту. Система екологічного менеджменту впроваджується державним підприємством «Адміністрація морських портів України» на підпорядкованих підприємствах відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirement with guidance for use («Система екологічного менеджменту – вимоги та настанови щодо застосування») [24] і національного стандарту ДСТУ ISO 14001:2015 [25]. Ці стандарти впроваджуються в діяльність морських портів з метою вдосконалення управлінської діяльності з охорони навколишнього середовища, скорочення їх шкідливого впливу на довкілля, бездоганного виконання природоохоронного законодавства й підвищення міжнародного іміджу вітчизняних морських портів.

Логістичні системи (далі – ЛС), у яких ураховуються екологічні вимоги, тобто їх структура дає змогу знижувати шкідливий вплив на навколишнє й виробниче середовище, з ефективним використанням енергії та ресурсів теоретично, розподіляються на чотири групи: 1) транспортні ЛС; 2) внутрішньоскладські ЛС; 3) логістична нерухомість; 4) логістичне планування [14, с. 172]. Господарство морських портів об'єднує на власній території всі види транспорту, сприяє перетворенню транспортного комплексу порту в складову частину складної виробничо-транспортної системи всієї країни, впливає на ефективний розвиток прилеглих промислових та аграрних регіонів. В умовах високої вартості природно-енергетичних ресурсів виникає завдання їх раціонального використання портовими комплексами.

Циркулярна економіка ставить перед морськими портами завдання економічного, екологічного й соціального розвитку, що зумовлює зростання витрат на організацію навантажувальних, розвантажувальних і складських робіт, на впровадження оперативних змін у цих технологіях і забезпечення надійності транспортно-технологічного обладнання основного виробничого процесу морського порту, до морських портів також висуваються екологічні вимоги з обов'язковим виконанням усіх природно-охоронних заходів, платежів та ін., як для будь-якого суб'єкта промисловості. Таким чином, спираючись на напрацьовані здобутки в джерелах [13; 15, с. 214], розбудуємо екологістичну концепцію морського порту (рис. 1). За авторською задумкою, екологістична концепція морського порту (рис. 1) повинна складатися з чотирьох стратегій: перша – скорочення викидів шкідливих речовин як у межах самого порту, так і в навколишнє середовище. Ця стратегія має два напрями: перший пов'язано з логістичною оптимізацією виробничих процесів з метою зведення нанівець негативного впливу шумів, вібрації, забруднювачів повітря, особливо парникових газів та озоноруйнівних; другий – пов'язано з рециклінгом відходів. Друга стратегія більше стосується ресурсозбереження і скорочення споживання невідновлювальних і частково відновлювальних ресурсів, вирішувати яку пропонується двома підходами: по-перше, упровадженням логістичних процесів, спрямованих на використання альтернативних джерел енергії, по-друге, екологоорієнтоване логістичне управління частково-відновлювальними ресурсами, наприклад, водними, земельним ділянками. Можна сказати, що перша і друга стратегії більш схильні до суто екологічного наповнення і спрямованості.

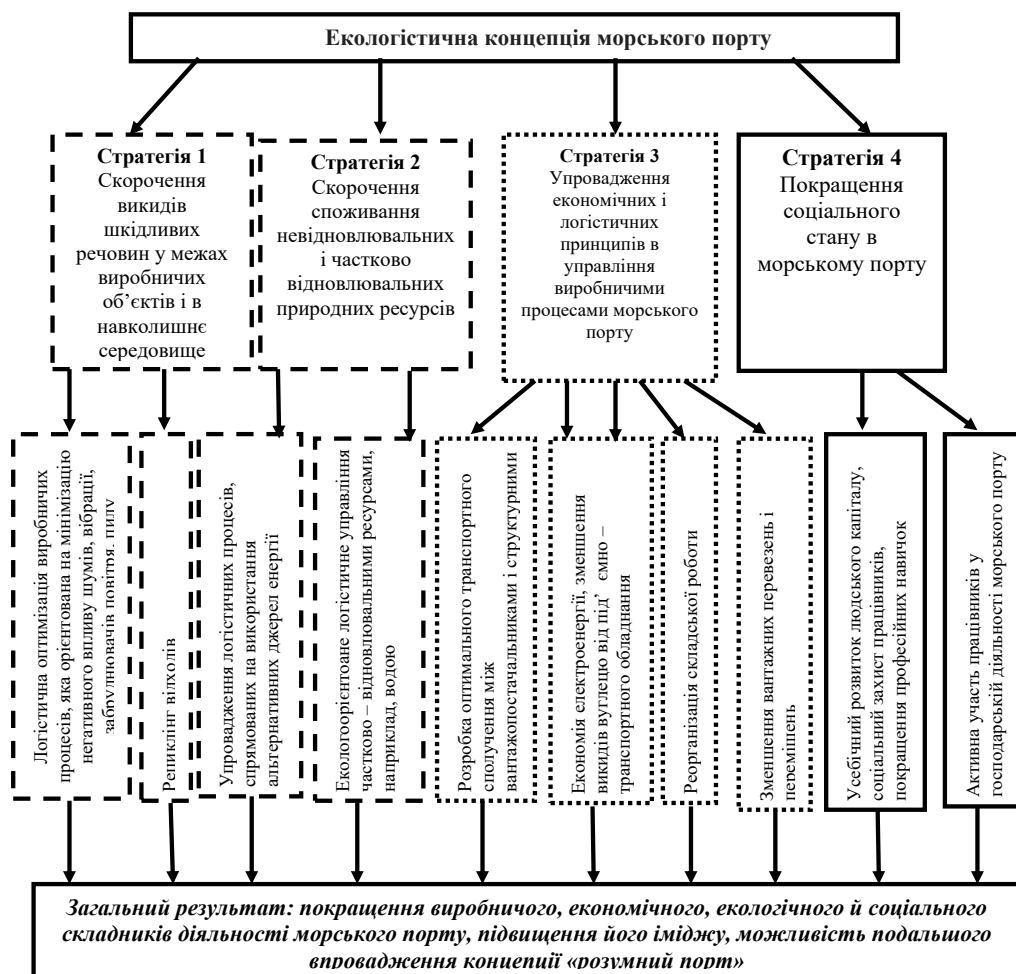


Рис. 1. Екологістична концепція морського порту

Джерело: розроблено автором за [13, 15, 17, 22]

Третя стратегія стосується впровадженням економічних і логістичних принципів управління виробничими процесами в порту, до більшої конкретизації цієї стратегії варто віднести вдосконалення транспортних маршрутів між виробниками, вантажопостачальниками й морським портом, розробка оптимального транспортного сполучення між вантажопостачальниками і структурними підрозділами морського порту в комбінації з інфраструктурними шляхами магістрального, міського та спеціального транспорту, створення скорочених маршрутів доставки вантажів у морський порт, що зменшує витрати дизельного палива та викидів вуглецю, пилу, важких металів, кислотних газів, оксидів азоту й летучих органічних сполук, зменшення навантаження на транспортні магістралі міста. Третя стратегія, власне, більше містить логістичні вимоги й підходи.

Четверта стратегія стосується соціальних показників, а саме: підвищення рівня освіти працівників морського порту, покращення професійних навичок, автоматизації виробничих процесів, поширення вживання інтернет ресурсів у виробничих

процесах, соціального захисту працівників, активної участі працівників порту в господарській і економічній діяльності, а не тільки участі в розподілі доходів; ощадливе використання природних ресурсів і захист навколишнього середовища; ощадливе поводження з відходами, їх сортування, вторинне використання; мобільність працівників, підвищення кваліфікації, інформаційна рівновага серед робітників порту, медичне страхування.

У публікації [26] Т. Ковтун пропонує під екологістичною системою (далі – ЕЛС) розуміти логістичну систему як сукупність елементів-ланок, взаємозв'язаних у процесі управління рухом прямих і зворотних логістичних потоків, що враховує екодеструктивний вплив на довкілля. Спираючись на це, автори пропонують до екологістичних моделей сучасного морського порту, через які забезпечується регулювання екологічної ситуації й логістичних завдань порту як об'єкта транспортної галузі, задати вимоги, а саме:

- отримання повної й адекватної екологічної інформації щодо екологічної ситуації на території морського порту і прилеглих до нього районів;
- модель повинна формувати досить повну множину альтернативних сценаріїв, які ґрунтуються на моніторингу і прогнозуванні наявної екологічної ситуації й інтегральної оцінки результатів цього прогнозу;
- модель повинна готувати науково обґрунтовані рішення й можливості обрання раціональних регулювальних заходів, у тому числі й оперативних, зі зниження негативного та руйнівного впливу екологістичної системи на навколишнє середовище й запобігання йому.

Складне просторове середовище морського порту формується в процесі розвитку виробничих, технічних, соціальних, екологічних і технологічних вимог сучасності й загалом являє собою специфічний вид оточення, який протиставлений природному навколишньому середовищу. Морський порт характеризується високою компактністю, щільністю освоєння територій і комунікаційною насиченістю території. Економічний простір морського порту можна розділити на підсистеми виробництва і споживання, а зв'язком між ними буде транспорт як, власне, морського порту, тобто внутрішній транспорт, і зовнішній, на якому вантажі прибувають до морського порту і з якого вивозяться. Кожна з підсистем, як і транспорт, напряму використовує природні ресурси й утворює відходи: матеріальні відходи, тобто відходи у вигляді матеріальних субстанцій, які викидаються в повітря, скидаються у водойми, розміщуються на землі або закопуються в землю; відходи енергетичні у вигляді тепла, шумів, магнітних полів, вібрацій, радіоактивності, випромінювання тощо.

У запропонованій екологістичній моделі морського порту функціонують господарюючі суб'єкти, власне, самого порту, підприємства різної форми власності й цільового призначення. Вантажні перевезення цих складників екологістичної системи значно впливають на економічну, соціальну та екологічну ситуацію в самому морському порту й ситуацію міста, де розміщено морський порту, і ситуацію території. Таким чином, від роботи цих господарюючих суб'єктів формується рівновага екологічної і транспортної безпеки за умов ефективного функціонування всієї системи. З багатьох досліджень економічних і соціальних явищ, властивостей природних і техногенних катастроф, розподілу збитків від

них можна зробити висновки, що 80% екологічних збитків виникають із 20% вантажних перевезень [27, с. 131].

У роботі [26] Т. Ковтун наведено принципи, за якими функціонують екологістичні системи, а саме: два принцип екології (мінімальний рівень споживання ресурсів і мінімальний деструктивний вплив на довкілля; і сім принципів логістики: необхідний товар/продукт, необхідної якості, у необхідній кількості, з необхідним рівнем витрат (мається на увазі мінімальним рівнем витрат), у необхідному місці, у необхідний час, необхідному споживачеві. Стосовно екологістичної моделі морського порту автори вважають необхідним додати такі компоненти, як зручність/мобільність і безпечність.

До поняття мобільності екологістичної моделі морського порту пропонується долучити частоту поїздок, завантаженість транспортних засобів, найбільшу частоту поїздок, яка спостерігається в часі за добу, сезонність, умови середовища, мається на увазі повені, снігові замети, ожеледиця; мобільність проходження транспортом вулицями й дорогами території або міста, мобільність постачання, до якої автор пропонує залучити відправлення ресурсів, напівфабрикатів, готової продукції промисловими підприємствами міста, що розташовані в географічних межах морського порту або на території, яку морський порт обслуговує; мобільність транзиту матеріальних потоків, які проходять територією цього морського порту залежно від графіка постачання.

Інформаційна мобільність, яка здатна швидко давати правдиву і зважену інформацію щодо стану доріг, завантаженості маршрутів, кількості транспортних одиниць на них у конкретний момент часу. Інформаційні потоки, які циркулюють в екологістичній системі морського порту, як внутрішні, так і зовнішні, утворюють інформаційну систему мобільних процесів як структуру, яка вміщує об'єкти, процедури, процеси, технології й персонал, що з'єднані інформаційним потоком.

Екологістична модель морського порту, таким чином, являє собою взаємопов'язану сукупність її складників, їх функції й керівні впливи, яка визначається цілісністю й роздільністю, наївністю зв'язків, організацією, інтегрованими властивостями. Цілісність і роздільність екологістичної системи морського порту означає, що вона являє собою єдину систему, а з іншого боку, у ній можна виділяти й аналізувати підсистеми транспортних об'єктів.

Як показник цілності й роздільності екологістичної системи можна запропонувати використовувати ступінь включення підсистем у систему  $T_s$ . Спираючись на результати, що викладено в монографії [27, с. 140] з посиланням на джерела [28; 29; 30], автори пропонують прийняти умови, якщо:

$T_s > 0$  – підсистема включена до екологістичної системи морського порту й розглядається в його географічній території в його межах;

$T_s < 0$  – підсистема не належить екологістичній системі морського порту;

$T_s = 0$  положення підсистеми не визначено.

Такий підхід дає можливість аналізувати й оцінювати замкненні та розімкненні властивості екологістичних систем промислових і муніципальних об'єктів.

**Висновки.** Циркулярна економіка має дві принципові особливості в процедурах екологічного управління порівняно з попередніми. Перша особливість полягає в тому, що всі процедури екологічного управління послідовно наближаються

до уніфікації, мають стандартний набір дій, які відбуваються в конкретній послідовності. Якщо раніше стандартизації підлягало становище виробничої системи, то зараз стандартизації підлягають процеси, які характеризують перехід одного стану системи в інший, що краще підлягає дослідженню з точки зору логістичного підходу.

Друга особливість полягає в тому, що якщо раніше вживалися заходи щодо того, щоб оминати або вберегтися від екологічно несприятливих змін у виробничій системі, наприклад, морського порту, то зараз акцент робиться на тому, щоб зміни в виробничих системах не мали несприятливі тенденції розвитку подій.

Розроблено концепцію екологістичної моделі морського порту, яка налічує взаємопов'язані між собою чотири стратегії: дві екологічні, економічну й соціальну. Запропоновано вимоги до екологістичної моделі морського порту, через яку забезпечується регулювання екологічної ситуації і логістичних завдань порту як об'єкта транспортної галузі, а саме: повна й адекватна інформації щодо екологічної ситуації на території морського порту й прилеглих до нього районів; на основі постійного моніторингу екологічної ситуації модель формує досить повну множину альтернативних сценаріїв та оцінює результати цього прогнозу; результатами роботи моделі є науково обґрунтовані рішення й можливості обрання раціональних регулювальних заходів зі зниження негативного та руйнівного впливу екологістичної системи на навколишнє середовище й запобігання йому.

Запропоновано вже наявні принципи функціонування екологістичних систем, а саме: мінімальний рівень споживання ресурсів і мінімальний деструктивний вплив на довкілля, необхідний товар/продукт, необхідної якості, у необхідній кількості, з мінімальними витратами, у необхідному місці, у необхідний час, необхідному споживачеві – доповнити компонентами безпеки й мобільності.

Доведено, що екологістична модель морського порту є й цілісною розділеною системами. Як показник цільності й роздільності екологістичної системи запропоновано використовувати ступінь включення підсистем у систему.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гурьева М.А. Теоретические основы концепта циркулярной экономики. *Экономические отношения*. 2019. Т. 9. № 3. С. 2311–2336. URL: <https://doi.org/10.18334/eo.9/3/40990> (дата звернення: 28.09.2021).
2. Трушкіна Н.В. Циркулярна економіка: становлення концепції, еволюція розвитку, бар'єри, проблеми і перспективи. *Вісник економічної науки України*. 2021. № 1 (40). С. 9–20. URL: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).9-20](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).9-20) (дата звернення: 28.09.2021).
3. Haney A., Krestyaninova O., Love Ch. *The Circular Economy Boundaries and Bridges*. Oxford: Said Business School, University of Oxford, 2019. URL: <https://www.sbs.ox.ac.uk/sites/default/files/2019-09/the-circular-economy.pdf> (дата звернення: 28.09.2021).
4. Ковтун Т.А. Впровадження принципів циркулярної економіки для досягнення цілей сталого розвитку. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті* : збірник наук. праць. 2020. № 3 (72). С. 22–42.

5. Современная логистика / С.Д. Джонсон, Д.Ф. Вуд, Д.Л. Вордлоу, Мерфи-мл. Р. Поль ; пер. с англ. 7-е издание. Москва : Издательский дом «Вильямс», 2002. 624 с.
6. Baumgarten H. Supply Chain Steuerung und Services. Logistik Dienstleister managen globale Netzwerke Best Practices H. Baumgarten, I.-L. Darkow. H. (Hg.) Zadek. Berlin : Springer ; Auflage, 2004. 293 p.
7. Göpfert I. Logistik Führungskonzeption: Gegenstand, Aufgaben und Instrumente des Logistikmanagements und Controllings. Vahlen Franz GmbH, 2005. 420 p.
8. Göpfert I. Logistik-Controlling der Zukunft. *Controlling-Wissen*. 2001. № 7. P. 300–350.
9. Hülsmann M., Grapp J. Nachhaltigkeit und Logistik-Management. Konzeptionelle Betrachtungen zu Kompatibilität Komplexität Widersprüchen. Selbststeuerung. G. MüllerChrist, L. Arndt, I. Ehnert (Hrsg.): *Nachhaltigkeit und Widersprüche Eine Managementperspektive*. LIT Verlag. Hamburg, 2007. P. 83–126.
10. Weber J. Logistikkostenrechnung. Kosten, Leistungs- und Erlös-Informationen zur erfolgsorientierten Steuerung der Logistik Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, 2012. 389 p.
11. Weber J., Blum H. Logistik-Controlling – Konzept und empirischer Stand. *Kostenrechnungspraxis Zeitschrift für Controlling Accounting & System-Anwendungen*. 2001. 45 Jg. Heft-Nr. 5. P. 275–282
12. Kummelsteiner G. Handbuch «Ökologistik». Hochschule Amberg-Weiden, 2011. 115 S.
13. Мних О.Б. Стратегічна роль екологістики в розвитку підприємства в умовах поглиблення екологічної кризи в Україні. *Економічний аналіз : збірник наук. праць / Тернопільський національний економічний університет*. Тернопіль : Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2016. Том 23. № 2. С. 108–118.
14. Гречин Б.Д. Змістовна характеристика методів оцінки негативного впливу виробничої та логістичної діяльності підприємства в контексті стратегічного розвитку екологістики в Україні. *Бізнес Інформ*. 2016. № 4. С. 169–176. URL: [https://www.business-inform.net/annotate/doctype/?year=2016&abstract=2016\\_04\\_0&lang=ua&stqa=25](https://www.business-inform.net/annotate/doctype/?year=2016&abstract=2016_04_0&lang=ua&stqa=25) (дата звернення: 17.09.2021).
15. Гречин Б.Д. Екологістика як перспективний напрямок розвитку підприємництва: закордонний досвід. *Сталий розвиток економіки*. 2013. № 4 (21). С. 213–217.
16. Гречин Б.Д. Розвиток екологістики як процес активізації інноваційної діяльності підприємницьких структур. *Вісник НУБГП. Серія «Економічні науки»*. 2016. Вип. № 4 (76). С. 62–74.
17. Азарова І.Б. Комплексна оцінка Одеського морського порту на базі концепції сталого розвитку. *Розвиток транспорту*. 2018. № 2 (3). С. 75–89. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2018.2-3.08> (дата звернення: 01.10.2021).

18. Крыжановський С.В. Морские торговые порты Украины в рыночных условиях : монография. Одесса : Астропринт, 2008. 184 с.
19. Чкаловец В. Транспорт как отрасль материального производства. *Судоходство*. 2008. № 3. С. 24–27.
20. Васьков Ю.Ю. Концессия является понятной для всех. ЦФТС. URL: <http://cfts.org.ua/opinions/47670> (дата звернення: 05.10.2021).
21. Козырь Б.Ю. Кластерные системы в проектах развития морских торговых портов Украины. *Национальный университет кораблестроения. Серия «Управление проектами»*. 2011. С. 99–102.
22. Ковтун Т.А. Особливості визначення строку окупності проекту екологічної системи. *Розвиток транспорту*. 2020. № 2 (7). С. 30–41. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2020.2-7.03> (дата звернення: 01.10.2021).
23. Ковтун Т.А. Фреймове моделювання продуктів проекту екологічної системи. *Розвиток транспорту*. 2020. № 1 (6). С. 17–29. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.02> (дата звернення: 01.10.2021).
24. ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. URL: <https://www.iso.org/standard/60857.html> (дата звернення: 01.10.2021).
25. ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Національний стандарт України. [Чинний від 2016-02-12]. Видання офіційне. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
26. Ковтун Т.А. Екологістична система як результат трансформації світоглядної концепції людства на еколого-орієнтований сталий розвиток. *Науково-технічний журнал*. № 2 (22). 2020. С. 42–53.
27. Губенко В.К. City Logistics: имплементация парадигмы креативных логистических цепей: монография. Мариуполь, 2015. 493 с.
28. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва : Наука, 1968. 356 с.
29. Горбачев П.Ф. Основы теории транспортных систем. Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2002. 202 с.
30. Губенко В.К., Лямзин А.О. Ситилогистические методы организации приоритетного движения грузового транспорта в крупных промышленных районах. *Логістика промислових регіонів : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. Донецьк, 2013. С. 17–19.

#### REFERENCES

1. Gureva, M. A. (2019). The theoretical basis of the concept of circular economy. [Teoreticheskie osnovy kontsepta tsirkulyarnoy ekonomiki]. *Journal of International Economic Affairs*, 9(3), pp. 2311-2336. <https://doi.org/10.18334/eo.9.3.40990> [in Russian].
2. Trushkina, N. V. (2021). Circular Economics: Concept Formation, Evolution of Development, Barriers, Problems and Prospects. [Tsyrukuliarna ekonomika: stanovlennia kontseptsii, evoliutsiia rozvytku, bariery, problemy i perspektyvy.] *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*,

- 1 (40), pp. 9-20. doi: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1\(40\).9-20](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.1(40).9-20) [in Ukrainian].
3. Haney, A., Krestyaninova, O., Love, Ch. (2019). *The Circular Economy Boundaries and Bridges*. Oxford, Said Business School, University of Oxford. Retrieved from <https://www.sbs.ox.ac.uk/sites/default/files/2019-09/thecircular-economy.pdf> [in English].
  4. Kovtun, Tetiana (2020). Implementation of the circular economy principles to achieve sustainable development goals. [Vprovadzhennia pryntsyypiv tsyrkuliarnoi ekonomiky dlia dosiahnennia tsilei staloho rozvytku]. *Rozvytok metodiv upravlinnia ta hospodariuvannia na transporti: Zb. nauk. prats 3 (72), 22-42*. DOI 10.31375/2226-1915-2020-3-22-42 [in Ukrainian].
  5. *Modern logistics (2002) [Sovremennaia logistika]* Dzhonson S. D., Vud D. F., Vordlou D. L., Merfi-ml. Pol R. ; per. s angl. 7-e izdanie. M. : Izdatelskii dom «Viliams», 2002. – 624 c. [in Russian].
  6. Baumgarten H. (2004) *Supply Chain Steuerung und Services. Logistik Dienstleister managen globale Netzwerke- Best Practices* / H. Baumgarten, I.-L. Darkow. – H. (Hg.) Zadek; Berlin : Springer; Auflage. 2004 – 293 p. [in English].
  7. Göpfert I. (2005) *Logistik Führungskonzeption: Gegenstand, Aufgaben und Instrumente des Logistikmanagements und – Controllings* / I. Göpfert. – Vahlen Franz GmbH, 2005. – 420 p. [in English].
  8. Göpfert I. (2001) *Logistik-Controlling der Zukunft* / I. Göpfert // *Controlling-Wissen*. – 2001. – №. 7. – P. 300–350 [in English].
  9. Hülsmann M. (2007) *Nachhaltigkeit und Logistik-Management – Konzeptionelle Betrachtungen zu Kompatibilität – Komplexität – Widersprüchen – Selbststeuerung* / M. Hülsmann, J. Grapp. In: G. MüllerChrist, L. Arndt, I. Ehnert (Hrsg.): *Nachhaltigkeit und Widersprüche – Eine Managementperspektive*. LIT Verlag. – Hamburg, 2007. – P. 83–126 [in English].
  10. Weber J. (2012) *Logistikkostenrechnung. Kosten-, Leistungs- und Erlösinformationen zur erfolgsorientierten Steuerung der Logistik* / J. Weber. – Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG; 2012. – 389 p [in English].
  11. Weber J. (2001) *Logistik-Controlling – Konzept und empirischer Stand* / J. Weber, H. Blum // *Kostenrechnungspraxis Zeitschrift für Controlling Accounting & System-Anwendungen*. – 2001. – 45 Jg. – Heft-Nr. 5. – P. 275–282 [in English].
  12. Kummstein G. (2011) *Handbuch «Ökologistik»* / G. Kummstein. – Hochschule Amberg-Weiden, 2011. – 115 S. [in English].
  13. Mnykh, O. B. (2016) *The strategic role of ecology in the development of the enterprise in the deepening of the ecological crisis in Ukraine. [Stratehichna rol ekolohistyky v rozvytku pidpriemstva v umovakh pohlyblennia ekolohichnoi kryzy v Ukraini.] Economic analysis: Coll. Science. Ternopil National University of Economics. Ternopil. Publishing*

- and Printing Center of Ternopil National Economic University «Economic Thought», 2016. Tom 23. № 2. S. 108–118 [in Ukrainian].
14. Hrechyn B. D. (2016) Substantive characteristics of methods for assessing the negative impact of production and logistics activities of the enterprise in the context of strategic development of ecology in Ukraine. [Zmistovna kharakterystyka metodiv otsinky nehatyvnoho vplyvu vyrobnychoi ta lohistychnoi diialnosti pidpriemstva v konteksti stratehichnoho rozvytku ekolohistyky v Ukraini]. Business Inform. 2016. № 4. C. 169–176. URL: [https://www.business-inform.net/annotatedcatalogue/?year=2016&abstract=2016\\_04\\_0&lang=ua&stqa=25](https://www.business-inform.net/annotatedcatalogue/?year=2016&abstract=2016_04_0&lang=ua&stqa=25) [in Ukrainian].
  15. Hrechyn B.D. (2013) Ecology as a promising area of business development: foreign experience. [Ekolohistyka yak perspektyvnyi napriamok rozvytku pidpriemnytstva: zakordonnyi dosvid]. International research and production journal. Sustainable economic development. 2013. № 4 (21). S. 213–217 [in Ukrainian].
  16. Hrechyn B.D. (2016) Development of ecology as a process of intensification of innovative activity of business structures [Rozvytok ekolohistyky yak protses aktyvizatsii innovatsiinoi diialnosti pidpriemnytskykh struktur]. Bulletin of NUVGP. Economic Sciences Series. Output № 4 (76). 2016. S. 62–74 [in Ukrainian].
  17. Azarova I.B. (2018) Comprehensive assessment of the Odessa seaport based on the concept of sustainable development. [Kompleksna otsinka Odeskoho morskoho portu na bazi kontseptsii staloho rozvytku]. Transport development. 2018. № 2(3). S. 75-89. <https://doi.org/10.33082/td.2018.2-3.08> [in Ukrainian].
  18. Kryzhanovskii S.V. (2008) Sea trade ports of Ukraine in market conditions: monograph [Morskie torgovye porty Ukrainy v rynochnykh usloviakh]. Odessa; Astroprint, 2008. 184 s. [in Russian].
  19. Chkalovets V. (2008) Transport as a branch of material production. [Transport kak otrasl materialnogo proizvodstva]. The magazine «Shipping», 2008. № 3, S. 24–27 [in Russian].
  20. Vaskov Iu.Iu. (2010) The concession is clear to everyone. [Kontsessiia iavljaetsia poniatnoi dlia vsekh]. URL: <http://cfts.org.ua/opinions/47670>. [in Russian].
  21. Kozyr B.Iu. (2011) Cluster systems in projects for the development of commercial ports of Ukraine. [Klasternye sistemy v proektakh razvitiia morskikh torgovykh portov Ukrainy] Nikolaev. National University of Shipbuilding. Project management. 2011. S. 99–102 [in Russian].
  22. Kovtun T.A. (2020) Features of determining the payback period of the ecological system project. [Osoblyvosti vyznachennia stroku okupnosti proektu ekolohistychnoi systemy]. Transport development. 2020, № 2(7). S. 30-41 DOI <https://doi.org/10.33082/td.2020.2-7.03> [in Ukrainian].

23. Kovtun T.A. (2020) Frame modeling of ecological system project products. [Freimove modeliuвання produktiv proektu ekolohistychnoi systemy]. Transport development. 2020. № 1 (6). S. 17–29. DOI <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.02> [in Ukrainian].
24. ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. URL: <https://www.iso.org/standard/60857.html> [in English].
25. DSTU ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT Environmental management systems. Requirements and guidelines for use. National standard of Ukraine. [Valid from 2016-02-12] Official publication. Kyiv State Enterprise «UkrNDNTs» 2016 [in Ukrainian].
26. Kovtun T.A. (2020) Ecological system as a result of transformation of the worldview concept of mankind on ecologically-oriented sustainable development. [Ekolohistychna systema yak rezultat transformatsii svitohliadnoi kontseptsii liudstva na ekoloho-orientovanyi stalyy rozvytok.] Scientific and technical journal. № 2(22). 2020. S. 42–53 [in Ukrainian].
27. Gubenko V.K. (2015) City Logistics: implementation of the paradigm of creative supply chains: monograph [City Logistics: implementatsiia paradigmy kreativnykh logisticheskikh tsepei: monografiia]. Mariupol, 2015. – 493 s. [in Russian].
28. Buslenko N.P. (1968) Modeling complex systems [Modelirovanie slozhnykh sistem]. M.: Science. 1968. 356s. [in Russian].
29. Gorbachev P.F. (2002) Foundations of the theory of transport systems [Osnovy teorii transportnykh sistem]. Kharkov : Izd-vo KhNADU, 2002. 202 s. [in Russian].
30. Gubenko V.K., Liamzin A.O. (2013) Citylogistic methods of organizing the priority movement of freight transport in large industrial areas [Sitologisticheskie metody organizatsii prioritetnogo dvizheniia gruzovogo transporta v krupnykh promyshlennykh raionakh]. Materials of the International Scientific and Practical Conference «Logistics of Industrial Regions». Donetsk. LANDON. KhI, 2013. – S. 17–19 [in Russian].

## MODEL APPROACH IN PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGY

Lub.S. Chernova<sup>1</sup>, S.D. Titov<sup>2</sup>, Lud.S. Chernova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Information Management Systems & Technologies Department,

*Admiral Marakov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-0666-0742*

<sup>2</sup>PhD, Associate Professor of the Information Management Systems & Technologies Department,

*Admiral Marakov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0001-8772-9889*

<sup>3</sup>PhD, Associate Professor of the Information Management Systems & Technologies Department,

*Admiral Marakov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0001-7846-9034*

### **Summary**

**Introduction.** Some mathematic models of project management encounter the need for determining the maximum radius of hypersphere immersed into a polyhedral region. The modern mathematic tools of the optimization theory in conjunction with application of computer technology allows for solving nonlinear optimization problems. However, linearization of complicated nonlinear problems keeps being permanently feasible. Such a simplification enables using exact classic methods of optimization solution as opposed to approximate ones for nonlinear optimization. We have to set a task of rigorous mathematic reduction (linearization) of a polydimensional nonlinear optimization problem on immersion of a maximum-radius hypersphere into a convex polyhedral region. Let us have a closed polyhedron provided by a system of linear algebraic inequalities. The maximum-radius hypersphere is to be placed into the closed polyhedron region. **Purpose.** The article provides analysis of a model on determining the maximum radius of hypersphere placed (immersed) into a polyhedral region (a convex set restricted by straight lines) that enables taking account of a big set of factors including the following: Project Integration Management; Project Scope Management, Project Quality Management Project Time Management, Project Cost Management, Project Communication Management, Project Procurement Management and Project Risk Management. **Result.** The model has proposed rigorous mathematic reduction (linearization) of a nonlinear optimization problem on placing a maximum-radius hypersphere into a convex polyhedral region, to a linear optimization problem. Thus, the problem on placing the maximum-radius hypersphere within a polyhedron shall be formulated as a linear optimization problem. **Conclusions.** It has been rigorously proven that the problem on immersing the maximum-radius hypersphere into a polyhedron can be represented as a linearization problem. The problem has been reduced to a classical linear optimization problem soluble by known methods. The proposed approach is generalized on an arbitrary finite dimensionality problem.

**Key words:** project lifecycle, hypersphere, polyhedron, linear optimization.

## МОДЕЛЬНИЙ ПІДХІД У МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

Люб.С. Чернова<sup>1</sup>, С.Д. Тітов<sup>2</sup>, Люд.С. Чернова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., доцент кафедри інформаційних управляючих систем і технологій,  
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова  
Миколаїв, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-0666-0742

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри інформаційних управляючих систем і технологій,  
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова  
Миколаїв, Україна,

ORCID ID: 0000-0001-8772-9889

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедри інформаційних управляючих систем і технологій,  
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова  
Миколаїв, Україна,

ORCID ID: 0000-0001-7846-9034

### Анотація

**Вступ.** У деяких математичних моделях управління проектами виникає потреба встановлення максимального радіусу гіперсфери, зануреної в поліедральну галузь. Сучасний математичний апарат теорії оптимізації сумісно із застосуванням комп'ютерних технологій дає змогу розв'язувати нелінійні задачі оптимізації, але завжди існує доцільність лінеаризації складних нелінійних задач. Таке спрощення дає змогу використовувати точні класичні методи оптимізаційного розв'язку, на відміну від наближених, для нелінійної оптимізації. Постає завдання строгого математичного зведення (лінеаризації) багатовимірної нелінійної задачі оптимізації про занурення гіперсфери максимального радіусу в опуклу ділянку типу поліедру. Нехай маємо замкнений поліедр, поданий системою лінійних алгебраїчних нерівностей. У ділянці замкненого поліедру необхідно розмістити гіперсферу максимального радіусу. **Мета.** У статті проаналізовано модель установаження максимального радіусу гіперсфери, розміщеної (зануреної) у поліедральну ділянку (опуклу множину, обмежену прямими лініями), яка забезпечує врахування великої множини факторів, серед яких – управління інтеграцією (Project Integration Management); предметна ділянка проекту (Project Scope Management); управління якістю (Project Quality Management); управління часом (Project Time Management); управління вартістю (Project Cost Management); управління комунікаціями (Project Communication Management); управління контрактами (Project Procurement Management); управління ризиками (Project Risk Management). **Результати.** У моделі запропоновано строге математичне зведення (лінеаризація) нелінійної оптимізаційної задачі про розміщення гіперсфери максимального радіусу в опуклу ділянку типу поліедру до задачі лінійної оптимізації. Таким чином, задача про розміщення гіперсфери найбільшого радіусу в поліедрі формулюється як задача лінійної оптимізації. **Висновки.** Строго доведено можливість лінеаризації задачі про занурення гіперсфери максимального радіусу у поліедр. Задачу зведено до класичної задачі лінійної оптимізації, яка може бути розв'язана відомими методами. Запропонований підхід узагальнюється на задачі довільної скінченної вимірності.

**Ключові слова:** життєвий цикл проекту, гіперсфера, поліедр, лінійна оптимізація.

**Introduction.** In the modern information society, most ideas are implemented through the use of the project management methodology. This specific approach ensures reasonability of both the time and the resources expenditure. The project management methodology keeps being developed and improved. The range of project management methods is rather wide. The model approach is ever more frequently included in the methodology.

**Problem statement.** Many mathematic models describing stages of project management encounter the task of mandatory use of as many certain factors as possible.

Modeling of lifecycle of a project, particularly of a project on using agile methodologies, frequently encounters the need for taking account of a set of factors a part of which is determined in the PMI PMBOK standard as 9 function areas of the management:

- 1) Project Integration Management;
- 2) Project Scope Management;
- 3) Project Quality Management;
- 4) Project Time Management;
- 5) Project Cost Management;
- 7) Project Communication Management;
- 8) Project Procurement Management (contracts) and;
- 9) Project Risk Management.

This approach contributes to avoiding a sudden and premature finish of a project without achieving its objective, except for cases when it is decided to stop implementing a project prior to its scheduled finish.

In this situation, we can see appearance of the need to resolve the problem of maximizing the coverage of the project management area with such factors, provided that there are some effective constraints. Such approach can be modeled as determining the maximum radius of a hypersphere placed (immersed) into the polyhedral region (a convex set restricted by straight lines).

**The state of the art review.** Modeling in the area of project management is used in many researches. Thus, the article proposes a model of evaluating competences of organizations acting in project, program and project portfolio management [1].

The model of efficient formalization of processes interacts on the project level. The effect of project portfolio complexity on the procedure of such formalization has been analyzed in the article on the level of portfolio [2].

At the same time, modern mathematical tools of the optimization theory [3; 4; 9] in conjunction with using computer technology allows for obtaining approximate solution of nonlinear problems. However, it is always reasonable to linearize complex nonlinear problems. Such simplification allows for using accurate classic methods of optimization solution as opposed to approximated ones for nonlinear optimization [10; 16].

**Research objective.** The objective of the research consisted in rigorous mathematic reduction (linearization) of a nonlinear optimization problem on placing a maximum-radius hypersphere into a convex polyhedral region, to a linear optimization problem.

**Statement of basic material.** Let us consider the general statement of the problem. Development of an IT project provides for formulation of hypotheses each of which is to be described and analyzed, contributing to adaptation of the project to customer's requirements and taking account of as many factors as possible to facilitate its efficient

implementation. The stage of project formation includes grounding the need for involving a set of factors containing, in addition to those indicated above (according to PMI PMBOK standard), the following: possibility of technical realization, environmental impact, market efficiency, institutional acceptability, social aspects, financial and economic value. It is a difficult problem to determine the elements of such a set. For its solution, it has been proposed to use a problem on placing a maximum-radius hypersphere into convex polyhedral region, reduced to a linear optimization problem.

In the finitely measurable real linear space  $\mathbb{R}^n$  consisting of a set of factors having effect on efficient implementation of the project, let us have a closed polyhedron  $\Omega_1$  provided by a system of linear algebraic inequalities

$$\Omega_1 : \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2, \\ \dots\dots\dots, \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0. \end{cases}$$

In the region  $\Omega_1 \subset \mathbb{R}^n$ , we need to place the hypersphere with the biggest radius. For  $\mathbb{R}^2$ , it will be a circle, and for the three-dimensional space  $\mathbb{R}^3$  – it will be a sphere. For a two-dimensional case, let us perform a graphic interpretation of the problem (Fig. 1).

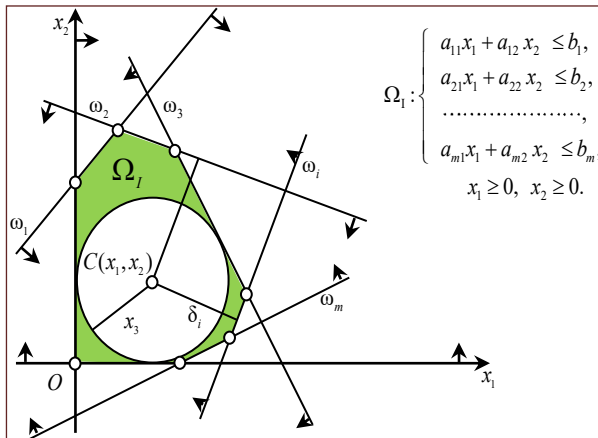


Fig. 1. Graphic interpretation of the problem

Let us have  $x_1, x_2$  – as coordinates of the center of circle, and  $x_3$  – as its radius. We introduce designations for boundaries of semi-planes provided by inequalities of the system  $\omega_i : a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 = b_i$ . The normal equation of boundaries of the semi-plane provided as  $a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 \leq b_i$  looks as follows:



We need to find coordinates of the center and the radius of the circle biggest in area and placed in region  $\Omega_1$ .

According to the procedure proposed, we set up a linear optimization problem, i.e. a standard problem of linear optimization. The target function and the set of constraints shall look as follows:

$$\Omega_1 : \begin{cases} W_1 = x_3 \rightarrow \max \\ -5x_1 + 12x_2 + 13x_3 \leq 60, \\ 7x_1 + 24x_2 + 25x_3 \leq 168, \\ 4x_1 - 3x_2 + 5x_3 \leq 24, \\ 12x_1 + 5x_2 + 5x_3 \leq 120, \\ -x_1 + x_3 \leq 0, \\ -x_2 + x_3 \leq 0, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

For solving the problem using a simplex method, we move to canonical form of the problem [16]:

$$\Omega_1 : \begin{cases} W_1 = x_3 \rightarrow \max \\ -5x_1 + 12x_2 + 13x_3 + x_4 = 60, \\ 7x_1 + 24x_2 + 25x_3 + x_5 = 168, \\ 4x_1 - 3x_2 + 5x_3 + x_6 = 24, \\ 12x_1 + 5x_2 + 5x_3 + x_7 = 120, \\ -x_1 + x_3 + x_8 = 0, \\ -x_2 + x_3 + x_9 = 0, \\ x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, 9. \end{cases}$$

Thus, we have an acceptable reference plan to start solving with use of the simplex method:

$$X_0 = [ 0, 0, 0, | 60, 168, 24, 120, 0, 0 ] \in \Omega_1$$

We carry out calculation by the common simplex method (Table 1).

The respective graphic interpretation of the solution is given on Fig. 2.

From the last simplex table, we obtain the optimum solution  $x_1^{opt} = 3$ ,  $x_2^{opt} = 3$  and  $x_3^{opt} = 3$ . Therefore, the maximum-radius circle that can be placed within the polyhedron has a center at point  $C( 3, 3 )$  and radius  $R = 3$ .

The proposed approach can be generalized on an arbitrary finite dimensionality problem. Let us, e.g., consider a four-dimensional case.

Table 1

Basis	C	B	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$
			0	0	1	0	0	0	0	0	0
$a_4$	0	60	-5	12	13	1	0	0	0	0	0
$a_5$	0	168	7	24	25	0	1	0	0	0	0
$a_6$	0	24	4	-3	5	0	0	1	0	0	0
$a_7$	0	120	12	5	13	0	0	0	1	0	0
$a_8$	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0
$a_9$	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
$\Delta_j$	$W_1(X_0) = 0$		0	0	-1	0	0	0	0	0	0
$a_4$	0	60	8	12	0	1	0	0	0	-13	0
$a_5$	0	168	32	24	0	0	1	0	0	-25	0
$a_6$	0	24	9	-3	0	0	0	1	0	-5	0
$a_7$	0	120	25	5	0	0	0	0	1	-13	0
$a_3$	1	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0
$a_9$	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1
$\Delta_j$	$W_1(X_1) = 0$		-1	0	0	0	0	0	0	1	0
$a_4$	0	60	0	20	0	1	0	0	0	-5	-8
$a_5$	0	168	0	56	0	0	1	0	0	7	-32
$a_6$	0	24	0	6	0	0	0	1	0	4	-9
$a_7$	0	120	0	30	0	0	0	0	1	12	-25
$a_3$	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
$a_1$	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1
$\Delta_j$	$W_1(X_2) = 0$		0	-1	0	0	0	0	0	0	1
$a_4$	0	0	0	0	0	1	-5/14	0	0	-15/2	24/7
$a_2$	0	3	0	1	0	0	1/56	0	0	1/8	-4/7
$a_6$	0	6	0	0	0	0	-3/28	1	0	13/4	-39/7
$a_7$	0	30	0	0	0	0	-15/28	0	1	33/4	-7,8571
$a_3$	1	3	0	0	1	0	1/56	0	0	1/8	3/7
$a_1$	0	3	1	0	0	0	1/56	0	0	-7/8	3/7
$\Delta_j$	$W_1(X_3) = 3$		0	0	0	0	1/56	0	0	1/8	3/7

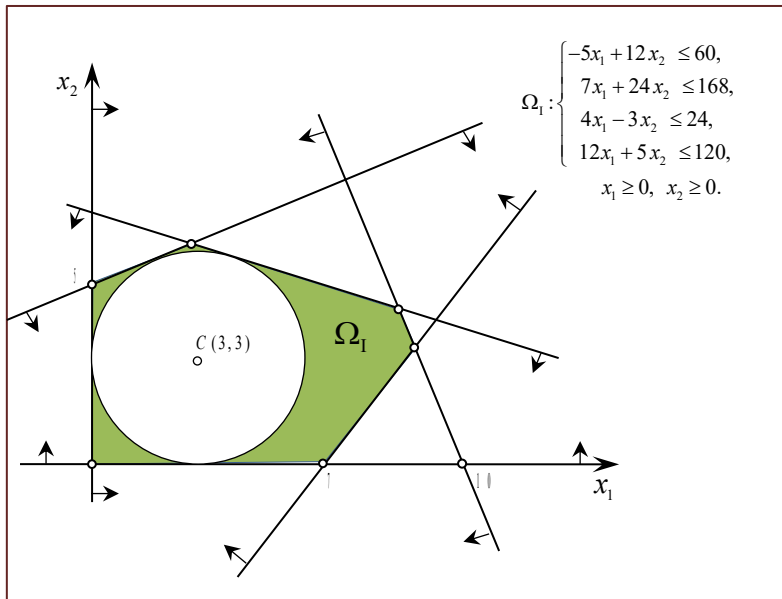


Fig. 2. Graphic representation of the biggest-radius circle inscribed in polyhedron  $\Omega_1$

**Model example No. 2**

The polyhedron is given by the system of linear inequalities:

$$\Omega_2 : \begin{cases} x_1 - 2x_2 + 4x_3 - 2x_4 \leq 6, \\ 5x_1 + 6x_2 - 4x_3 - 2x_4 \leq 2, \\ x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, 4. \end{cases}$$

We need to find coordinates of the center and the radius of the circle biggest in area and placed in region  $\Omega_2$ .

We set up a linear optimization problem respectively that shall look as follows:

$$\begin{aligned} W_1 = x_5 &\rightarrow \max \\ \Omega_2 : &\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 4x_3 - 2x_4 + 5x_5 \leq 6, \\ 5x_1 + 6x_2 - 4x_3 - 2x_4 + 9x_5 \leq 2, \\ -x_1 + x_5 \leq 0, \\ -x_2 + x_5 \leq 0, \\ -x_3 + x_5 \leq 0, \\ -x_4 + x_5 \leq 0, \\ x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, 4, 5. \end{cases} \end{aligned}$$

Canonical form of the linear optimization problem

$$W_1 = x_5 \rightarrow \max$$

$$\Omega_2 : \begin{cases} x_1 - 2x_2 + 4x_3 - 2x_4 + 5x_5 + x_6 = 6, \\ 5x_1 + 6x_2 - 4x_3 - 2x_4 + 9x_5 + x_7 = 2, \\ -x_1 + x_5 + x_8 = 0, \\ -x_2 + x_5 + x_9 = 0, \\ -x_3 + x_5 + x_{10} = 0, \\ -x_4 + x_5 + x_{11} = 0, \\ x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, 11. \end{cases}$$

Thus, we have an acceptable reference plan

$$X_0 = [ 0, 0, 0, 0, 0 | 6, 2, 0, 0, 0, 0 ] \in \Omega_2$$

We carry out calculation by the common simplex method. (Table 2).

Table 2

Basis	C	B	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11
			0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
a6	0	6	1	-2	4	2	5	1	0	0	0	0	0
a7	0	2	5	6	-4	-2	9	0	1	0	0	0	0
a8	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
a9	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
a10	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0
a11	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
Δ <sub>1</sub>	W(X <sub>0</sub> ) = 0		0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
a6	0	6	1	3	4	2	0	1	0	0	-5	0	0
a7	0	2	5	15	-4	-2	0	0	1	0	-9	0	0
a8	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
a5	1	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
a10	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1	0
a11	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	1
Δ <sub>1</sub>	W(X <sub>1</sub> ) = 0		0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
a6	0	6	1	0	7	2	0	1	0	0	-2	-3	0
a7	0	2	5	0	11	-2	0	0	1	0	6	-15	0
a8	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	0
a5	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0
a2	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1	0
a11	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1
Δ <sub>1</sub>	W(X <sub>2</sub> ) = 0		0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0

Table 2 (Continued)

Basis	C	B	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>9</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>11</sub>
			0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
a <sub>6</sub>	0	6	1	0	0	9	0	1	0	0	-2	4	-7
a <sub>7</sub>	0	2	5	0	0	9	0	0	1	0	6	-4	-11
a <sub>8</sub>	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	-1
a <sub>5</sub>	1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
a <sub>2</sub>	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	1
a <sub>3</sub>	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1
Δ <sub>1</sub>	W(X <sub>3</sub> ) = 0		0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1
a <sub>6</sub>	0	6	10	0	0	0	0	1	0	-9	-2	4	2
a <sub>7</sub>	0	2	14	0	0	0	0	0	1	-9	6	-4	-2
a <sub>4</sub>	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	-1
a <sub>5</sub>	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
a <sub>2</sub>	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
a <sub>3</sub>	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	0
Δ <sub>1</sub>	W(X <sub>4</sub> ) = 0		-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
a <sub>6</sub>	0	32/7	0	0	0	0	0	1	-5/7	-18/7	-44/7	48/7	24/7
a <sub>1</sub>	0	1/7	1	0	0	0	0	0	1/4	-9/4	3/7	-2/7	-1/7
a <sub>4</sub>	0	1/7	0	0	0	1	0	0	1/4	5/4	3/7	-2/7	-8/7
a <sub>5</sub>	1	1/7	0	0	0	0	1	0	1/4	5/4	3/7	-2/7	-1/7
a <sub>2</sub>	0	1/7	0	1	0	0	0	0	1/4	5/4	-4/7	-2/7	-1/7
a <sub>3</sub>	0	1/7	0	0	1	0	0	0	1/4	5/4	3/7	-9/7	-1/7
Δ <sub>1</sub>	W(X <sub>5</sub> ) = 1/7		0	0	0	0	0	0	1/4	5/4	3/7	-2/7	-1/7
a <sub>10</sub>	0	2/3	0	0	0	0	0	7/48	-5/48	-3/8	-11/12	1	1/2
a <sub>1</sub>	0	1/3	1	0	0	0	0	1/24	1/24	-3/4	1/6	0	0
a <sub>4</sub>	0	1/3	0	0	0	1	0	1/24	1/24	1/4	1/6	0	-1
a <sub>5</sub>	1	1/3	0	0	0	0	1	1/24	1/24	1/4	1/6	0	0
a <sub>2</sub>	0	1/3	0	1	0	0	0	1/24	1/24	1/4	-5/6	0	0
a <sub>3</sub>	0	1	0	0	1	0	0	3/16	-1/16	-1/8	-3/4	0	1/2
Δ <sub>1</sub>	W(X <sub>6</sub> ) = 1/3		0	0	0	0	0	1/24	1/24	1/4	1/6	0	0

The last simplex table provides the optimum solution

$$\text{opt}_{\max} \left[ \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 1, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, 0, 0, 0, \frac{1}{3}, 0 \right].$$

The maximum-radius hypersphere that can be immersed into polyhedral region  $\Omega_2$  has its center at point  $C\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 1, \frac{1}{3}\right)$  and radius  $R = \frac{1}{3}$ .

**Conclusions.** Therefore, the project lifecycle modeling processes need to take account of a set of factors a part of which is represented in detail in PMI PMBOK standard. The proposed model based on a problem of placing a maximum-radius hypersphere in a polyhedron allows for taking account of the said factors and can be reduced to a classic linear optimization problem soluble by known methods. The polyhedron region is specified by a system of linear inequalities. In this case, the problem on the

maximum-radius circle placed within the polyhedron is formulated as a linear optimization problem. Thus we can determine the maximum number of factors that must be taken into account while developing lifecycle of a certain project.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Bushuev S.D., Yaroshenko R.F., Yaroshenko N.P. The Model of Evaluating Organizational Competency and Classifying the Perfection in Project Management. *The Complex System Development Management*. 2010. № 4. P. 9–14.
2. Teller J., Unger B., Kock A., Gemünden H. Formalization of Project Portfolio Management: The Moderating Role of Project Portfolio Complexity. *International Journal of Project Management*. 2012. Volume 30. № 5. P. 596–607.
3. Данциг Дж. Линейное программирование, его применение и обобщение. Москва : Прогресс, 1966.
4. Канторович Л.В., Горстко А.Б. Оптимальные решения в экономике. Москва : Наука, 1972.
5. Unger N., Dempe S. *Lineare Optimierung*. Springer, 2012.
6. Гетманцев В.Д. Лінійна алгебра і лінійне програмування. Київ : Либідь, 2001.
7. Математичне програмування / І.М. Багаєнко, В.С. Григорків, М.В. Бойчук, М.О. Рюмшин. Київ : Логос, 1996.
8. Teschl G., Teschl S. *Mathematik für Informatiker. Band 1: Diskrete Mathematik und Lineare Algebra*. Springer, 2008.
9. Бугір М.К. Лінійна алгебра, лінійні моделі. Київ : Академія, 1998.
10. Гавурин М.К., Малоземов В.Н. Экстремальные задачи с линейными ограничениями. Ленинград : ЛГУ, 1984.
11. Ашманов С. Линейное программирование. Москва : Наука, 1981.
12. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. Москва : Физматлит, 2003.
13. Математичне програмування / Т.П. Романюк, Т.О. Терещенко, Г.В. Присенко, І.М. Городкова. Київ : ІЗМН, 1996.
14. Степанюк В.В. Методи математичного програмування. Київ : Вища школа, 1984.
15. Титов С.Д., Чернова Л.С. Вища та прикладна математика : навчальний посібник : у 2 ч. Харків : Факт, 2017. Ч. 1.
16. Algorithm for the Simplification of Solution to Discrete Optimization Problems / S. Chernov, S. Titov, Ld. Chernova, V. Gogunskii, Lb. Chernova, K. Kolesnikova. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 3/4 (93). P. 34–43.

#### REFERENCES

1. Bushuev S. (2010). The Model of Evaluating Organizational Competency and Classifying the Perfection in Project Management / S. D. Bushuev,

- R. F. Yaroshenko, N. P. Yaroshenko // The Complex System Development Management. No. 4, pp. 9–14.
2. Teller J., Unger B., Kock A., Gemünden H. (2012). Formalization of Project Portfolio Management: The Moderating Role of Project Portfolio Complexity. *International Journal of Project Management*. Volume 30, No. 5, pp. 596–607.
  3. Dantzig G. (1966). *Linear Programming, Its Application and Generalization*. [Lineinoe programmirovaniye, ego primeneniye i obobshcheniye]. Progress. Moscow [in Russian].
  4. Kantorovich L., Gorstko A. (1972). *Optimum Solutions in Economics*. [Optimalnyye resheniia v ekonomike]. Nauka. Moscow [in Russian].
  5. Unger N., Dempe S. (2010). *Lineare Optimierung*. Springer, Germany.
  6. Hetmantsev V. (2001). *Linear Algebra and Linear Programming*. [Liniina alhebra ta liniine prohramuvannia]. Lybid. Kyiv [in Ukrainian].
  7. Bahaienko I., Hryhorkiv V., Boichuk M., Riumshyn M. (1996). *Mathematic Programming*. [Matematychnye prohramuvannia]. Logos. Kyiv [in Ukrainian].
  8. Teschl G., Teschl S. (2008). *Mathematik für Informatiker. Band 1: Diskrete Mathematik und Lineare Algebra*. Springer, Germany. DOI: 10.1007/978-3-540-77432-7.
  9. Buhir M. (1998). *Linear Algebra, Linear Models*. [Liniina alhebra, liniini modeli]. Academia. Kyiv [in Ukrainian].
  10. Gavurin M., Malozemov V. (1984). *Extremum Problems with Linear Constraints*. [Ekstremalnye zadachi s lineinymi ogranicheniyami]. Leningrad University Press. Leningrad [in Russian].
  11. Ashmanov S. (1981). *Linear Programming*. [Lineynoe programmirovaniye]. Nauka. Moscow [in Russian].
  12. Sigal I., Ivanova A. (2003) *Introduction to Applied Discrete Programming: Models and Computing Algorithms*. [Vvedeniye v prikladnoye diskretnoye programmirovaniye: modeli i vychislitelnye algoritmy]. Physmathlit. Moscow [in Russian].
  13. Romaniuk T., Tereshchenko T., Pryslenko H., Horodkova I. (1996). *Mathematic Programming*. [Matematychnye prohramuvannia]. IZMN Publishing. Kyiv [in Ukrainian].
  14. Stepaniuk V. (1984) *Methods of Mathematic Programming*. [Metody matematychnoho prohramuvannia]. Vyscha Shkola. Kyiv [in Ukrainian].
  15. Titov S., Chernova L. (2017). *Higher and Applied Mathematics: Training Manual: In 2 Parts, Part 1*. [Vyscha na prykladna matematyka: navch. posibnyk: u 2 chast., Chast. 1.]. Fact. Kharkiv [in Ukrainian].
  16. Chernov S., Titov S., Chernova Ld., Gogunskii V., Chernova Lb., Kolesnikova K. (2018). *Algorithm for the Simplification of Solution to Discrete Optimization Problems*. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 3/4 (93), 34–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133405.

## РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.436.12

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.4-11.05>

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК МАСЛЯНИХ ФІЛЬТРІВ ТИПУ «SPIN-ON» НА РОБОЧІ ПАРАМЕТРИ МАСЛЯНОЇ СИСТЕМИ

Д.В. Курносенко<sup>1</sup>, В.П. Савчук<sup>2</sup>, Є.В. Білоусов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>аспірант, асистент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,  
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-3417-8766

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,  
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-5266-850X

<sup>3</sup>д.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,  
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-8185-8209

#### Анотація

**Вступ.** Шляхом підвищення ефективності високооберткових дизельних двигунів (ВОД) є оптимізація роботи елементів системи мащення – зменшення насосних витрат. Підвищені витрати на привід масляних насосів пов'язані з роботою двигуна на високов'язких маслах, роботою непрогрітого двигуна й експлуатація двигуна із забрудненим масляним фільтром. На ступінь забруднення моторного масла впливає режим роботи дизельного двигуна, кліматичні умови експлуатації, якість дизельного палива, марка застосовуваного моторного масла. **Мета.** Стаття присвячена стендовим дослідженням робочих параметрів масляних фільтрів і їх впливу на експлуатаційні показники масляного насоса в широкому діапазоні частот обертання. **Результати** виконаних досліджень наведено у вигляді графічних залежностей. У статті представлено залежності витрати моторного масла в напірну магістраль, лінію зливу та значення продуктивності масляного насосу при використанні чотирьох різних моделей масляних фільтрів: ФМ 009-1012005, WL7133, SM 108 і M-019 (забруднений). Додатково отримано залежності тиску після масляного насоса, після масляних фільтрів і значення падіння тиску на масляних фільтрах від частоти обертання вхідного валу масляного насосу. **Висновки.** У статті після проведення експериментальних досліджень контуру подачі й очистки моторного масла системи мащення з використанням чотирьох моделей масляних фільтрів типу «spin-on» нами отримано графічні залежності витрати моторного масла масляним насосом до головної масляної магістралі й до лінії зливу. Додатково визначено вплив досліджуваних режимів на розподіл тиску моторного масла, що створюється масляним насосом, тиску в напірній магістралі, перепаду масляного тиску на досліджуваних

масляних фільтрах і з урахуванням розрідження на лінії всмоктування. Представлені залежності дають можливість здійснити оцінку роботи запобіжного клапану масляної системи і стану фільтруючого елемента.

**Ключові слова:** високообертовий дизельний двигун, система мащення, моторне масло, масляний насос, масляний фільтр.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS OF SPIN-ON OIL FILTERS ON THE OPERATING PARAMETERS OF THE OIL SYSTEM

D.V. Kurnosenko<sup>1</sup>, V.P. Savchuk<sup>2</sup>, E.V. Bilousov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>graduate student, assistant of the Department of Vessel's Power Plants Operation, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-3417-8766

<sup>2</sup>Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Vessel's Power Plants Operation, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-5266-850X

<sup>3</sup>Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Vessel's Power Plants Operation, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-8185-8209

### Summary

**Introduction.** By increasing the efficiency of high-speed diesel engines is to optimize the operation of the elements of the lubrication system to reduce energy consumption for pumping fluid. Increased energy consumption for the drive of oil pumps associated with the operation of the engine on high-viscosity oils, operation of an cold engine and operation of the engine with a dirty oil filter. The degree of contamination of the engine oil is influenced by the operating mode of the diesel engine, the climatic conditions of operation, the quality of the diesel fuel, and the brand of the used engine oil. **Purpose.** This article is devoted to a bench study of the operating parameters of oil filters and their influence on the performance of an oil pump in a wide range of rotational speeds. The results of the studies performed are shown in the form of graphical dependencies. This article presents the dependences of the engine oil consumption in the pressure line, the drain line and the oil pump performance when using four different models of oil filters: FM 009-1012005, WL7133, SM 108 and M-019 (contaminated). Additionally, the dependence of the pressure after the oil pump, after the oil filters and the value of the pressure drop through the oil filters on the rotational speed of the input shaft of the oil pump were obtained. **Conclusions.** In this article, we have obtained graphical dependences of the oil consumption of engine by an oil pump, to the main oil line and to the drain line. Experimental studies were carried out using four models of "spin-on" oil filters. Additionally, the influence of the investigated modes of the distribution of the engine oil pressure, which is created by the oil pump, the pressure in the pressure line, the oil pressure drop across the investigated oil filters and taking into account the vacuum on the suction line, was determined. The presented dependences make it possible to assess the operation of the oil system safety valve and the condition of the filter element.

**Key words:** high-speed diesel engine, lubrication system, engine oil, oil pump, oil filter.

**Вступ.** Одним зі шляхів підвищення ефективності високообертових дизельних двигунів (далі – ВОД) є оптимізація роботи елементів системи мащення, а саме зменшення насосних витрат. Підвищені витрати на привід масляних насосів пов'язані з роботою двигуна на високов'язких маслах, непрогрітого двигуна (двигуна, у якого несправна система охолодження) та експлуатацією двигуна із забрудненим масляним фільтром. За рекомендацією виробника дизельного двигуна заміна масляних фільтрів здійснюється при кожній заміні моторного масла, а саме при 500 год. напрацювання. На ступінь забруднення моторного масла впливає режим роботи дизельного двигуна, кліматичні умови експлуатації, якість дизельного палива, марка застосовуваного моторного масла.

**Постановка проблеми.** Доцільним напрямом наукових досліджень щодо підвищення ефективних показників двигунів внутрішнього згоряння (далі – ДВЗ) є вивчення впливу умов експлуатації на забруднення моторного масла, виснаження присадок, зміна його фізичних властивостей з метою корегування регламентованої періодичності заміни моторного масла та переведення ДВЗ з планово-попереджувальної системи технічного обслуговування і ремонту (далі – ТОiP) на систему за реальним технічним станом. Використання масляних фільтрів зі збільшеною площею фільтрувального матеріалу забезпечує можливість роботи з подовженим ресурсом. Для визначення оптимальних строків технічного використання масляних фільтрів необхідно дослідити їх головні експлуатаційні показники в складі конкретних систем мащення ВОД і встановити за їх характеристиками критерії доцільності заміни.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є стендові дослідження робочих параметрів масляних фільтрів і їх впливу на експлуатаційні показники масляного насосу в широкому діапазоні частот обертання.

**Виклад основного матеріалу.** Вивчення впливу складових елементів систем мащення тронкових двигунів внутрішнього згоряння, що характеризуються наявністю в їх складі начеплених масляних насосів (типу «spin-on») і повнопоточних масляних фільтрів, на експлуатаційні параметри таких систем, неможливе без урахування зміни параметрів масляних фільтрів у процесі їх експлуатації [1]. Як фільтрувальний матеріал у масляних фільтрах зазвичай виробники використовують фільтрувальний папір, який складається з натуральних і синтетичних волокон (наприклад, поліестери, поліаміди), що пропитуються різними смолами [2]. У процесі експлуатації відбувається природне забруднення фільтрувального матеріалу, що й призводить до зміни пропускної здатності фільтра та спричиняє підвищення перепаду тиску на ньому. Особливістю конструкції фільтрів картриджного типу є наявність зворотного (антидренажного) та перепускного клапанів [3]. Призначенням антидренажних клапанів є протидія стіканню моторного масла з фільтрів у період зупинки двигуна. Перепускні клапани призначено для розвантаження фільтруючих елементів під час пуску та роботи двигуна на холодних і, відповідно, в'язких маслах і для забезпечення двигуна маслом при забрудненому фільтруючому елементі. Масляний фільтр виконується в металевому корпусі, що оснащено приєднувальною різьбою, чи в безкорпусному виконанні. Додатково в системах мащення встановлюють запобіжні клапани, що забезпечують підтримку заданого виробником тиску масла в напірній магістралі. Тому цілком очевидним є той факт,

що застосування фільтрів різних виробників і різні ступені забруднення фільтрувального елемента будуть призводити до зміни витрати моторного масла через напірну магістраль двигунів. Наявність вищевказаних елементів у складі контуру подачі та очистки моторного масла систем мащення призводить до необхідності розробки алгоритмів діагностування їх працездатності й, зокрема, визначення їх припустимих (граничних) параметрів. Аналітичний опис параметрів масляних фільтрів і їх заміна в процесі експлуатації не будуть досить точними без урахування витратної характеристики фільтра в реальних умовах експлуатації та особливостей технічного стану масляного насоса й налаштування запобіжного клапану. Важливим аспектом, що визначається умовами експлуатації дизельного двигуна, є температурний режим моторного масла та його в'язкісно-температурна характеристика (ВТХ).

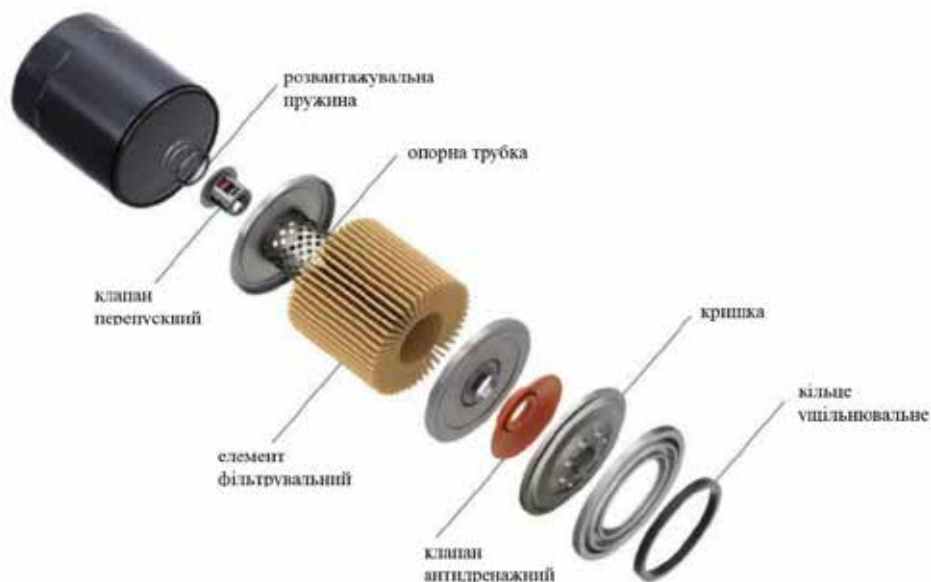


Рис. 1. Конструкція масляного фільтру баночного типу [1]

Для проведення таких досліджень на базі Херсонської державної морської академії співробітниками кафедри експлуатації суднових енергетичних установок спроектовано й виготовлено стенд для дослідження експлуатаційних параметрів елементів системи мащення високооберткових двигунів внутрішнього згорання, а саме контуру подачі й очищення моторного масла [4]. Стендові дослідження проводилися із застосуванням шестеренного масляного насоса моделі 50-1403010Б1 і корпусу масляного фільтру дизельного двигуна Д-246.4 виробництва Мінського моторного заводу, що застосовується в складі дизель-генераторних установок, у тому числі й суднового виконання [5].

Технічні дані масляного насоса [5] наведено в таблиці 1.

Виробником установлюються нормативні значення тиску в системі мащення двигуна Д246.4 0,25...0,35 МПа при номінальній частоті обертання колінчастого валу 1500 хв<sup>-1</sup> (при прогрітому двигунові до температури охолоджувальної рідини

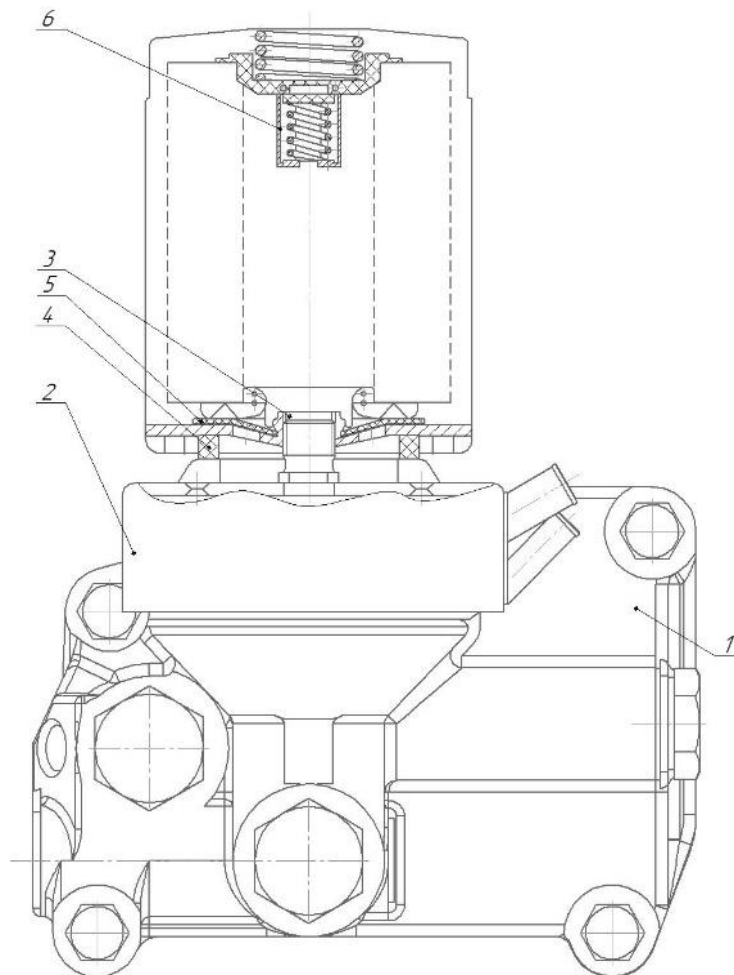
85...95 °С) [6]. Цей тиск повинен обмежувати запобіжний клапан, що встановлено в корпусі масляного фільтру, шляхом його регулювання.

Таблиця 1

**Технічні дані масляного насоса 50-1403010Б1**

Параметр	Значення
Номінальна частота обертання валу насоса, хв <sup>-1</sup>	2800
Тиск масла на виході з насоса, МПа	0,70...0,75
Номінальна об'ємна подача, л/хв	43
Потужність, що витрачається на привід насоса, кВт	не більше 1,1

У масляному фільтрі перепускний клапан повинен відкриватися при перепаді на ньому тиску масла 0,13...0,17 МПа [5].



*Рис. 2. Конструкція установки масляного фільтру: 1 – корпус фільтру; 2 – рідинно-масляний теплообмінник; 3 – итуцер; 4 – прокладка рідинно-масляного теплообмінника; 5 – протидренажний клапан; 6 – перепускний клапан*

Як дослідні фільтри використовувалися фільтри, рекомендовані виробником для цього типу двигунів, а їх характеристики наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Параметри масляних фільтрів**

Параметри	Позначення масляних фільтрів			
	ФМ 009-1012005	WL7133	SM 108	M-019
Внутрішній діаметр 1	71,4	72,0	72,0	72,0
Внутрішній діаметр 2	61,5	62,5	62,0	62,0
Зовнішній діаметр	97,5	95,0	93,0	98,0
Висота	117,5	181,0	142,0	128,0
Ступінь очистки, мкм	<45	12		
Площа фільтрації, м <sup>2</sup>	–	0,37		
Диференційний тиск відкриття перепускного клапана, МПа	0,13...0,17	0,25	0,25	–
Тиск відкриття антидренажного клапана, МПа	0,10	0,10	0,10	0,10
Тип приєднувальної різьби	3/4-16 UNF			

Фільтр моделі ФМ 009-1012005 знаходився в експлуатації 70 годин від часу запуску дизельного двигуна та фактично застосовувався в процесі припрацювання двигуна. При експериментальних дослідженнях застосовувався фільтр моделі М-019, що використовувався після роботи на двигуні між періодами регламентної заміни моторного масла. Усі інші фільтри до моменту встановлення на дослідний стенд в експлуатації не знаходилися.

Експлуатаційні параметри складників системи досліджено з використанням моторного масла, що має індексом в'язкості SAE 30. Температура моторного масла підтримувалася в діапазоні 84...85 °С.

Дослідження проводилися при незмінних налаштуваннях запобіжного клапана та перепускного перетину стендового дроселя, що імітував витрату моторного масла через трибовузли й елементи двигуна.

Гідравлічну схему стенду наведено на рис. 3.

Результати проведених досліджень наведено у вигляді графічних залежностей. Так, на рисунках 4–7 представлено залежності витрати моторного масла в напірну магістраль, лінію зливу та значення продуктивності масляного насоса при використанні чотирьох різних моделей масляних фільтрів. Отримані значення витрати моторного масла при дослідженні фільтрів ФМ 009-1012005, WL7133 та SM 108 демонструють схожі залежності. Розбіжність між продуктивністю масляного насоса при максимальній досліджуваній частоті обертання масляного насоса становить 3,51 л/хв, що зафіксовано між фільтрами ФМ 009-1012005 та SM 108. Аналіз витратних характеристик у напірну магістраль і в лінію зливу при встановленому фільтрі ФМ 009-1012005 дає змогу зробити висновок, що величина витрати масла в лінію зливу за рахунок більшого його гідравлічного опору перевищує аналогічні значення фільтрів WL7133 та SM 108: 21, 25 л/хв проти 20,03 л/хв та 17,94 л/хв.

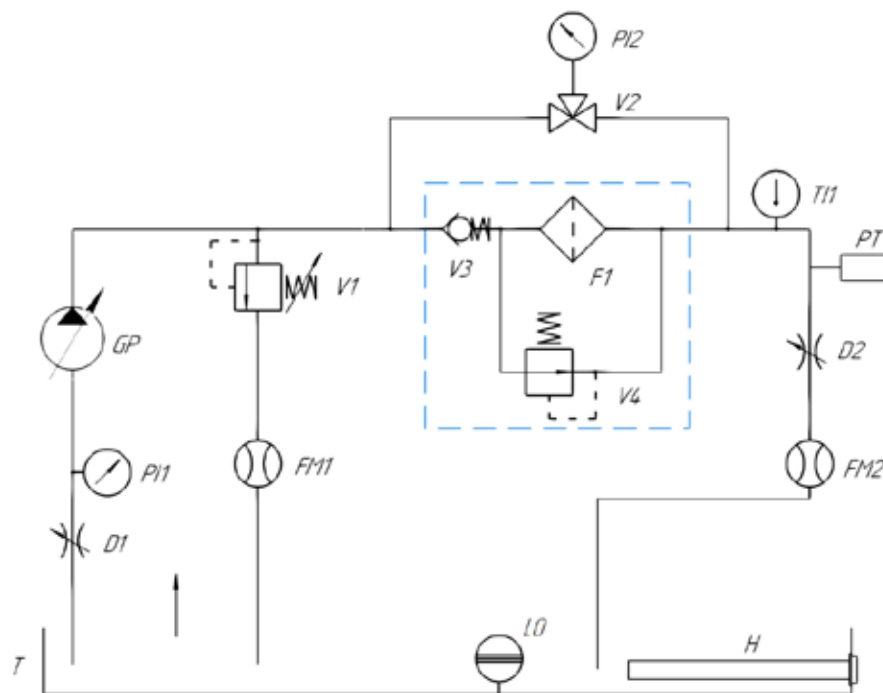


Рис. 3. Гідравлічна схема стенду: D1, D2 – дроселі, PI1, PI2 – вакуумметр та манометр відповідно; GP – масляний насос; FM1, FM2 – витратоміри; V1 – запобіжний клапан; V2 – 3-х ходовий клапан; V3 – протидренажний клапан масляного фільтра; V4 – перепускний клапан масляного фільтра; F1 – фільтрувальний елемент; T1 – термометр (Pt100); PT – цифровий датчик тиску масла; T – масляний бак; LO – показчик рівня масла; H – електричний нагрівальний елемент моторного масла



Рис. 4. Залежність продуктивності масляного насоса ● та витрати моторного масла в напірну масляну магістраль ▲ і лінію зливу ■ при встановленому масляному фільтрі ФМ 009-1012005

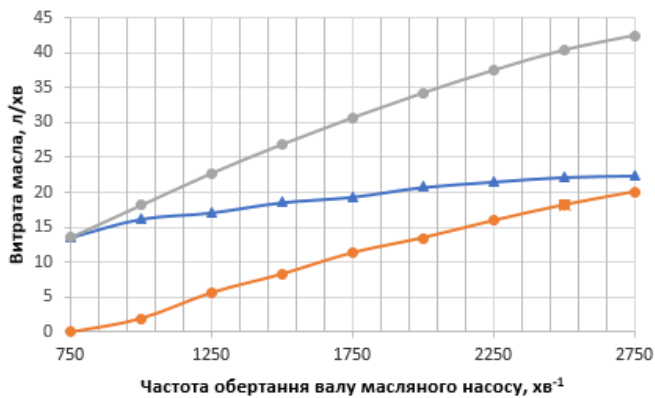


Рис. 5. Залежність продуктивності масляного насоса ● та витрати моторного масла в напірну масляну магістраль ▲ і лінію зливу ■ при встановленому масляному фільтрі WL7133

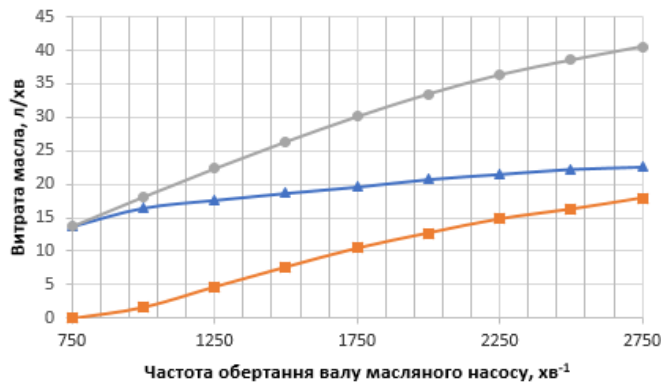


Рис. 6. Залежність продуктивності масляного насоса ● та витрати моторного масла в напірну масляну магістраль ▲ і лінію зливу ■ при встановленому масляному фільтрі SM 108

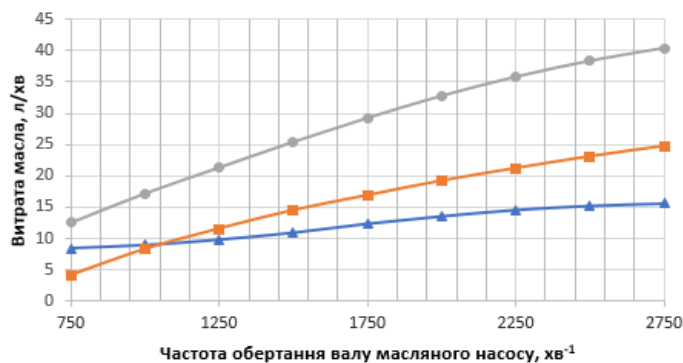


Рис. 7. Залежність продуктивності масляного насоса ● та витрати моторного масла в напірну масляну магістраль ▲ і лінію зливу ■ при встановленому масляному фільтрі M-019 (забруднений)

Додатково отримано залежності тиску після масляного насоса, після масляних фільтрів і значення зниження тиску на масляних фільтрах від частоти обертання вхідного валу масляного насоса. Ці залежності, що отримано з використанням фільтра моделі ФМ 009-1012005, представлено на рис. 8. Ці залежності є типовими для фільтрів моделей WL7133 та SM 108. Порівняння цих залежностей із результатами, що характеризують витрату моторного масла, указують на те, що початок спрацьовування запобіжного клапана припадає на значення частоти обертання вхідного валу масляного насоса  $1000 \text{ хв}^{-1}$ . Це виражено зменшенням наростання тиску, хоча після частоти обертання, що становить  $1250 \text{ хв}^{-1}$ , початкова тенденція наростання тиску зберігається до частоти обертання  $2500 \text{ хв}^{-1}$ . Подальша зміна наростання тиску може пояснюватися спрацьовуванням перепускного клапана масляного фільтра при перепаду тиску  $1,75 \text{ кг/см}^2$ , що спостерігається після частоти обертання  $2500 \text{ хв}^{-1}$ .

Іншу картину розподілу тиску можна спостерігати для забрудненого фільтра. Насос вимушений працювати при підвищених параметрах тиску, відповідно, момент спрацьовування запобіжного клапана зміщено в неробочу зону частоти обертання масляного насоса стенду. Момент спрацьовування перепускного клапана відповідає значенню перепаду тиску  $3,0 \text{ кг/см}^2$ , що відповідає частоті обертання валу масляного насоса  $1250 \text{ хв}^{-1}$ . Таким чином, фіксуємо початок умов експлуатації двигуна, при якому частково до змащуваних вузлів надходить неочищене масло. Це, звісно, впливає на інтенсивність зносу трибовузлів двигуна, особливо підшипників ковзання колінчастого валу, розподільного валу та газотурбонагнітача.

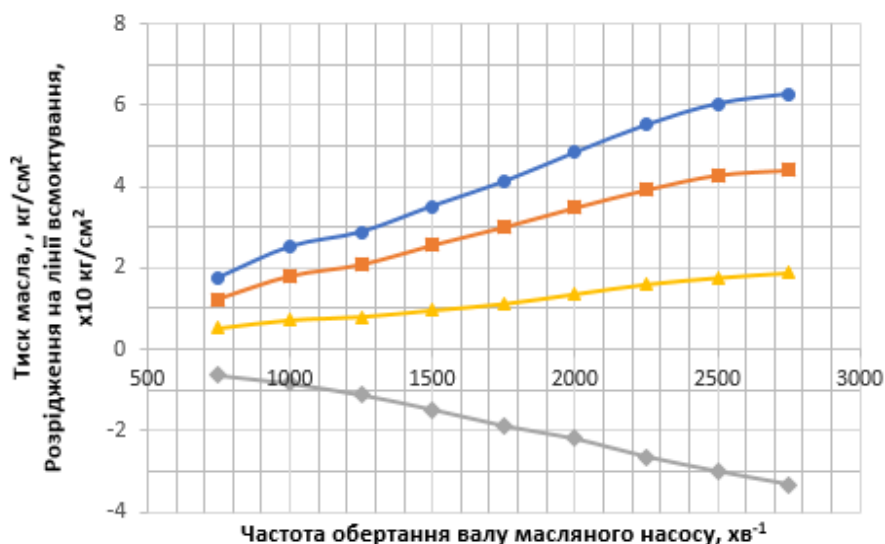


Рис. 8. Залежність тиску масляного насоса ●, тиску в напірній магістралі ■, перепаду тиску ▲ на масляному фільтрі ФМ 009-1012005 та вакууму на лінії всмоктування масляного насосу ◆

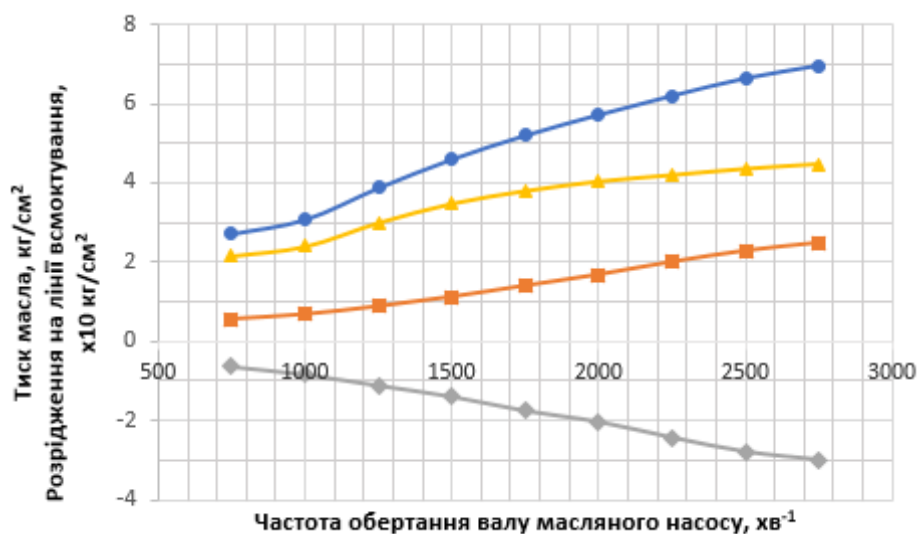


Рис. 9. Залежність тиску масляного насоса ●, тиску в напірній магістралі ■, перепаду тиску ▲ на масляному фільтрі М-019 (забруднений) і вакууму на лінії всмоктування масляного насоса ♦

Головною залежністю, що характеризує пропускну здатність масляних фільтрів, є залежність перепаду тиску на них від їх пропускну здатності. Сукупні дані залежності представлено на рис. 10.

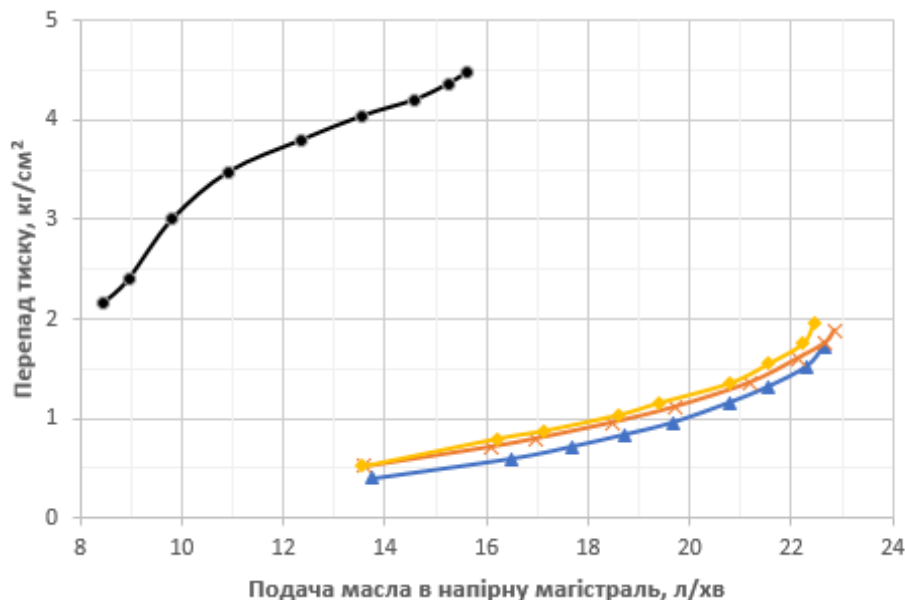


Рис. 10. Залежність перепаду тиску на фільтрах залежно від їх пропускну здатності: ● – фільтр М-019 (забруднений); ♦ – фільтр WL7133; ■ – ФМ 009-1012005; ▲ – SM 108

**Висновки.** У результаті проведеної серії експериментальних досліджень контуру подачі й очистки моторного масла системи мащення з використанням чотирьох моделей масляних фільтрів типу «spin-on» отримано графічні залежності витрати моторного масла масляним насосом, до головної масляної магістралі та до лінії зливу. Додатково визначено вплив досліджуваних режимів на розподіл тиску моторного масла, що створюється масляним насосом, тиску в напірній магістралі, перепаду масляного тиску на досліджуваних масляних фільтрах і з урахуванням розрідження (вакууму) на лінії всмоктування. Представлені залежності дають можливість здійснити оцінку роботи запобіжного клапана масляної системи та стану фільтруючого елемента. Залежність перепаду тиску на забрудненому фільтрі моделі M-019 очікувано відрізняється від інших досліджуваних моделей фільтрів і вказує на наявність підвищених енергетичних утрат на привід масляного насоса при загальному зниженні подачі моторного масла в напірну магістраль системи мащення. Наступні дослідження доцільно провести в напрямі визначення критеріїв діагностування технічного стану складників контуру подачі та очищення моторного масла систем мащення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Mollenhauer K., Tschoeke H. Handbook of Diesel Engines: Springer Series. Germany, 2010. 636 p.
2. Техническая брошюра по фильтрам: Service tips&info. 3-е изд. Motorservice, Technical Market Support. MS International GmbH, 2014. 48 с.
3. MANN+HUMMEL Filters for Liquids: Spin-on oil Filters. Speyer, Germany, 2020. 126 p.
4. Стенд КИ-921М с комплектом приборов, приспособлений и инструмента : инструкция по эксплуатации. Москва, 1982. 69 с.
5. Двигатели Д-246.1, Д-246.2, Д-246.3, Д-246.4 : руководство по эксплуатации. Минск, 2010. 104 с.
6. Стенд для дослідження параметрів елементів систем мащення високооберткових двигунів внутрішнього згоряння / Д.В. Курносенко, В.П. Савчук, Є.В. Білоусов, А.К. Дзигар, А.І. Котов. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2021. № 2. С. 73–79.
7. Belousov I., Bulgakov M., Savchuk V. Modern Marine Internal Combustion Engines: Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping. Germany, 2020. Volume 8. 385 p.
8. Babicz J. Wärtsilä Encyclopedia of ship technology. 2nd ed. Helsinki, Wärtsilä corporation, 2015. 659 p.
9. Lekshmanan S., Anil S. A Pictorial Guide to Important Checks on Main Engine Systems. Marine Insight, 2017. 29 p.
10. Botov S. Investigation on Novel Polymer Filter Medium for Filtration of Automotive Lubricants. Dissertation Submitted to the Department of Mechanical Engineering, University of Sheffield in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Philosophy. May 2016. Sheffield, United Kingdom. 156 p.

11. Призначення параметрів повнопоточних масляних фільтрів типу spin-on при комп'ютерному моделюванні систем мащення двигунів внутрішнього згоряння / Д.В. Курносенко, В.П. Савчук, О.В. Акімов, А.І. Котов. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування* : матеріали 12 Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 6–8 вересня 2021 р.). Херсон, 2021. С. 266–269.
12. Комп'ютерне моделювання масляних фільтрів із використанням геометричних особливостей / Д.В. Курносенко, В.П. Савчук, М.О. Бойко, С.С. Вислоцький. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування* : матеріали 12 Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 6–8 вересня 2021 р.). Херсон, 2021. С. 89–92.
13. Савчук В.П., Курносенко Д.В., Вислоцький С.С. Стендові дослідження робочих параметрів елементів систем мащення суднових двигунів внутрішнього згоряння. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті* : матеріали 13 Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 25-27 травня 2021 р.). Херсон, 2021. С. 55–57.

#### REFERENCES

1. Klaus Mollenhauer, Helmut Tschoeke (2010). Handbook of Diesel Engines: Springer Series, 636.
2. Filter Technical Brochure [Tekhnicheskaya broshyura po fil'tram]: Service tips & info (2014). 3rd edition, Motorservice, Technical Market Support. MS International GmbH, 48 [in Russian].
3. MANN+HUMMEL Filters for Liquids: Spin-on oil Filters. (2020) Speyer, 126.
4. Stand KI-921M with a set of devices, devices and tools: instruction manual [Stend KI-921M s komplektom priborov, prisposoblenij i instrumenta: instrukciya po ekspluatacii] (1982), 69 [in Russian].
5. Engines D-246.1, D-246.2, D-246.3, D-246.4: operation manual [Dvigateli D-246.1, D-246.2, D-246.3, D-246.4: rukovodstvo po ekspluatacii] (2010), 104 [in Russian].
6. Kurnosenko D.V., Savchuk V.P., Belousov E.V., Dzygar A.K., Kotov A.I. (2021). The stand for research of parameters of elements of systems of greasing of high-speed internal combustion engines [Stend dlya doslidzhennya parametriv elementiv sistem mashchennya visokoobertovih dviguniv vnutrishn'ogo zgoryannya]. *Internal Combustion Engines*, 73–79 [in Ukrainian].
7. Belousov I., Bulgakov M., Savchuk V. (2020). *Modern Marine Internal Combustion Engines: Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping*, 385.
8. Babicz J. (2015) *Wärtsilä Encyclopedia of ship technology*. Helsinki, Wärtsilä corporation, 659.
9. Lekshmanan S., Anil S. (2017). A Pictorial Guide to Important Checks on Main Engine Systems. *Marine Insight*, 29.

10. Sergiy Botov (2016). Investigation on Novel Polymer Filter Medium for Filtration of Automotive Lubricants. Dissertation Submitted to the Department of Mechanical Engineering, University of Sheffield in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Philosophy, 156.
11. Kurnosenko D.V., Savchuk V.P., Akimov O.V., Kotov A.I. (2021). Assignment of parameters of full-flow oil filters of the spin-on type at computer modeling of systems of greasing of internal combustion engines [Priznachennya parametriv povnopotochnih maslyanah fil'triv tipu spin-on pri komp'yuternomu modelyuvanni sistem mashchennya dviguniv vnutrishn'ogo zgoryannya]. Modern power plants in transport, technologies and equipment for their maintenance: materials 12 int. scientific-practical conf., 266–269 [in Ukrainian].
12. Kurnosenko D.V., Savchuk V.P., Boiko M.O., Vyslotskyi S.S. (2021). Computer modeling of oil filters using geometric features [Komp'yuterne modelyuvannya maslyanah fil'triv iz vikoristannyam geometrichnih osoblivostej]. Modern power plants in transport, technologies and equipment for their maintenance: materials 12 int. scientific-practical conf., 89–92 [in Ukrainian].
13. Savchuk V.P., Kurnosenko D.V., Vyslotskyi S.S. (2021). Poster researches of working parameters of elements of lubrication systems of marine internal combustion engines [Stendovi doslidzhennya robochih parametriv elementiv sistem mashchennya sudnovih dviguniv vnutrishn'ogo zgoryannya]. Modern information and innovative technologies in transport: materials 13 int. scientific-practical conf., 55–57 [in Ukrainian].

## ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ БЕЗПЕКИ ПЛАВАННЯ ЯК ФАКТОРУ БЕЗАВАРІЙНОСТІ СУДНОВОДІННЯ

А.О. Лисий<sup>1</sup>, О.Ю. Нестеров<sup>2</sup>, С.М. Перепечаєв<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, завідувач кафедри  
«Навігація та управління судном»,

Азовський морський інститут Національного університету  
«Одеська морська академія», м. Маріуполь, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-5596-0856

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри «Навігація та управління судном»,  
Азовський морський інститут Національного університету  
«Одеська морська академія», м. Маріуполь, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-3095-7746

<sup>3</sup>старший викладач кафедри «Навігація та управління судном»,  
капітан дальнього плавання,  
Азовський морський інститут Національного університету  
«Одеська морська академія», м. Маріуполь, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-0907-6162

### Анотація

**Вступ.** У статті розглядаються актуальні питання забезпечення безаварійності судноводіння, а також вирішуються питання порушення умов плавання як категорії, яка може запобігти аварійній ситуації під час судноплавства; аналізуються категорії аварійних подій за ступенем тяжкості подій і визначаються основні причини виникнення аварійності. **Метою** статті є дослідження умов безпеки мореплавства як фактору безаварійності судноводіння, а також пошук шляхів подолання порушень умов плавання. **Результати.** Міжнародні організації з питань безпеки мореплавства, такі як Міжнародна морська організація (ІМО), Європейське агентство EMSA, Берегова охорона розвинутих морських держав, асоціації судновласників та інших учасників морських перевезень, постійно досліджують питання підвищення контролю за безпекою на морі. Практика мореплавства показує, що більшість аварійних випадків трапляється через присутність людського фактору. Підвищення кваліфікації майбутніх офіцерів необхідно проводити шляхом залучення судноплавних компаній до процесу навчання в навчальних закладах, надання уваги фізичному та психофізіологічному здоров'ю, стимулювання зростання престижності праці. **Висновки.** Таким чином, до питання безаварійності судноводіння необхідно підходити комплексно, урахувавши зовнішні та внутрішні фактори. Необхідно вдосконалювати нормативно-правову базу, що регламентує умови безпечного судноплавства з метою чіткого розуміння дій для забезпечення відповідних умов плавання з боку суднового екіпажу й адміністрації портів.

**Ключові слова:** безпека судноводіння, порушення умов плавання, морський транспорт, людський фактор.

INVESTIGATION OF NAVIGATION SAFETY CONDITIONS  
AS A FACTOR OF SAFETY SAILING

A.O. Lysyi<sup>1</sup>, O.Y. Nesterov<sup>2</sup>, S.M. Perepechaev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD (Engineering), Head of the chair Navigation and Handling ship,  
associate professor of “Navigation and Handling Ship”,  
Azov Maritime Institute of the National University of  
“Odessa Maritime Academy”, Mariupol, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-5596-0856

<sup>2</sup>PhD (Engineering), Assistant Professor of Department  
of “Navigation and Handling Ship”,  
Azov Maritime Institute of the National University of  
“Odessa Maritime Academy”, Mariupol, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-3095-7746

<sup>3</sup>Senior Lecturer of Department of “Navigation and Handling Ship”,  
Deep sea Captain,  
Azov Maritime Institute of the National University of  
“Odessa Maritime Academy”, Mariupol, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-0907-6162

**Summary**

**Introduction.** The article is devoted to topical issues of ensuring trouble-free navigation, as well as issues of violation of navigation conditions, as a factor that can prevent an emergency during navigation; the categories of emergency events are analyzed according to the severity of events and the main causes of the occurrence of accidents are determined. **Purpose.** The purpose of the article is to study the safety conditions of navigation as a factor of accident-free navigation; search for ways to overcome violations of sailing conditions. **Results.** International maritime safety organizations such as the International Maritime Organization (IMO), the European EMSA, the Coast Guard of the Developed Maritime Powers, shipowners' associations and other maritime transport players are constantly investigating the issue of enhancing maritime safety controls. The practice of navigation shows that the majority of accidents occur due to the human factor. It is necessary to improve the qualifications of future officers by involving shipping companies in the training process in educational institutions; paying attention to the physical and psychophysiological health of seafarers; stimulating the growth of prestige of labor. **Conclusions.** Thus, it is necessary to approach the issue of accident-free navigation in an integrated manner, taking into account external and internal factors. It is necessary to improve the legal and regulatory framework governing the conditions of safe navigation in order to clearly understand the actions to ensure appropriate navigation conditions on the part of the ship's crew and port authorities.

**Key words:** safety of navigation, violation of navigation conditions, maritime transport, human factor.

**Вступ.** Сучасне судноводіння залишається діяльністю людини в умовах підвищеної небезпеки. У статті викладаються результати дослідження з актуальної для мореплавання теми людського фактору в судноводінні. Актуальність теми полягає в тому, що людський фактор, як показує статистика аварійності на флоті, чинить переважний вплив на безпеку мореплавання. Але, незважаючи на визнання

світовим морським співтовариством людського фактору як одного з основних і позитивну динаміку збільшення досліджень із цієї теми, проблема людського фактору поки залишається невирішеною.

**Постановка проблеми.** Проблема безпеки судноплавства сьогодні є актуальним питанням через вплив людського фактору на аварійність суден. Прагнення судовласників отримувати надприбуток призводить до зростання аварійності на флоті. Питання залучення в професію моряка вимагають багатостороннього аналізу й істотних зусиль усіх зацікавлених сторін.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині питанням дослідження безаварійності судноводіння займаються багато вітчизняних [1; 5; 9] і зарубіжних авторів [4; 6]. Аналіз цих робіт показує, що питанням безпеки судноплавства приділяється багато уваги, але кожен рік трапляється величезна кількість аварій на морі, більшість із яких через вплив людського фактору. Світові організації з питань безпеки судноводіння [7; 8] у щорічних репортажах надають сумну статистику, яка показує, що сьогодні так і не вирішені питання забезпечення безпечного судноплавства.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є всебічний аналіз безпеки судноводіння; визначення необхідності виконання умов плавання для попередження аварійних подій на морі; виявлення впливу людського фактору на безпеку мореплавства.

**Виклад основного матеріалу.** Забезпечення безпеки мореплавства є однією з основних умов успішної комерційної діяльності суден у зовнішньоекономічній діяльності. Міжнародний кодекс проведення розслідувань аварій та інцидентів на морі визначає аварію на морі як подію, що є результатом будь-якої з таких подій [1]:

- загибелі або серйозного поранення людини, завданих експлуатацією або у зв'язку з експлуатацією судна;
- утрати людини із судна, заподіяної експлуатацією судна;
- загибелі, передбачуваної загибелі або залишення судна;
- пошкодження судна;
- посадки судна на ґрунт або позбавлення його можливості руху або участі в зіткненні;
- ушкодження, заподіяного експлуатацією або у зв'язку з експлуатацією судна;
- збитку навколишньому середовищу, викликаному ушкодженнями судна або суден, у свою чергу, завданих експлуатацією судна або суден.

Міжнародна морська організація (далі – ІМО), діяльність якої зосереджена на питаннях забезпечення безпеки на морі та запобігання забрудненню із суден навколишнього середовища, розробила Кодекс ІМО А.849 (20), який визначає категорії аварійних подій за ступенем тяжкості подій, які сталися, а саме [2]:

- дуже серйозна аварія (катастрофа) – аварія, унаслідок якої сталася повна загибель судна, загибель людини або серйозне забруднення моря;
- серйозна аварія – аварія, що не кваліфікуються як дуже серйозна та яка спричинила такі наслідки, як пожежа, вибух, посадка судна на мілину, навал, штормове попередження, льодове пошкодження, тріщина в корпусі або передбачуваний дефект корпусу тощо; конструкційне пошкодження, у результаті якого судно

втратило морехідність, наприклад, отримало підводну пробоїну, зазнало поломку головного двигуна, значне пошкодження житлових приміщень тощо; забруднення моря (незалежно від кількості пробоїн); поломка, унаслідок якої виникла необхідність буксирування або допомоги берегових служб;

– інцидент на морі – випадок або подія, викликані експлуатацією або у зв'язку з експлуатацією судна, наслідком якого є спричинення загрози судну або людині, або в результаті яких могли статися серйозне пошкодження судна або морської установки або могло бути завдано збитків навколишньому середовищу.

Порушення умов плавання є частиною формальної оцінки безпеки, яка характеризується, як правило, імовірнісною величиною [3]. Наприклад:

- за межі маневрової смуги під час проходження каналу;
- вхід в акваторію порту судна, величина якого не відповідає розрахунковій;
- швартування з недопустимою швидкістю;
- швартування до причалу судна з невідповідною допустимим навантаженням водотоннажністю;
- рух судна з осадкою, що не відповідає глибинам порту.

Порушенню умов плавання суден як категорії, що відповідає за безпеку судноплавства, необхідно приділяти максимальну увагу через можливість запобігти аварійним подіям під час судноплавства. Оптимізація транспортного потоку безпосередньо залежить від безпеки мореплавства, а аварійні ситуації, у свою чергу, завжди призводять до неминучих економічних витрат з боку всіх зацікавлених у перевезенні вантажу сторін. Яскравий приклад – контейнеровоз Ever Given компанії Evergreen Marine в Суецькому каналі 23 березня 2021 року, який спричинив затримку в каналі майже на тиждень, створивши чергу з 350 суден [4].

Проблемою сьогодення в морському судноплавстві є те, що часто порушення умов плавання приховує менеджмент судна. Це пов'язано з економічним тиском на перевізників з метою отримання додаткового прибутку. Можна навести основні порушення, які виникають унаслідок неправомірного тиску з боку зацікавлених сторін [5]:

- недотримання техніки безпеки під час швартових і буксирних операцій;
- ігнорування законів гідродинаміки при плаванні в обмежених умовах, які призводять до навалів і зіткнень;
- збільшення вантажної марки судна при ігноруванні розрахунків міцності конструкції;
- фіктивне виконання розрахунків щодо визначення метацентричної висоти й остійності судна.

Порушення умов плавання має властивість накопичувати «критичну масу» [6], тобто перетворюється з аварії в катастрофу. Статистичні дані показують, що наслідком 8 порушень умов плавання є 1 аварія, а 38 аварій – 1 катастрофа [7].

Незважаючи на технічний прогрес та активний розвиток інформаційних технологій, судноводіння є діяльністю в умовах підвищеної небезпеки для життя людини. Швидкий розвиток морських портів, постійне збільшення кількості суден і збільшення їх дедвейту, водотоннажності й швидкості призводять до ускладнення діяльності сучасного судноводія. Забезпечення безпеки мореплавства стає необхідною умовою охорони життя й середовища від забруднення на

морі. Альтернативою навігаційній аварійності є навігаційна безпека плавання, тобто такий стан судна в конкретних обставинах, коли забезпечується мінімальний ризик посадки судна на мілину, торкання ґрунту, зіткнення зі штучним або природним перешкодою, виходу судна за межі встановленої зони або акваторії в результаті навігаційних помилок.

Людський фактор також може спричинити порушення правил безпеки мореплавання, а саме:

- відсутність дисципліни членів екіпажу;
- низька кваліфікація кадрів;
- низький рівень самоменеджменту;
- розумова та фізична втома;
- психологічна й емоційна нестабільність тощо.

Трапляються випадки, коли капітани суден із багаторічним стажем роботи в певних стресових ситуаціях під впливом емоційно-психологічних і психофізіологічних факторів часто приймають помилкові рішення в питаннях безпеки судноплавства. Тобто мова йде про присутність «людського фактору». Людський фактор сьогодні є головною причиною багатьох аварій у морі, таких як зіткнення суден, посадка судна на мілину, забруднення моря тощо. Основними причинами виникнення аварійних ситуацій Європейське агентство EMSA визначило такі [8; 9]:

- помилкові дії екіпажу (людський фактор) (67%);
- відмови обладнання (24%);
- небезпечні речовини (4%);
- погодні умови (3%);
- третя сторона (3%).

До причин, які спричиняють помилки під час мореплавства, належать такі:

- недоліки інформаційно-технічного забезпечення (відсутність інформації, інформаційне перевантаження, інформаційна неточність);
- обмеження, зумовлені проявами зовнішніх чинників (засвічення центральної частини екрана судовий РЛС, інші перешкоди, викликані гідрометеорологічними явищами);
- обмеження, викликані емоційно-психологічним станом екіпажу;
- недосконалість ресурсів підтримки й виконання прийнятого рішення.

Дослідження умов безпеки плавання як фактору безаварійності судноводіння показало, що, незважаючи на досвід і кваліфікацію судового екіпажу, неможливо нівелювати людський фактор, що спричиняє більшість аварійних ситуацій під час виконання рейсу. На процес прийняття рішень під час рейсу впливають такі параметри, як розумова, емоційна та фізична втома, адаптація до нового колективу й умов праці, фрустрація, депривація тощо. До шляхів зменшення впливу людського фактору на аварійність суден за умов постійної флуктуації цього фактору залежно від впливу внутрішніх і зовнішніх факторів, доцільно додати необхідність постійного підвищення якості підготовки майбутніх фахівців. Сьогодні спостерігається істотне зниження якості підготовки моряків у всьому світі, але рівень підготовки українських моряків залишається досить високим і попит на вітчизняних моряків завжди присутній на ринку судноплавної галузі. Необхідно

долучати судноплавні компанії до процесу навчання майбутніх моряків, стимулювати підвищення престижу праці на судах шляхом підвищення заробітних плат, адже спостерігається спад популярності морських професій. Стан стресу завжди присутній у процесі виконання моряком професійних обов'язків. Під час прийому в заклади морської галузі необхідно приділяти увагу як фізичному здоров'ю, так і психофізіологічному, яке сприятиме формуванню професійно важливих якостей, що, у свою чергу, суттєво вплине на формування частки людського фактору серед інших, що впливають на аварійність.

**Висновки.** Таким чином, усебічний аналіз безпеки судноводіння показав необхідність виконання умов плавання для запобігання аварійним подіям на морі, що можна досягти шляхом зменшення впливу людського фактору на безпеку мореплавства. Боротьба з аварійністю суден повинна починатися з виправлення маленьких недоліків, які зазвичай стають головними та всі разом можуть призвести до критичних наслідків у вигляді катастроф. Необхідно постійно вдосконалювати нормативні документи, що регламентують умови безпечного судноплавства, для чіткого розуміння дій з метою забезпечення відповідних умов плавання з боку судового екіпажу й адміністрації портів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Соколов В.Т. Акватории порта и навигационная безопасность плавання судов : учебное пособие. Одесса : Астропринт, 2006. 162 с.
2. Кодекс проведения расследований аварий и инцидентов на море = Code for Investigation of Marine Casualties and Incidents. Санкт-Петербург : ЗАО ЦНИИМФ, 1998. 112 с.
3. Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 29.05.2006 № 516. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06#Text>.
4. Ever Given: проблемы только начинаются. URL: <https://usm.media/ever-given-problemy-tolko-nachinayutsya/>.
5. Соколов В.Т. Проблемы навигационной безопасности и создание системы обеспечения в припортовых водах. Одесса : Друк, 2007. 32 с.
6. О классификации морских происшествий. *Судоходство*. 2007. № 9. С. 20–22.
7. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents. URL: <http://www.emsa.europa.eu/tags/85-annual-overview.html>.
8. EMSA. URL: <http://www.emsa.europa.eu/>.
9. Zagorodnia Y., Pozdniakova V., Marukhnenko O. Safety of Navigation as a Factor of Increasing the Efficiency of the Commercial Operation of the Ship. *Transport Development*. 2021. № 1 (8). P. 62–69.

#### REFERENCES

1. Sokolov V. T. Akvatorii porta i navigacionnaya bezopasnost' plavaniya sudov: Uchebnoe posobie / V. T. Sokolov. Odessa : Astroprint, 2006. 162 s. [in Russian].

2. Kodeks provedeniya rassledovaniy avarij i incidentov na more = Sode for Investigation of Marine Casualties and Incidents. CPb.: ZAO CNIIMF, 1998. 112 s. [in Ukrainian].
3. Pro zatverdzhennya Polozhennya pro klasifikaciyu, poryadok rozsliduvannya ta obliku avarijnih mors'kih podij iz sudnami: Nakaz Ministerstva transportu ta zv'yazku Ukraïni 29.05.2006 roku № 516 [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06#Text> [in Ukrainian].
4. Ever Given: problemy tol'ko nachinayutsya [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu: <https://usm.media/ever-given-problemy-tolko-nachinayutsya/> [in Russian].
5. Sokolov V. T. Problemy navigacionnoj bezopasnosti i sozdanie sistemy obespecheniya v priportovyh vodah / V. T. Sokolov. Odessa : Druk, 2007. 32 s. [in Russian].
6. O klassifikacii morskikh proisshestvij // Sudohodstvo. 2007. № 9. S. 20–22 [in Russian].
7. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu: <http://www.emsa.europa.eu/tags/85-annual-overview.html>.
8. EMSA [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu: <http://www.emsa.europa.eu/>.
9. Zagorodnia Y. Safeaty of Navigation as a Factor of Increasing the Efficiency of the Commercial Operation of the Ship / Y. Zagorodnia, V. Pozdniakova, O. Marukhnenko // Transport Development. 2021. 1(8). P. 62–69.

## ВПЛИВ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЛІДУ АВІАНЕСУЧОГО СУДНА НА ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ СУПУТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

**С.В. Терлич**

к.т.н., доцент кафедри «Суднобудування та ремонт суден»,  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Херсон (Херсонська філія), Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-6044-3087

### **Анотація**

**Вступ.** Турбулентність в атмосфері є одним із основних факторів ризику для авіації. Великі вихори, які виникають при обтіканні складного рельєфу берегової місцевості та стаціонарних берегових споруд, а також як й атмосферний супутній слід за авіанесучим судном, є серйозною загрозою для літальних апаратів, що здійснюють зліт або посадку. Актуальність. Залежно від обставин літальний апарат, який потрапляє у вихоровий слід за судном, може відчувати сильні збурення підйомної сили, моментів крену, рискання й тангажуючого моменту. Саме обмеження у вихровій безпеці в основному визначають мінімальні дистанції між кораблем і літальним апаратом при посадці. Зліт і посадка на палубу авіаносного корабля є найскладнішими режимами пілотування. **Метою** дослідження є моделювання обтікання надводної частини судна повітряним потоком і формування когерентних структур від його корпусу й надбудов (рубок, щогл, спеціальних пристроїв) під час руху судна, його швартування або стоянки на якорі, урахування впливу хитавиці судна на формування й еволюцію когерентних структур атмосферного супутнього сліду, оцінка параметрів впливу збуреного потоку від судна на літального апарату. **Методи та технології.** Під час дослідження застосовано сіткові методи розв'язання початково-крайових задач прикладної аеродинаміки (RANS: Reynolds-averaged Navier-Stokes) [2] і технології штучних нейронних мереж [3]. **Отриманий результат** не враховує в'язкої структури вихорів та «оцінки зверху» ступеня небезпечності вихорового сліду для літального апарату в супутньому сліді корабля. З іншого боку, вихоровий слід, який отримано сітковим методом, у силу високої схемової в'язкості, ураховуючи рихлу структуру вихорів, дає змогу дати «оцінку знизу». Зокрема, на рис. 6 спостерігається сплиття вихорового кластера (вихорів протилежного знаку) на значну висоту відносно поверхні моря. **Висновки.** 1. Створено комп'ютеру модель обтікання надводного корпусу та рубки судна повітряним потоком. 2. Отримано графічні залежності впливу хитавиці судна на формування супутнього аеродинамічного сліду за судном. 3. Виконано оцінку параметрів впливу збуреного потоку на літальні апарати в супутньому сліді в атмосфері за судном.

**Ключові слова:** авіанесучі цивільні судна, вихоровий слід, динаміка літального апарату.

THE INFLUENCE OF AIRCRAFT VESSEL AERODYNAMIC TRACK  
ON DYNAMIC PARAMETERS FOR ASSOCIATED AIRCRAFT

S.V. Terlych

PhD in Engineering, Associate Professor of the Department  
“Shipbuilding & Ship Repair”,  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-2627-9463

**Summary**

**Introduction.** Atmospheric turbulence is a major risk factor for aviation. Large vortices that occur around the complex terrain and stationary coastal structures, as well as the atmospheric associated trail behind the aircraft carrier, are a serious threat to aircraft taking off or landing. Relevance. Depending on the circumstances, an aircraft that enters a vortex trail behind a ship may experience severe disturbances in lift, heeling, jerking, and pitch. It is the vortex safety constraints that mainly determine the minimum distances between the ship and the aircraft during landing. Takeoff and landing on the deck of an aircraft carrier are the most difficult modes of piloting. The **purpose** of the study is to simulate the flow of the surface of the vessel by air flow and the formation of coherent structures from its hull and superstructures (logging, masts, special devices) during the movement of the vessel, its mooring or anchorage, taking into account the impact of ship rocking on accompanying trace and assessment of the parameters of the impact of the disturbed flow from the vessel on the aircraft. Methods and technologies. The study used grid methods to solve the initial-boundary value problems of applied aerodynamics (RANS: Reynolds-averaged Navier – Stokes) [2] and artificial neural network technology [3]. The **results** does not take into account the viscous structure of the vortices and the “top-down” assessment of the degree of danger of the vortex trail to the aircraft in the accompanying trail of the ship. On the other hand, the vortex trace obtained by the grid method, due to the high circuit viscosity, given the loose structure of the vortices, allows to give a “bottom estimate”. In particular, in fig. 6 there is an interweaving of a vortex cluster (vortices of opposite sign) at a considerable height relative to the sea surface. **Conclusions.** 1. The computer has a model of the surface of the surface hull and the cabin of the ship by air flow. 2. Graphical dependences of the influence of the ship's wobble on the formation of the accompanying aerodynamic track behind the ship are obtained. 3. The estimation of parameters of influence of the disturbed trace on aircraft in the accompanying trace in the atmosphere behind the vessel is executed.

**Key words:** aircraft vessels, vortex trail, aircraft dynamics.

**Вступ.** У наш час уже відомо, що турбулентність в атмосфері є одним із основних факторів ризику для авіації. Великі вихори, які виникають при обтіканні складного рельєфу берегової місцевості та стаціонарних берегових споруд, а також як й атмосферний супутній слід за авіанесучим судном (далі – АС), є серйозною загрозою для літальних апаратів (далі – ЛА), що здійснюють зліт або посадку. Варто зазначити, що в сучасному суднобудуванні все більш проектів передбачають можливість посадки, базування й навіть обслуговування гелікоптерів: великі

транспортні судна – для лоцманського сервісу, промислові – для рибопошуку та інспекції, патрульні – для візуальної розвідки й постановки гідроакустичного обладнання. Одним зі шляхів підвищення безпеки польоту є створення моделюючих систем і комплексів, які реалістично відображають вплив турбулентних течій на ЛА.

**Постановка проблеми.** Історія авіаційних катастроф описує багато прикладів, у яких причиною фатального результату стала неготовність екіпажу ЛА до ситуації потрапляння в зони турбулентності ясного неба (далі – ТЯН). До таких ситуацій можна віднести потрапляння у вихровий слід за рухомим судном, зрушення вітру, атмосферні вихори. При цьому залежно від обставин ЛА, що потрапляє в нього, може відчувати сильні збурення підйомної сили, моментів крену, ризику й тангажуючого моменту. Поперечний перетин вихрового сліду небезпечний з точки зору динамічних навантажень і можливого пошкодження конструкції ЛА. Відомі випадки втрати двигуна в результаті попадання у вихровий слід [1]. Саме обмеження у вихровій безпеці в основному визначають мінімальні дистанції між ЛА при посадці й у підсумку пропускну здатність летовища. Зліт і посадка на палубу авіаносного корабля є найскладнішими режимами пілотування. При здійсненні таких операцій льотчик відчуває сильне навантаження, тому достовірне моделювання цих режимів є одним із важливих завдань сучасної корабельної аеродинаміки та теорії безпеки польотів.

**Формулювання цілей статті.** Дослідження передбачає розв’язання наступних завдань:

- моделювання обтікання надводної частини судна повітряним потоком і формування когерентних структур від його корпусу і надбудов (рубок, щогл, спеціальних пристроїв) під час руху судна, його швартування або стоянки на якорі;
- урахування впливу хитами судна на формування й еволюцію когерентних структур атмосферного супутнього сліду;
- оцінка параметрів впливу збуреного потоку від судна на ЛА (на прикладі гвинтокрилу).

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні та створенні нових, комплексних підходів до моделювання впливу атмосферної турбулентності за судном на аеродинамічні характеристики ЛА й оцінки цих характеристик:

- отримати нові знання про характеристики течії в атмосферній зоні авіанесучих суден, структуру й еволюцію атмосферного супутнього сліду за ними з урахуванням впливу профілю вітру, атмосферної турбулентності й хитами;
- визначити аеродинамічні характеристики дослідженої моделі гвинтокрилу, який здійснює рух у збуреній течії, що створюють авіанесучі судна.

Методи та технології. Під час дослідження застосовано сіткові методи розв’язання початково-крайових задач прикладної аеродинаміки (RANS: Reynolds-averaged Navier–Stokes) [2] і технології штучних нейронних мереж [3].

Достовірність результатів обґрунтовується верифікацією розрахункових методів за допомогою методу максимумів тиску [4] та отриманих на його базі критеріїв, проведенням попередніх прикладних розрахунків за достатністю кількості вузлів розрахункових сіток і розмірів розрахункової ділянки, вибору топології розрахункових сіток, оцінкою апроксимації та збіжності.

**Виклад основного матеріалу.** Поверхня гвинтокрилу моделюється сукупністю чотирикутних панелей з розподіленими на них джерелами й вихорами постійної інтенсивності в межах панелі. Несучі елементи фюзеляжу, консолей, механізації моделюється панелями зі шматково-лінійним по хорді розподілом завихреності та шматково-постійним розподілом джерел і стоків. Гвинтокрил умовно поміщено в «заморожене» поле швидкостей, яке обчислене за допомогою рішення крайової задачі для рівняння Рейнольдса:

$$\rho \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = \rho \bar{f}_i + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ -\bar{p} \delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j \right], \quad (1)$$

де  $\rho \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j}$  – змінення кількості руху газу;

$\rho \bar{f}_i$  – дія зовнішніх сил;

$\bar{p} \delta_{ij}$  – сили тиску;

$\mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$  – дія зусиль за рахунок в'язкості;

$-\rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j$  – турбулентні напруження.

Параметри повітряного потоку на поверхні води будуть істотно впливати на течії навколо корабля. Варто зазначити, що наявні публікації на цю тему описують в основному тільки випадки потенційного профілю вітру, коли вертикальний силовий складник відсутній ( $\text{rot} \bar{u}_z = 0$ ), де характеристики турбулентності можна отримати виключно шляхом чисельного моделювання задачі в нестационарній постановці [5], для чого необхідні великі обчислювальні потужності, ніж ті, які наведено в дослідженні.

Урахування впливу хитаவிці, стійкості на курсі та керованості корабля виконано в спрощеній постановці [6]. Таке рішення прийняте через те, що пряме чисельне моделювання цього явища вимагає використання технологій сіток, які деформуються, та реалізації початково-крайових умов при розв'язанні нестационарної задачі для системи рівнянь Нав'є-Стокса, осередненої за Рейнольдсом (URANS: The Unsteady Reynolds-Aver aged Navier-Stokes), тому час розрахунків значно збільшується. При цьому може бути знижена точність розрахунків та існує ймовірність відсутності можливості створити досить повну базу за відносно короткий час.

Саме це дає можливість **розв'язання багатодисциплінарної задачі**, яка об'єднує методи теорії корабля, динаміку атмосфери (сіткові методи), аеродинаміку ЛА (на прикладі гвинтокрилу) у збуреному потоці (панельні методи), чисельні методи розв'язання початково-крайових задач (методи скінченого об'єму та граничних елементів), прикладну математику й технології штучних нейлонових мереж (ШНМ).

Блок-схема запропонованого методу та його інтеграції в програмне забезпечення наведено на рис. 1.

При розв'язанні моделювання задачі вихорового сліду за допомогою дискретних вихорів у дослідженні застосовано вихори Ренкіна, профіль швидкості яких

схематично зображено на рис. 2, з ядром сталої завихреності  $\omega_0$ , радіусу  $a$ , що виключає особливості в центрі вихору. Для внутрішніх точок вихору справедливе рівняння [7]:

$$u - iv = \frac{\omega}{2\pi i} \int_0^a \int_0^{2\pi} \frac{r_0 dr_0 d\theta_0}{z - r_0 e^{i\theta_0}} = -\frac{\omega}{2\pi} \int_0^a r_0 dr_0 \int_{K(r_0)} \frac{dz_0}{z_0(z - z_0)}, \quad (2)$$

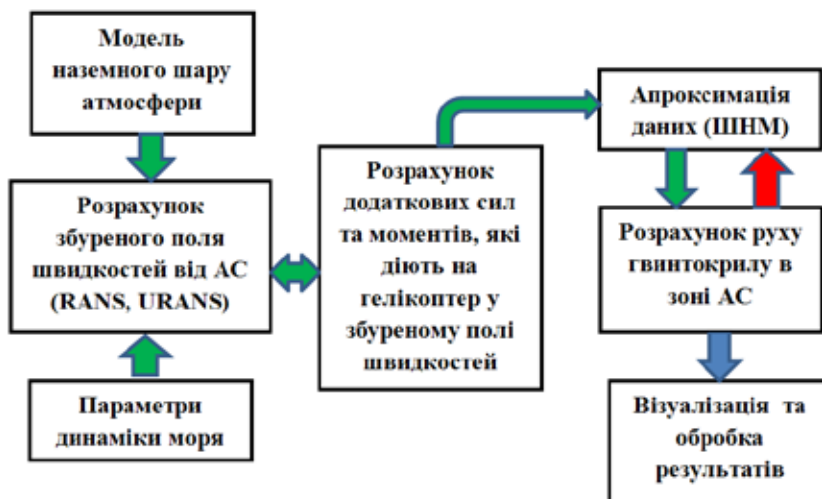


Рис. 1. Обчислювальний модуль розрахунку руху гвинтокрила в турбулентній зоні корабля

де  $K(r_0)$  – окружність із радіусом  $r_0$ , вздовж неї  $d\theta_0 = \frac{dz_0}{iz_0}$ , ( $z_0 = r_0 e^{i\theta_0}$ ), внутрішній інтеграл становитиме  $\frac{2\pi i}{z}$ , тоді рівняння (2) матиме вигляд:

$$u - iv = \frac{\omega \pi r^2}{2\pi i z} = -\frac{1}{2} \omega r i e^{-i\theta}. \quad (3)$$

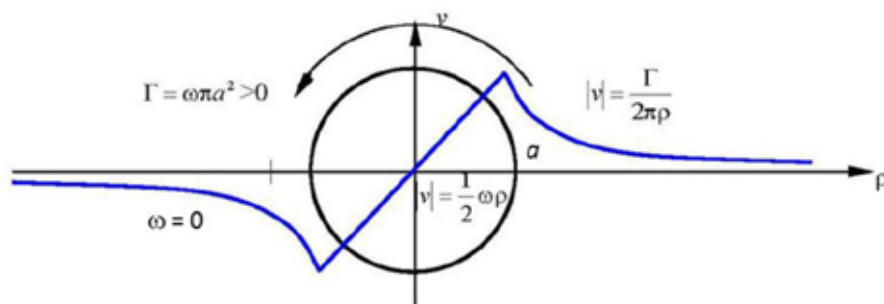


Рис. 2. Профіль швидкості (вихор Ренкіна)

Якщо точка  $z = r e^{i\theta}$  знаходиться поза колом радіусу  $a$ , то внутрішній інтеграл:

$$\int_{K(r_0)} \frac{dz_0}{z_0(z-z_0)} = \frac{1}{z} \int_{K(r_0)} \left[ \frac{1}{z_0} + \frac{1}{z-z_0} \right] dz_0 =$$

$$= \frac{1}{z} \left[ \ln z_0 \Big|_{K(r_0)} - \ln(z-z_0) \Big|_{K(r_0)} \right] = \frac{1}{z} [2\pi i - 0],$$

звідки  $u - iv = -\frac{\omega}{2\pi} \frac{a^2}{2} \frac{2\pi i}{z} = \frac{\omega \pi a^2}{2\pi i z} = \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z} = -\frac{\Gamma}{2\pi r} ie^{-i\theta}$ , тобто те саме, як для точкового вихору, який має таку ж циркуляцію. Напрямок швидкості визначається множителем  $-ie^{-i\theta}$ . При  $\Gamma > 0$  вектор швидкості направлений у сторону зростання  $\theta$  (перпендикулярно до  $r$ ).

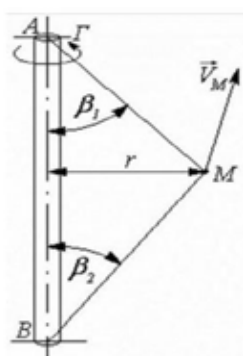


Рис. 3. Поле швидкостей потенційного вихору

Збурену швидкість  $V$  в будь-якій точці  $M$  простору на відстані  $r$  від відрізка  $AB$  потенційного вихору (рис. 3) визначено за залежністю Біо-Савара [8]:

$$V_M = \frac{\Gamma}{4\pi r} (\cos \beta_1 + \cos \beta_2),$$

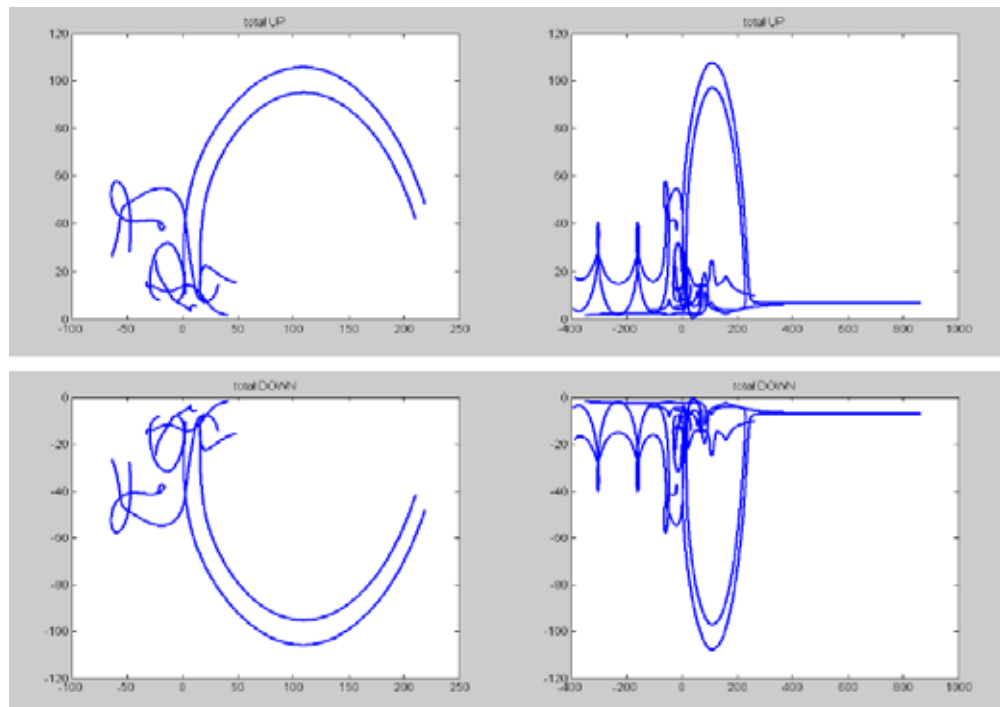
де  $\Gamma$  – задана циркуляція швидкості;  $\beta_1$  та  $\beta_2$  – кути, під якими видимі кінці відрізка  $AB$  з точки  $M$ . У програмному комплексі CARWAT змодельовано динаміку вихорового сліду поблизу поверхні моря за рекомендаціями [9; 10]. Слід складається з  $N$  вихорів і такої ж кількості дзеркально-відображених вихорів, які моделюють умови непротікання. Візуалізацію здійснено в блоці GRAF (рис. 4 та рис. 5).

Оцінка результатів. Отриманий результат не враховує в'язкої структури вихорів та «оцінки зверху» ступеня небезпечності вихорового сліду для ЛА в супутньому сліді корабля. З іншого боку, вихоровий слід, який отримано сітковим методом, у силу високої схемової в'язкості, урахувуючи рихлу структуру вихорів, дає змогу дати «оцінку знизу». Зокрема, на рис. 6 спостерігається сплиття вихорового кластера (вихорів протилежного знака) на значну висоту відносно поверхні моря.

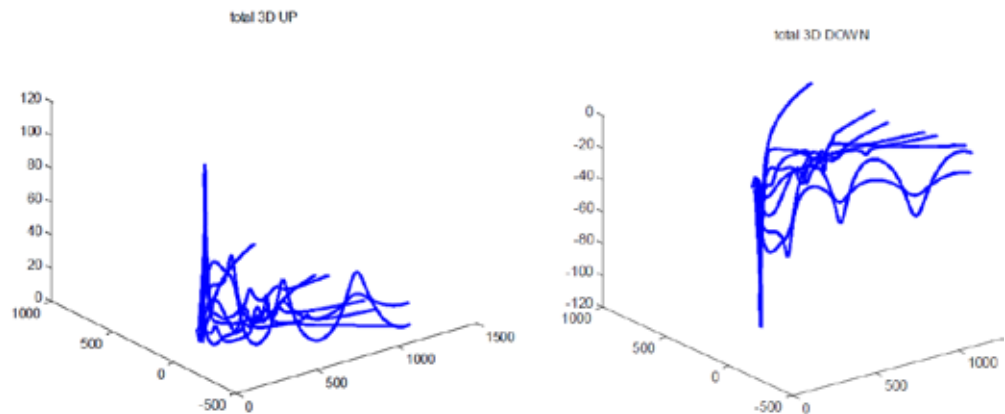
**Висновки.** Отже, на основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Створено комп'ютеру модель обтікання надводного корпусу та рубки судна повітряним потоком.

2. Отримано графічні залежності впливу хитавиці судна на формування супутнього аеродинамічного сліду за судном. 3. Виконано оцінку параметрів впливу збуреного потоку на літальні апарати в супутньому сліді в атмосфері за судном



*Рис. 4. Положення вихорів у сліді за кораблем  
(ліворуч із дисипацією 20 секунд, праворуч – 100 секунд)*



*Рис. 5. Положення сліду у вихорі за кораблем із дисипацією 100 секунд 3D*

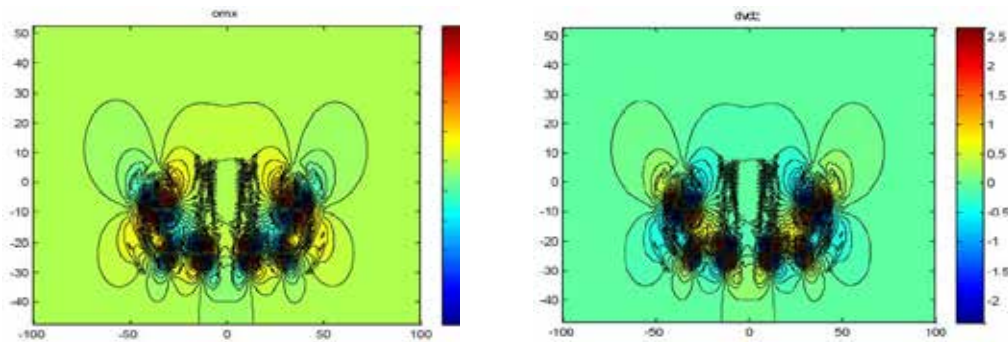


Рис. 6. Поле  $\frac{dv}{dz}$  ліворуч і поздовжньої компоненти (праворуч) завихореності;  
розроблено в блоці *CohrStr* (*CARWAT*) методом *RANS*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Терлич С.В. Дослідження впливу аеродинамічного сліду авіа несучого судна на динамічні параметри супутніх літальних апаратів. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування* : матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон : ХДМА, 2021. С. 37–42.
2. Коптев А.В. Структура решений уравнений Навье-Стокса: Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования. *Герценовские чтения-2014*. Санкт-Петербург : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. С. 71–74.
3. Holzäpfel F., Misaka T., Hennemann I. Wake-vortex topology, circulation, and turbulent exchange processes. *AIAA Paper*. 2010. V. 7992. P. 1–16.
4. Paszko M. Infrared signature suppression systems in modern military helicopters. *Sciendo*. 2017. № 3 (248). P. 63–83.
5. Саланда І.П., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 1 (41). С. 122–126.
6. Корняков А.А., Босняков И.С., Судаков Г.Г. Расчет поля скоростей в окрестности корабля при его движении, наличии градиентного ветра и качки. *Труды Московского физико-технического института*. 2015. Т.7. № 1 (25). С. 28–35.
7. Чернов В.Г., Павленко В.Ю., Андрусеник А.В. Методика оцінки точності наведення винищувачів на повітряні цілі за величиною курсового кута цілі. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2016. № 2. С. 62–64.
8. Моделирование на пилотажном стенде посадки самолета на авианесущий корабль / А.А. Корняков, О.В. Анимица, И.С. Босняков, Ю.Н. Свириденко, Г.Г. Судаков. *Труды ЦАГИ*. 2016. № 2752. С. 34–61.

9. Худов Г.В., Таран І.А. Методика синтезу раціональної структури підсистеми розвідки системи протиповітряної оборони з використанням генетичного алгоритму. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2016. № 2 (23). С. 25–31.
10. Лучик Н.Ю., Цибро Є.Г. Методика корегування відхилень літака для виводу його на заданий напрямок. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2020. № 2 (64). С. 69–73.

#### REFERENCES

1. Terlych S.V. (2021) Investigation of the influence of the aerodynamic trace of an aircraft carrier on the dynamic parameters of related aircraft [Doslidzhennya vplyvu aerodynamichnoho slidu avia nesuchoho sudna na dynamichni parametry sputnykh lital'nykh apparativ] // Proceedings of the XII International scientific-practical conference «Modern power plants in transport and technologies and equipment for their maintenance». – Kherson. – KSMA. – P. 37–42 [in Ukrainian].
2. Koptev A.V. (2014) The structure of solutions of the Navier-Stokes equations: Some current problems of modern mathematics and mathematical education [Struktura reshenyi uravneniy Nave-Stoksa: Nekotorye aktualnye problemy sovremennoi matematyky y matematycheskoho obrazovaniya] // Herzen readings – SPb.: RGPU after AI Herzen, pp. 71–74 [in Russian].
3. F. Holzäpfel, T. & Misaka, I. Hennemann (2010) Wake-vortex topology, circulation, and turbulent exchange processes // AIAA Paper. V. 7992. P. 1–16 [in English].
4. Paszko M. (2017) Infrared signature suppression systems in modern military helicopters. *Scienco*. No. 3(248). P. 63–83 [in English].
5. Salanda I.P., Barabash O.V. & Musinko A.P. (2017) The system of indicators and criteria for the formalization of processes for the maintenance of local functionalities of information distribution [Systema pokaznykiv ta kryteriyiv formalizatsiyi protsesiv zabezpechennya lokal'noyi funktsional'noyi stiykosti roz'haluzhenykh informatsiynykh merezh] / Management systems, navigation and communication. – #. 1 (41). – P. 122–126 [in Ukrainian].
6. Korniyakov A.A., Bosnyakov I.S. & Sudakov G.G. (2015) Calculation of the velocity field in the vicinity of the ship during its movement, the presence of a gradient wind and rolling (Raschet polya skorostey v okrestnosti korablya pri yego dvizhenii, nalichii gradiyentnogo vetra i kachki) // Proceedings of the Moscow Institute of Physics and Technology. T. 7. No. 1 (25). P. 28–35 [in Russian].
7. Chernov V.G., Pavlenko V.Y. & Andrusenik A.V. (2016) Methods for assessing the accuracy of aiming fighters at air targets by the value of the course angle of the target [Metodyka otsinky tochnosti navedennya vynyshchuvachiv na povitryani tsili za velychynoyu kursovoho kuta tsili] /

- Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. – № 2. – P. 62–64 [in Ukrainian].
8. Korniyakov A.A., Animitsa O.V., Bosnyakov I.S. & Sviridenko Yu.N., Sudakov G.G. (2016) Modeling on the aerobatic stand of landing an aircraft on an aircraft carrier (Modelirovaniye na pilotazhnom stende posadki samoleta na avianesushchiy korabl') // Proceedings of CAHI. No. 2752. p. 34–61 [In Russian].
  9. Khudov G.V. & Taran I.A. (2016) Methods of synthesis of the rational structure of the reconnaissance subsystem of the air defense system using a genetic algorithm [Metodyka syntezy ratsional'noyi struktury pidsystemy rozvidky systemy protypovitryanoyi oborony z vykorystanniam henetychnoho alhorytmu] / Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. – № 2 (23). – P. 25–31 [in Ukrainian].
  10. Luchy N. Yu. & Tsibro E.G. (2020) The method of correcting the deviations of the aircraft to bring it in a given direction [Metodyka korehuvannya vidkhylen' litaka dlya vyvodu yoho na zadanyy napryamok]. Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force. – № 2 (64). P. 69–73 [In Ukrainian].

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.022

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.4-11.08>

### СТРУКТУРА Й ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ДОСТАВКИ З ПОЗИЦІЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

В.В. Берестенко<sup>1</sup>, С.П. Онищенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>аспірант кафедри «Експлуатація флоту та технології морських перевезень»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

<sup>2</sup>д.е.н., професор, директор Навчально-наукового інституту морського бізнесу»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

#### Анотація

**Вступ.** Найближчий час – це період цифровізації транспортної логістики та ланцюгів постачань, що вимагає специфічної структуризації й моделювання тих об'єктів і процесів, які раніше не досліджувалися із цієї точки зору. Це є першим етапом руху в бік цифровізації, сутність якого – стандартизація структур не тільки документів, а й об'єктів і процесів. Для цифровізації мультимодальних доставок необхідна чітка ідентифікація структури й характеристик мультимодальної доставки, тобто формування системної моделі такої доставки. Це, у свою чергу, дасть змогу розглядати доставку не тільки локально в рамках певних цифрових рішень, а й інтегровано множини доставок мультимодального оператора з метою пошуку джерел підвищення ефективності, наприклад, на базі використання ефекту синергізму. **Метою** дослідження є формування системного уявлення мультимодальної доставки з урахуванням різних її аспектів, установлення основних характеристик доставки як інтегральних величин на базі її системного уявлення. **Результати.** Ідентифікована структура мультимодальної доставки відповідно до багатоаспектного погляду на неї. Як утворювальний елемент для подальшого дослідження з урахуванням специфіки цифровізації обрана «операція» транспортно-технологічного процесу, яка може бути виконана різними суб'єктами транспортного ринку. Побудовано основні можливі варіанти фізичного переміщення вантажу та пунктів змін транспортного засобу. Послідовність операцій пропонується уявляти у вигляді сіткової моделі, яка дає змогу з урахуванням основних характеристик кожної операції – часу, вартості й надійності – визначати підсумкові характеристики доставки в цілому. Запропоновано два підходи до визначення надійності доставки залежно від наявної статистичної інформації. **Висновки.** З урахуванням характеристик кожної компоненти альтернативного варіанта доставки формуються його підсумкові показники – вартість, час і надійність, які є базою для прийняття рішення щодо вибору відповідного варіанта. Зміна хоча б одного елемента в цій

системі призводить до зміни характеристик усієї доставки. Це використовується для коригування варіантів у процесі пошуку того варіанта, який би відповідав вимогам, що висуваються.

**Ключові слова:** цифровізація, структура, надійність, мультимодальна доставка, сіткова модель

## STRUCTURE AND CHARACTERISTICS OF THE MULTIMODAL DELIVERY FROM THE STANDPOINT OF DIGITALIZATION

V.V. Berestenko<sup>1</sup>, S.P. Onyshchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate of the department “Fleet operation and shipping technologies”,

Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine

<sup>2</sup>Doctor of Economics, Professor, Director of Educational  
& Scientific Institute of Marine Business,

Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

### Summary

**Introduction.** The near future is a period of transport logistics and supply chains digitalization, which requires specific structuring and modeling of those objects and processes that have not been previously studied from this point of view. This is the first stage of the movement towards digitalization, the essence of which is the standardization of structures not only for documents but also for objects and processes. For digitization of multimodal deliveries clear identification of structure and characteristics, i.e. formation of system model is necessary. This will allow not only to locally consider delivery in the framework of certain digital solutions, but also to consider an integrated set of deliveries for a multimodal operator in order to find sources of efficiency, for example, based on the synergy. The **purpose** of the research is to form a system structure representation of multimodal delivery taking into account its various aspects, to establish the main characteristics of delivery as integral quantities on the base of its system representation. **Results.** The structure of multimodal delivery in accordance with the multifaceted view of it is identified. As a forming element for further research, taking into account the specifics of digitalization, the “operation” of the transport-technological process was chosen. The basic possible variants of physical movement of cargo and points of the vehicle changes are formed. It is proposed to present the sequence of operations in the form of a network model, which allows taking into account the main characteristics of each operation – time, cost and reliability – to determine the final characteristics of delivery as a whole. Two approaches to determining the reliability of delivery depending on the available statistical information are proposed. **Conclusions.** Taking into account the characteristics of each component of the alternative delivery option, its final indicators are formed – cost, time and reliability, which are the basis for the choice of the appropriate option. Changing at least one element in this system changes the characteristics of the entire delivery. This is used to adjust the option that would meet the requirements.

**Key words:** digitization, structure, reliability, multimodal delivery, network model

**Вступ.** Мультимодальні доставки становлять вагому частину в структурі сучасних контейнерних перевезень, при цьому зростає кількість компаній, які беруть на себе роль мультимодального оператора. Конкуренція в цьому секторі ринку настільки висока, що транспортні компанії знаходяться в постійному пошуку джерел конкурентоспроможності в тому числі за рахунок використання альтернативних технологій як у самому процесі доставки [1], так і в бізнес-процесах [2].

У такій ситуації стають актуальними питання підвищення ефективності роботи мультимодальних операторів і розробки відповідних методів підтримки прийняття рішень щодо вибору кращого для заданих умов варіанту мультимодальної доставки.

Крім того, уже не викликає сумнівів той факт, що найближчий час – це період *цифровізації транспортної логістики*, ланцюгів постачань [3]. Спроби розробки «електронних експедиторів» і певні кроки UNECE [4] в напрямі цифровізації в галузі авіалогістики є підтвердженням цього. Але цифровізація не лише стосується документального супроводу, а й вимагає специфічної структуризації й моделювання тих об'єктів і процесів, які раніше не досліджувалися із цієї точки зору. Це є першим етапом руху в бік цифровізації, сутність якого – стандартизація структур не тільки документів, а й об'єктів і процесів.

**Постановка проблеми.** Для цифровізації мультимодальних доставок необхідна передусім чітка ідентифікація структури й характеристик мультимодальної доставки, тобто формування системної моделі такої доставки. Це, у свою чергу, дасть змогу розглядати доставку не тільки локально в рамках певних цифрових рішень, а й інтегровано множини доставок мультимодального оператора з метою пошуку джерел підвищення ефективності, наприклад, на базі використання ефекту синергізму [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Доставка вантажів є об'єктом багатьох досліджень, пов'язаних, як правило, або з оптимізацією фізичного переміщення вантажу [2; 6], або з оптимізацією складу постачальників, тобто тих компаній, які реалізують конкретний варіант фізичного переміщення вантажу [5]. Структурі й характеристикам різного виду доставок присвячено низку сучасних публікацій, і тільки деякі з них слідує шляху інтегрального розгляду всіх аспектів доставки. У [6] доставку вантажів пропонується розглядати на таких рівнях:

- на «географічному» рівні (тобто рівні фізичного проходження вантажу через конкретні географічні точки),
- на рівні видів транспорту в рамках доставки,
- на рівні операцій *транспортно-технологічного процесу*,
- на рівні конкретних підприємств (організацій), що забезпечують виконання конкретних операцій (учасники доставки).

У [7; 8] систему доставки як універсальну категорію розглянуто в термінах теорії множин як сукупність елементів відповідних множин *транспортної системи* й *суб'єктів ринку транспортних послуг*, причому елементи транспортної системи, включені до системи доставки, формують її *техніко-технологічну підсистему*, тоді як суб'єкти ринку транспортних послуг – *інформаційно-забезпечувальну підсистему*. Цей підхід відповідає підходу [6] з урахуванням специфіки перевезень масових вантажів, які розглядаються в цих наукових працях. Дослідження [9; 10]

розглядають конкретні приклади мультимодальної доставки з точки зору фізичного переміщення вантажу й демонструють їх багатоваріантність, яка природним чином відбивається на основних характеристиках. З позиції проблеми цифровізації в [11] представлена структура мультимодальної доставки на рівні фізичного переміщення вантажу, що використовує залізничний транспорт, як результат автори запропонували всі можливі структури експортно/імпортних поставок, які є актуальними для їх країни. Роботи [12; 13] є прикладами наукового розгляду проблеми цифровізації в секторі контейнерних і мультимодальних перевезень. Ці дослідження розглядають ідеологічні, юридичні та організаційні аспекти діджиталізації в цій сфері.

Отже, висновки, які можна зробити, на базі аналізу наявних досліджень:

1) відсутнє уявлення *узагальненої структури мультимодальної доставки* з використанням морського транспорту, яке інтегрально враховує *різні аспекти її розгляду у вигляді*, необхідному для подальшої цифровізації процесів організації доставки;

2) основні характеристики доставки, як правило, розглядаються з позиції *фізичного переміщення вантажу* й не враховують багатьох додаткових операцій, крім того, формування характеристик мультимодальної доставки має бути скоординовано зі структурою доставки у вигляді, необхідному для подальших процесів цифровізації (п. 1 висновків).

Це визначає актуальність звернення до цієї проблеми з теоретичної точки зору.

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є формування системного уявлення мультимодальної доставки з урахуванням різних її аспектів і встановлення основних характеристик доставки як інтегральних величин на базі її системного уявлення як перший етап подальшої цифровізації процесів організації мультимодальної доставки.

**Виклад основного матеріалу. Системне уявлення мультимодальної доставки.** Прийmemo як основний підхід результати [6–8]. Така декомпозиція доставки за різними рівнями дає змогу охопити всі її основні аспекти, відповідаючи на питання «де», «як» і «хто». Розвиток висловленої ідеї для мультимодальної доставки за участю водного транспорту дає змогу отримати таку її структуру (рис. 1). Коротко охарактеризуємо її.

Мультимодальна доставка передбачає комбінацію декількох видів транспорту. З урахуванням наявності водного транспорту виникають як мінімум два наземні перевезення (у дуже рідкісних випадках можливе наземне перевезення між двома перевезеннями водним транспортом). Згідно з роботою [8], без наявності наземних перевезень доставка за участю водного транспорту не може відбутися, тому що термін «доставка» передбачає як результат наявність вантажу в точці призначення, яка, як правило, не є портом. Крім того, доставка вантажу починається від місця походження/відправлення, що також, як правило, не порт. Тому мультимодальна доставка в повному варіанті передбачає наземне перевезення до й від порту. Наземний складник мультимодальної доставки за участю водного транспорту передбачає перевезення автомобільним або залізничним транспортом або їх комбінацію.

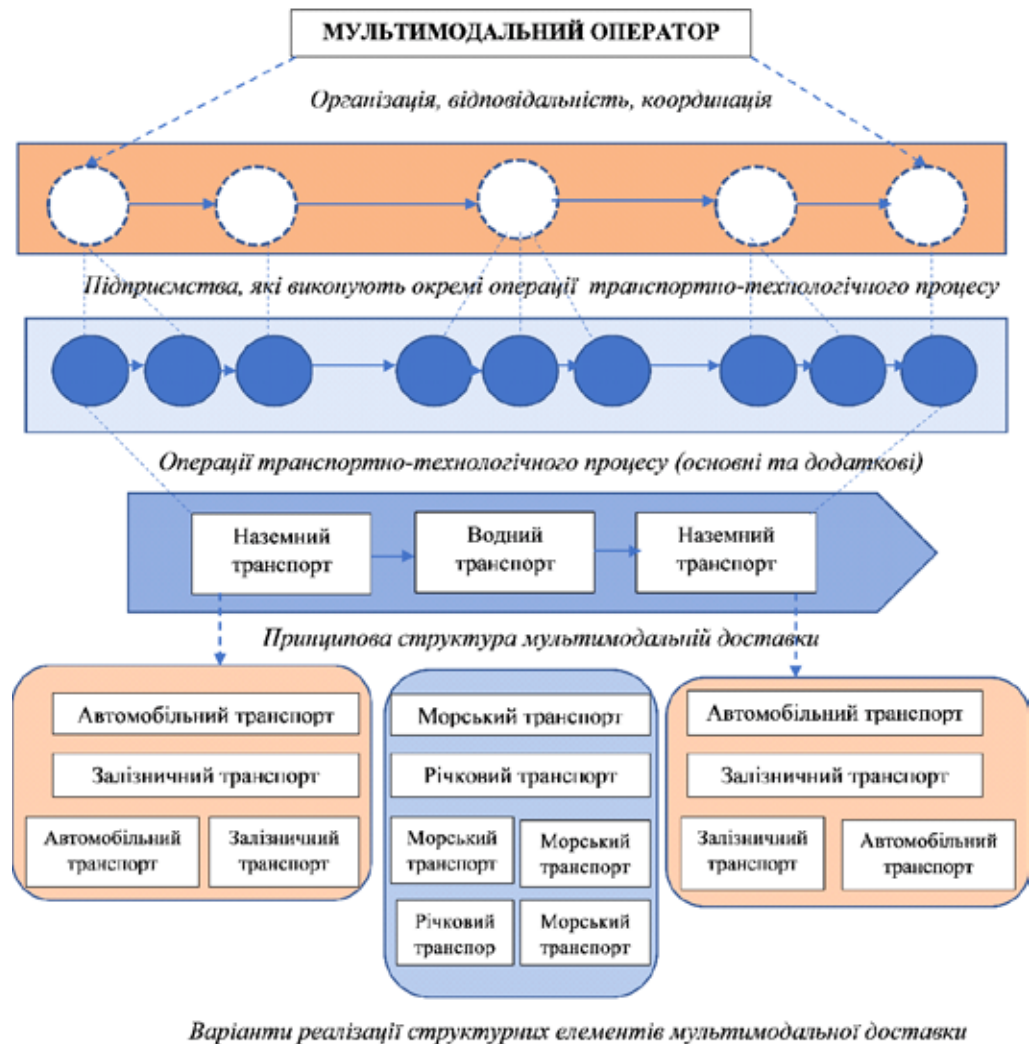


Рис. 1. Структура мультимодальної доставки (вантаж у контейнері) з використанням водного транспорту

Водна частина доставки здійснюється або морським, або річковим транспортом, або комбінацією магістрального й фідерного перевезень («море-море»), або комбінацією морського й річкового транспорту.

Кожне перевезення й перевалка в рамках мультимодальної доставки має певну технологію, яка передбачає виконання *сукупності операцій* у тому числі й організаційного характеру. У результаті формується логічна послідовність операцій, що відповідають конкретній мультимодальній доставці. Ще раз відзначимо, що характер цих операцій різний – це й, власне, технологічні операції з фізичного переміщення вантажу (стафірування контейнеру, перевезення, навантаження, вивантаження тощо), й операції організаційного характеру, наприклад, видання документів, перевірка вантажу різними інстанціями, організація митного

оформлення тощо. Різні операції процесу доставки виконуються підприємствам/ організаціями, що формує велику кількість учасників процесу доставки. У праці [7] указується, що ці учасники вибираються з множини доступних на ринку транспортних послуг.

Таким чином, ідентифікована структура мультимодальної доставки вантажів за участю водного транспорту з точки зору учасників, операцій, видів транспорту. «Географічний» аспект структури мультимодальної доставки з позиції пунктів, у яких здійснюється навантаження/вивантаження/перевалка, може бути представлений такими основними варіантами (рис. 2).

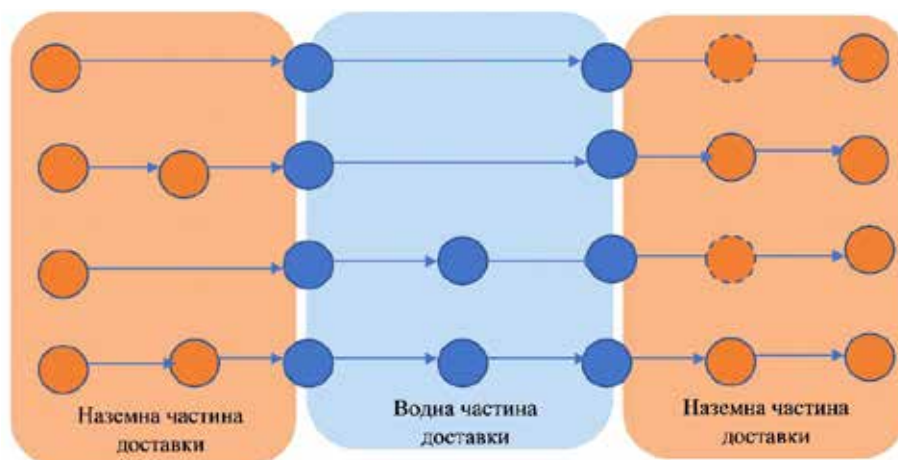


Рис. 2. Географічний аспект структури мультимодальної доставки (структури пунктів зміни транспортного засобу)

Природно, що можливі окремі випадки структур мультимодальної доставки, які не розглянуті вище, але представлене охоплює найбільш загальні, які частіше використовуються на практиці. Відзначимо, що розглянута вище структура мультимодальної доставки є повною, тобто охоплює весь фактичний шлях руху вантажу. Проте на практиці залежно від транспортних умов контракту (базису поставчачь) мають місце усічені варіанти системи (рис. 3), наприклад, якщо експорт на умовах FOB або імпорт на умовах CIF тощо.

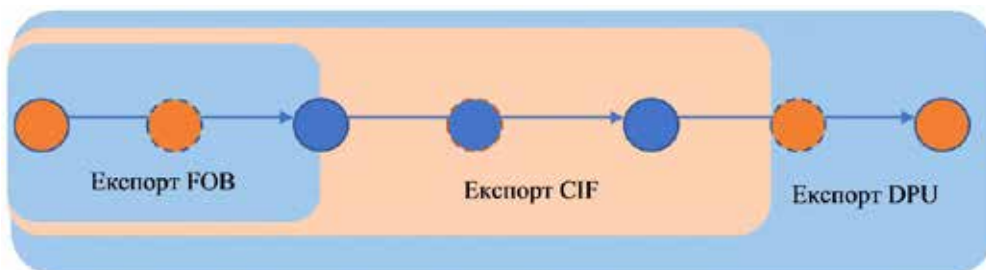


Рис. 3. Межі мультимодальної доставки залежно від транспортних умов зовнішньоторговельного контракту

Таким чином, мультимодальний оператор на базі інформації за умовами зовнішньоторговельного контракту встановлює межі й відповідальність за доставку в їх межах.

**Характеристики мультимодальної доставки на базі сіткової моделі транспортних операцій.** Традиційними характеристиками будь-якої доставки вантажів є *час доставки й вартість доставки*. При цьому, як правило, критерієм вибору варіанта доставки з можливих альтернатив є вартість, а час виступає як обмеження. З урахуванням різних підходів до виділення структури мультимодальної доставки як елементи можуть виступати як учасники обслуговування, так й окремі операції [8]. У дослідженні на цьому етапі як елемент доставки приймається окрема операція, що ґрунтується на вимогах цифровізації процесів. Варто зазначити, що послідовність операцій (основних і додаткових), пов'язаних із транспортуванням, формує відповідний *сітковий графік* (сіткову модель), який відображає технологічний взаємозв'язок операцій із множини  $\Omega$ , ураховуючи їх послідовний або паралельний характер.

До основних операцій прийнято відносити операції, пов'язані безпосередньо з фізичним переміщенням вантажу [5; 7], до додаткових – операції, які не передбачають безпосереднє переміщення вантажу, але є необхідними для його здійснення. До останніх відносяться, зокрема, транспортно-експедиторські операції й усе, що пов'язано з організаційними аспектами доставки [8]. Таким чином, для кожної мультимодальної доставки може бути побудована сіткова модель для оцінки та управління часом доставки. Згідно із суттю побудови сіткових моделей, виділяються певні події в процесі доставки, які пов'язані з виконанням сукупності операцій.

Нехай виділено  $l$  таких операцій, їх послідовність задана у вигляді графа. Кожна операція сіткової моделі характеризується:  $R_l$  – вартістю виконання операції,  $T_l$  – часом виконання операції,  $l \in \Omega$ .

У сучасних умовах значна увага приділяється такому фактору, як *надійність* доставки [5]. Трактуювання цього терміна, як правило, пов'язане з імовірністю того, що заявлені характеристики доставки – час і вартість – будуть виконані. Так як вартість після укладення договору вже не підлягає зміні, то фактично для мультимодальної доставки тільки час є основним фактором надійності. Тому введемо ще одну характеристику операції:  $I_l$  – надійність виконання операції,  $l \in \Omega$ . Надійність виконання операції оцінюється в контексті часу, а саме ймовірність того, що фактичний час виконання операції  $T_l^{\text{факт}}$  не перевищить нормативний (плановий) час:

$$I_l = P(T_l^{\text{факт}} \leq T_l). \quad (1)$$

Також варіантом формалізації надійності виконання операції може бути:

$$I_l = P(|T_l^{\text{факт}} - T_l| \leq \alpha_l^T), \quad (2)$$

де  $\alpha_l^T > 0$  – допустиме відхилення фактичного часу від заявленого для конкретної операції.

На основі показників елементів (операцій) формуються підсумкові показники мультимодальної доставки (рис. 4).

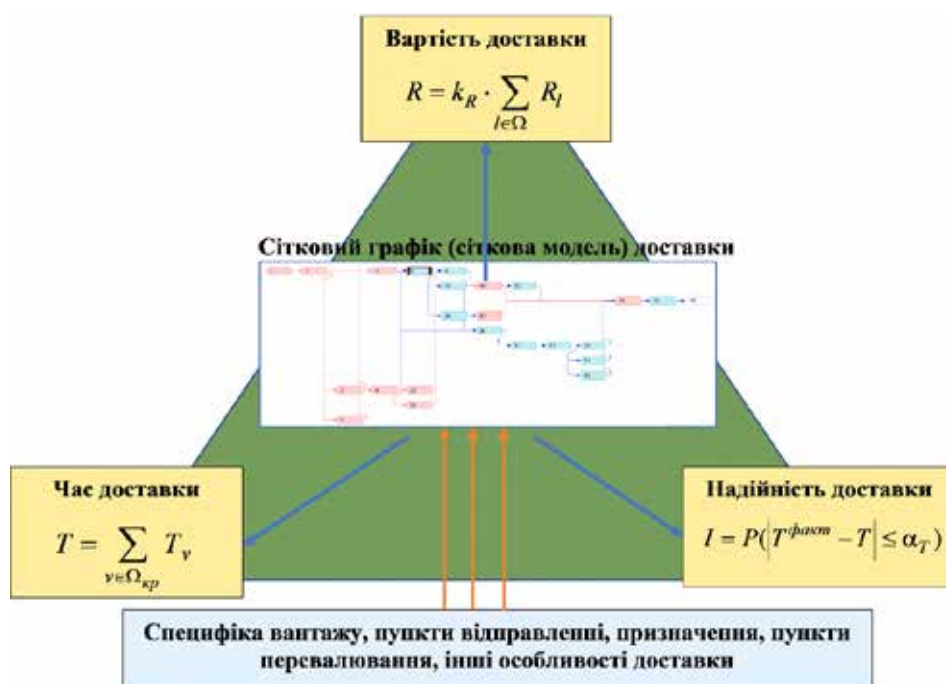


Рис. 4. Формування підсумкових показників доставки вантажів на базі сіткової моделі

Вартість доставки вантажу в контейнері  $R$ , яка формується оператором у вигляді єдиної ставки, базується на сукупності вартостей усіх операцій, пов'язаних із доставкою вантажу:

$$R = k_R \cdot \sum_{l \in \Omega} R_l, \quad (3)$$

де  $R_l$  – це витрати по  $l$ -ої операції в рамках множини  $\Omega$ , яка включає в себе весь перелік операцій, пов'язаних із конкретною доставкою;  $k_R$  – це коефіцієнт, що відображає «трудовитрати» оператора й норму його прибутку.

Час доставки  $T$  формується на базі *технологічної послідовності операцій доставки* в рамках сіткової моделі. Таким чином, час доставки формується як тривалість операцій критичного шляху зазначеного сіткового графіку:

$$T = \sum_{v \in \Omega_{кр}} T_v, \quad (4)$$

де  $\Omega_{кр} \subset \Omega$  – множина критичних операцій у рамках сіткового графіка доставки вантажу,  $T_v$  – тривалість цих операцій.

Визначимо надійність доставки в такий спосіб:

$$I = P(C) = P(T^{факт} \leq T), \quad (5)$$

де  $C$  – це подія, яка полягає в тому, що час доставки фактичний  $T^{факт}$  не перевищує заявленого часу  $T$ . Також варіантом формалізації надійності доставки може бути:

$$I = P(C) = P(|T^{\text{факт}} - T| \leq \alpha_T), \quad (6)$$

де  $\alpha_T > 0$  – допустиме відхилення фактичного часу від заявленого. Фактичний час доставки  $T^{\text{факт}}$  визначається на базі аналізу поведінки окремих часових компонент кожної ланки доставки. Зупинимося на цьому більш детально. Оцінка надійності мультимодальної доставки базується на інформації про «поведінку» часу виконання кожної операції  $T_i$  у рамках відповідної множини  $\Omega$ . При цьому, якщо для оцінки часу доставки (6) використовуються тільки ті операції, які формують критичний шлях сіткового графіка, тобто належать множині  $\Omega_{\text{кр}} \subset \Omega$ , то для оцінки можливих значень  $T^{\text{факт}}$  необхідні відомості про тривалість усіх операцій. Це пов'язано з тим, що при збільшенні часу виконання операцій критичного шляху  $T_v$  фактичний час  $T^{\text{факт}}$  збільшується на сумарне перевищення часу виконання цих операцій; але при перевищенні резервів часу (характеристики добової моделі) некритичних операцій також відбувається збільшення фактичного часу  $T^{\text{факт}}$ . З урахуванням непослідовного характеру множини операцій аналіз можливих значень повинен здійснюватися на базі сіткової моделі з використання сучасних програмних продуктів (наприклад, MS Project).

Як правило, для контейнерних перевезень основні операції критичного шляху сіткового графіка – це операції, які пов'язані з фізичним переміщенням вантажу, тому що більшість інших операцій або відбуваються паралельно з процесом переміщення, або передують етапам переміщення. Виняток можуть становити іноді митні огляди та, як результат, затримання контейнера з вантажем у силу різних причин. Але в нормальній ситуації (тобто вантаж легальний, походження його встановлено тощо) ці операції не призводять до затримок або зриву всього процесу доставки.

Кожна операція транспортно-технологічного процесу, у тому числі й операції критичного шляху в рамках сіткової моделі, характеризуються ймовірнісною природою їх тривалості. Як правило (і на це вказують багато досліджень), час виконання операцій підпорядковується нормальному закону розподілу, що за наявності статистичних даних дає змогу встановити параметри закону й визначити ймовірності діапазонів різних значень.

З урахуванням вищесказаного:

$$T^{\text{факт}} = \sum_{v \in \Omega_{\text{кр}}} T_v^{\text{факт}}, \quad (7)$$

де  $T_v^{\text{факт}}$  – фактичний час виконання операцій критичного шляху мережного графіка транспортно-технологічного процесу. З урахуванням (4):

$$T_v^{\text{факт}} \leq T_v. \quad (8)$$

Тривалість кожної операції критичного шляху процесу доставки вантажу в контейнері є незалежною випадковою величиною. Так як мова йде про добуток подій (незалежних подій), кожна з яких пов'язана з тим, що  $T_v^{\text{факт}} \leq T_v$ , то як оцінка надійності може бути прийнята величина:

$$I_v = P(T_v^{\text{факт}} \leq T_v), v \in \Omega_{\text{кр}}. \quad (9)$$

Природно, що (8) і (9) не є математично рівноцінними, але, по суті транспортно-технологічного процесу доставки вантажу в контейнерах, величина  $T$  визначається як сума тривалостей операцій критичного шляху (4), тому й надійність за часом пов'язана з надійністю кожної компоненти критичного шляху процесу доставки  $I_v = P(T_v^{\text{факт}} \leq T_v), v \in \Omega_{кр}$ , а (9) відповідає інтегральній сутності часу доставки. Тому в подальшому саме (9) буде використана як оцінка надійності доставки.

Відзначимо, що (8) може застосовуватися в тих випадках, коли мова йде про варіанти доставки, які часто використовуються, і можна оцінити на базі статистики ймовірність для всієї системи інтегровано. Таким чином, залежно від наявних статистичних даних можуть бути застосовні або підхід (8), або (9).

**Висновки.** Отже, ідентифікована структура мультимодальної відповідно до багатоаспектного погляду на неї. Як утворювальний елемент для подальшого дослідження обрана «операція» транспортно-технологічного процесу, яка може бути виконана різними суб'єктами транспортного ринку. Послідовність операцій пропонується уявляти у вигляді сіткової моделі, яка дає змогу з урахуванням основних характеристик кожної операції – часу, вартості й надійності – визначати підсумкові характеристики доставки в цілому. Запропоновано два підходи до визначення надійності доставки залежно від наявної статистичної інформації.

Відзначимо, що на практиці з урахуванням характеристик кожної компоненти альтернативного варіанта доставки формуються його підсумкові показники – вартість, час і надійність, які є базою для прийняття рішення щодо вибору відповідного варіанта. Зміна хоча б одного елемента в цій системі призводить до зміни характеристик усієї доставки. Це використовується для коригування варіантів у процесі пошуку того варіанта, який би відповідав вимогам, що висувуються.

Підхід, що пропонується, відповідає вимогам подальшого дослідження питань цифровізації мультимодальних доставок з орієнтацією не на географічні пункти й конкретні компанії, а передусім на операції – основні та допоміжні, які є базою для подальшого розгляду варіантів їх реалізації.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. 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. № 1 (2(51)). URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198373>.
2. Pavlova N., Onyshchenko S. Organization of transport company's project-oriented management (on the example of the freight forwarding company). *Management of Development of Complex Systems*. 2020. № 42. P. 23–28. URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.23-28>.
3. Towards Digital Twins of Multimodal Supply Chains / A. Busse, B. Gerlach, J.C. Lengeling, P. Poschmann, J. Werner, S. Zarnitz. *Logistics. Exploring the Potentials of Automation in Logistics and Supply Chain Management: Paving the Way for Autonomous Supply Chains*. 2021. № 5 (2). P. 25. URL: <https://doi.org/10.3390/logistics5020025>.
4. Driving progress towards the digitalization of multimodal transport. URL: <https://unitingaviation.com/news/capacity-efficiency/driving-progress-towards-the-digitalization-of-multimodal-transport/>.

5. Pavlova N., Onyshchenko S. Development and Research of a Model for Optimizing the Composition of a Project-Oriented Forwarding Company's Suppliers. *Technology audit and production reserves*. 2021. № 1 (2). P. 57. URL: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225521>.
6. Онищенко С.П., Смирковская В.Ю. (2010). Моделирование процесса формирования интегрированных систем доставки грузов. *Вестник ОНМУ*. 2010. № 30. P. 142–149.
7. Коскіна Ю.О. Формалізація процесу організації системи доставки вантажів. *Наукові технології*. 2020. № 45 (1). P. 111–117. URL: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.45.14582>.
8. Коскіна Ю.О. Теоретико-множинний підхід до моделювання структури систем доставки вантажів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 5. P. 62–74. URL: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-146-5-62-74>.
9. Chen Dandan, Yong Zhang, Liangpeng Gao and Russell G. Thompson (2019) Optimizing Multimodal Transportation Routes Considering Container Use *Sustainability*. 2019. № 11. P. 19:5320. URL: <https://doi.org/10.3390/su11195320>.
10. Організація мультимодальних перевезень вантажів за участю авіаційного транспорту / І.В. Борець, О.Є. Соколова, О.О. Соловійова, І.І. Висоцька. *Вісник НТУ*. 2020. № 1 (46). P. 35–44. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2020-1-46-035-044>.
11. Galina V. Bubnova, Olga V. Efimova, Irina V. Karapetyants, Petr V. Kurenkov. Digitalization of intellectualization of logistics of intermodal and multimodal transport. *MATEC Web Conf*. 2018. № 236. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823602013>.
12. Kolar, Petr & Schramm, Hans-Joachim & Prockl, Günter. Digitalization of Supply Chains. *Focus on International Rail Transport in the Case of the Czech Republic*. 2020. P. 4540–4546. URL: <https://doi.org/10.24251/HICSS.2020.555>.
13. Marmolejo-Saucedo J.A. Design and Development of Digital Twins: a Case Study in Supply Chains. *Mobile Netw Appl*. № 25. P. 2141–2160. URL: <https://doi.org/10.1007/s11036-020-01557-9>.

#### REFERENCES

1. Rusanova S., Onyshchenko S. (2020) Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. *Technology audit and production reserves*. 1(2 (51)). <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198373>.
2. Pavlova, N., Onyshchenko, S. (2020). Organization of transport company's project-oriented management (on the example of the freight forwarding company). *Management of Development of Complex Systems*, 42, 23–28. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.23-28>.
3. Busse A, Gerlach B, Lengeling JC, Poschmann P, Werner J, Zarnitz S. (2021) Towards Digital Twins of Multimodal Supply Chains. *Logistics*.

- Exploring the Potentials of Automation in Logistics and Supply Chain Management: Paving the Way for Autonomous Supply Chains*; 5(2):25. <https://doi.org/10.3390/logistics5020025>.
4. Driving progress towards the digitalization of multimodal transport <https://unitingaviation.com/news/capacity-efficiency/driving-progress-towards-the-digitalization-of-multimodal-transport/>.
  5. Pavlova N., Onyshchenko, S. (2021). Development and Research of a Model for Optimizing the Composition of a Project-Oriented Forwarding Company's Suppliers. *Technology audit and production reserves*, 1(2), 57. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225521>.
  6. Onyshchenko S.P., Smrkovska V.Yu. (2010). Modeling the process of forming integrated systems for the delivery of goods. [Modelirovaniye protsessa formirovaniya integrirovannykh sistem dostavki gruzov. Vestnik ONMU], *ONMU Bulletin*, 30, 142–149 [in Russian].
  7. Koskina Yu. O. (2020). Formalization of the process of organizing the delivery system. [Formalizatsiya protsesu orhanizatsiyi systemy dostavky vantazhiv]. *Science-intensive technologies*, 45(1), 111–117. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.45.14582> [in Ukrainian].
  8. Koskina Yu.O. (2019). Theoretical-multiple approach to modeling the structure of cargo delivery systems. [Teoretyko-mnozhynnyy pidkhid do modelyuvannya struktury systemy dostavky vantazhiv]. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*. 5: 62–74. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-146-5-62-74> [in Ukrainian].
  9. Chen Dandan, Yong Zhang, Liangpeng Gao, and Russell G. Thompson (2019) Optimizing Multimodal Transportation Routes Considering Container Use *Sustainability* 11, 19: 5320. <https://doi.org/10.3390/su11195320>.
  10. Borets I.V, Sokolova O.E, Solovyova O.O, Vysotskaya I.I (2020) Organization of multimodal cargo transportation with the participation of air transport. [Orhanizatsiya mul'tymodal'nykh perevezen' vantazhiv za uchastyu aviatsiynoho transport]. *Bulletin of NTU*, 1(46) 35–44. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2020-1-46-035-044> [in Ukrainian].
  11. Galina V. Bubnova, Olga V. Efimova, Irina V. Karapetyants, Petr V. Kurenkov. Digitalization of intellectualization of logistics of intermodal and multimodal transport. MATEC Web Conf., 236 (2018), 02018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823602013>.
  12. Kolar, Petr & Schramm, Hans-Joachim & Prockl, Günter. (2020). Digitalization of Supply Chains: Focus on International Rail Transport in the Case of the Czech Republic, 4540-4546. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2020.555>.
  13. Marmolejo-Saucedo, J.A. Design and Development of Digital Twins: a Case Study in Supply Chains. *Mobile Netw Appl* 25, 2141–2160. <https://doi.org/10.1007/s11036-020-01557-9>.

**ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕВЕЗЕННЯ  
НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ**

**Т.І. Берневек<sup>1</sup>, Н.Л. Павлова<sup>2</sup>, І.І. Тихоніна<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., старший викладач кафедри  
експлуатації флоту і технології морських перевезень,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-2519-9912

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-7528-2370

<sup>3</sup>старший викладач кафедри експлуатації флоту і  
технології морських перевезень,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-1945-9845

**Анотація**

**Вступ.** Значний обсяг перевезень наливних вантажів морським транспортом і фізико-хімічні властивості цих речовин зумовлюють специфіку процесу транспортування та вибір відповідної технології, яка забезпечує якісну доставку при гарантуванні максимального рівня безпеки. Необхідність вирішення цієї проблеми актуалізує запровадження інноваційних технологічних рішень у цій сфері. Одним із них є флекситанки, які уможливають перевезення безпечних рідких вантажів різного походження і призначення у великотоннажних контейнерах і здатні забезпечити ефективну організацію процесу перевезень, у тому числі й мультимодальних. **Метою** статті є дослідження особливостей використання флекситанків як сучасної технології перевезення наливних вантажів морським транспортом і формування специфічних організаційно-технологічних заходів щодо їх застосування. **Результати.** У дослідженні визначено роль наливних вантажів у загальному обсязі міжнародної морської торгівлі та їх специфіку. На основі дослідження наявних способів і технологічних схем перевезення наливних вантажів морським транспортом (танк-контейнерів, цистерн, танкерних суден), їх переваг і недоліків доведено доцільність використання флекситанків. Визначено їх конструктивні особливості, техніко-експлуатаційні характеристики й вимоги, яких необхідно дотримуватися задля забезпечення належного рівня безпеки при використанні. Установлено сучасні тенденції, які характерні для сучасного світового ринку флекситанків, приділено увагу особливостям унормування і стандартизації процесів оцінки їх якості й надійності. За результатами дослідження техніко-економічних показників різних видів тари, призначеної для перевезень наливних вантажів морським транспортом, порівняно їх основні експлуатаційні характеристики. Виокремлено переваги та недоліки флекситанків. Охарактеризовано технологію процесу перевезення вантажу

і сформовано загальну технологічну схему перевезень наливних вантажів із використанням флекситанків при експортно-імпорتنних операціях. Запропоновано комплекс організаційно-технологічних заходів, спрямований на подальший розвиток і просування цієї технології перевезення наливних вантажів морським транспортом. **Висновки.** Використання флекситанків як сучасної технології перевезення наливних вантажів морським транспортом спрямовано на підвищення ефективності цього процесу, забезпечення належного рівня екологічності й максимального рівня безпеки.

**Ключові слова:** наливні вантажі, технологія перевезення, морський транспорт, флекситанк, транспортування.

#### USE OF MODERN TECHNOLOGIES OF BULK CARGO TRANSPORTATION BY SEA TRANSPORT

T.I. Bernevek<sup>1</sup>, N.L. Pavlova<sup>2</sup>, I.I. Tykhonina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. in Technology, Senior lecturer at the Department of Fleet Operation and Shipping Technology, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-2519-9912

<sup>2</sup>Ph.D. in Technology, Associate Professor at the Department of Port Operation and Cargo Handling Technology, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-7528-2370

<sup>3</sup>Head teacher at the Department of Fleet Operation and Shipping Technology, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-1945-9845

#### **Summary**

**Introduction.** The significant volume of bulk cargo transportation by sea as well as physical and chemical properties of these substances determine the specifics of the transportation process and the choice of appropriate technology that ensures the quality delivery and the maximum level of safety. The need to solve this problem actualizes the introduction of innovative technological solutions in this area. The use of flexitanks is one of the solutions, which allows to transport safe liquid cargo of various origins and purposes in large containers. Flexitanks are also able to ensure effective organization of the transportation process, including multimodal one. **The aim of the article** is to study peculiarities of the use of flexitanks as a modern technology of transportation of bulk cargo by sea and to form specific organizational and technological measures for their use. **Results.** The role of bulk cargo in the total volume of international maritime trade is identified in the study. Its specifics is studied. Based on the study of existing methods and technological schemes of transportation of bulk cargo by sea (tank-containers, tanks, tanker vessels), their advantages and disadvantages, the reasonability of the flexitanks use has been proved. Their design features, technical and operational characteristics and requirements that must be met to ensure the appropriate level of safety when using are defined. Modern trends, which are typical for the modern world market of flexitanks are noted. The attention to the features of standardization of processes and estimation of their quality and reliability is paid. According to the results of the study of technical and

*economic indicators of different types of containers intended for transportation of bulk cargo by sea, their main operational characteristics are compared. The advantages and disadvantages of flexitanks are singled out. The technology of cargo transportation process is characterized. The general technological scheme of bulk cargo transportation using flexitanks at export-import operations has been formed. A set of organizational and technological measures aimed at further development and promotion of this technology of transportation of bulk cargo by sea is proposed. **Conclusions.** The use of flexitanks as a modern technology for transportation of bulk cargo by sea is aimed at improving the efficiency of this process, ensuring the appropriate level of ecological compatibility and maximum safety.*

**Key words:** bulk cargo, transportation technology, sea transport, flexitank, transportation.

**Вступ.** На сучасному етапі морським транспортом перевозиться більше ніж 80% світових вантажних потоків, що підкреслює його значущість у системі глобальних транспортних перевезень і соціально-економічному розвитку країн.

За оцінками Конференції ООН з торгівлі та розвитку (UNCTAD), у 2019 році обсяги міжнародних морських перевезень зросли на 0,5% і сягнули 11,07 млрд. т. При цьому наливні вантажі становили майже третину всіх вантажних потоків (28,6%) [1].

Варто вказати, що у зв'язку зі зростанням світового попиту на різноманітні рідкі речовини (харчові продукти, добрива, технічні масла тощо) набуває актуальності питання найбільш повного та своєчасного задоволення потреб щодо перевезення наливних вантажів із забезпеченням належного сервісу й гарантуванням максимального рівня безпеки.

Науковці [2; 3] справедливо відзначають, що підвищення ефективності перевезень вантажів пов'язано не лише з технічним удосконаленням рухомого складу й вантажно-розвантажувальних засобів, а й з упровадженням прогресивних технологій, оптимізацією процесу доставки.

Зазначимо, що значний обсяг перевезень наливних вантажів морським транспортом і фізико-хімічні властивості цих речовин обумовлюють специфіку процесу транспортування та вибір сучасної технології, здатної забезпечити якісну доставку вантажів при безумовному виконанні вимог безпечного мореплавання.

**Постановка проблеми.** Дослідження наявних способів перевезення наливних вантажів морським транспортом (із використанням танк-контейнерів, цистерн, танкерних суден тощо), їх переваг і недоліків (необхідність повернення зворотної тари та її очищення; висока вартість морського фрахту, наявність штрафних санкцій за перевищення термінів використання устаткування; необхідність виконання додаткових вантажних операцій при мультимодальних перевезеннях тощо) дало змогу дійти висновку щодо доцільності використання альтернативи – флекси-танків, які уможливають перевезення безпечних рідких вантажів різного походження і призначення (як харчових, так і хімічних) у звичайних великотоннажних контейнерах і здатні забезпечити ефективну організацію процесу перевезень, у тому числі й мультимодальних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню теоретичних і практичних аспектів функціонування морського транспорту, питанням експлуатації морського флоту й технології перевезень присвячено праці зарубіжних і вітчизняних науковців.

Авторами [4–6] приділено увагу основним аспектам управління діяльністю флоту в транспортно-технологічних системах, закладено теоретичний базис (поняття й технологічні схеми) перевезення вантажів, сформовано пропозиції щодо оптимізації роботи морського торговельного флоту.

Науковцями розглянуто теоретичні аспекти формування систем змішаної доставки масових вантажів за участю морського транспорту через урахування в розробленому комплексі моделей технологічних процесів [7], досліджено специфіку й особливості формування системи доставки вантажів, формалізовано процес її організації [8–9]; визначено технологічні аспекти перевезення наливних вантажів [10; 11].

Авторами низки досліджень [12–13] акцентовано увагу на доцільності розвитку контейнерних перевезень різними видами транспорту, у тому числі морським, і стратегічному характері процесу (особливо «у трансконтинентальному середовищі»); запропоновано оптимізаційну модель вибору технічних засобів контейнерних перевезень.

Однак специфіка транспортування наливних вантажів, розвиток сучасних технологій перевезення в морському суднопластві потребують додаткової уваги доопрацювання цієї проблеми.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є дослідження особливостей використання флекситанків як сучасної технології перевезення наливних вантажів морським транспортом і формування специфічних організаційно-технологічних заходів щодо їх застосування.

**Вклад основного матеріалу.** Наливні вантажі залежно від фізико-хімічних властивостей, технічних умов транспортування і зберігання прийнято розподіляти на такі види, як сира нафта й нафтопродукти; хімічні наливні вантажі; зріджені гази, які перевозяться наливом; харчові наливні вантажі. У міжнародній класифікації останні не виділяються й включені до категорії хімічних.

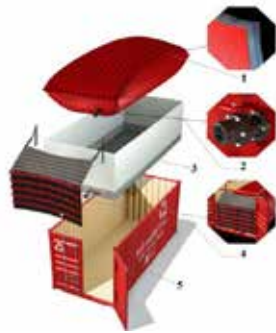
Констатуємо, що з використанням флекситехнологій видається можливим транспортування таких наливних вантажів:

харчові продукти – рослинні і тваринні жири, концентрати соків, сиропи, вина, патока, харчові добавки, фармацевтичні масла тощо;

хімічні вантажі – технічні масла, присадки та добавки, миючі засоби, гліцерин, деякі види фарб, чорнила, добрива тощо.

Конструктивно флекситанк являє собою вкладний еластичний полімерний резервуар (одно чи багаторазовий) для стандартного двадцяти- та сорокафутового ISO-контейнера (20 DV, 40 DV, 40 HC), який має ємність від 14 тис. до 24 тис. літрів (рис. 1).

Зазначимо, що оболонка ємності складається з декількох шарів: зовнішнього (ламінована поліпропіленова тканина) і внутрішнього, який складається з чотирьох шарів поліетиленової плівки.



- 1 – гнучка ємність (одно- чи багат шарова);
- 2 – зливо-наливний пристрій;
- 3 – захисний кожух, який захищає від дефектів контейнеру та перешкоджає випаровуванню запахів;
- 4 – захисні опори для утримання флекситанку всередині контейнеру при відкритій половині дверей;
- 5 – великотоннажний контейнер

Рис. 1. Конструктивні особливості флекситанку

Джерело: [14]

Виходячи з конструктивних особливостей, виокремлюють такі види флекситанків:

- одношарові – виготовляються з поліетилену товщиною 1 мм;
- багат шарові – складаються з декількох полімерних шарів товщиною близько 125 мікрон (як мінімум один із них – внутрішній – повинен бути поліетиленовим). Однак, за результатами сучасних практик використання, варто наголосити на обережному поводженні з ними, оскільки під час завантаження ці шари можуть зачепитися між собою, спричинивши пошкодження.

Конструкцією передбачено також зливо-наливний пристрій, захисні опори та кожух. Відповідно до технології використання, флекситанк установлюється в стандартний двадцятифутовий контейнер, до якого приєднується шланг і запускається електронасос для заповнення ємності рідиною до необхідного рівня. За необхідності додаткового захисту вантажу від температурних коливань може бути створений особливий захисний шар. Розвантаження здійснюється за допомогою насоса (рідина може бути розігріта з використанням пару й електрики). Після закінчення цієї операції одноразовий флекситанк утилізується.

Зауважимо, що всі пристрої мають світову страховку, яка розповсюджується на їх одноразове застосування, але не поширюється за умов повторного використання.

Варто вказати, що експлуатація флекситанків не передбачає застосування додаткових пристроїв і не потребує спеціальних навичок. Але існують певні вимоги, яких необхідно дотримуватися задля забезпечення належного рівня безпеки при їх використанні. Серед основних із них:

використання двадцятифутових контейнерів, термін експлуатації яких не перевищує три роки;

загальний технічний стан контейнеру (відсутність деформацій, тріщин, надійність вух для підйому тощо);

недопущення порушення вимог щодо максимального рівня завантаження. Вантаж, який транспортується таким чином, не має перевищувати допустиму масу брутто відповідного контейнера (на основі практичного досвіду залежно від щільності рідини рекомендується завантаження не більше ніж 24 тис. л у контейнер, маса брутто якого розрахована на 30 т);

дотримання рівня номінальної ємності флекситанку (за даними вимірювача використання рідини), що дасть змогу уникнути гідравлічних коливань вантажу та спричинених цим явищем пошкоджень контейнера.

Варто констатувати, що сучасний світовий ринок флекситанків стрімко розвивається, демонструючи за 2019 рік зростання кількості перевезень із їх використанням на 12%, до 280 тис., а за останні 10 років – більше ніж у 10 разів. При цьому на ринку працюють як виробники (найбільші знаходяться в США, Великобританії, Туреччині), так й оператори обладнання (Trans Ocean Distribution Limited, Stolt Nielsen Transportation Group і Hoyer Global) [1].

З метою унормування і стандартизації процесів на сучасному світовому ринку флекситанків діють єдині стандарти оцінки їх якості й надійності – «Звід правил для виробництва, експлуатації та тестування флекситанків», розроблений і запроваджений Міжнародною асоціацією контейнерних власників (COA). Документом визначено особливості підбору відповідного контейнера; критерії тестування флекситанку з контейнером і матеріалів, які використовуються при його виробництві; маркування контейнера з флекситанком; дії в разі виникнення надзвичайної ситуації та страхування; навчання персоналу.

Дослідження техніко-економічних показників різних видів тари для перевезень наливних вантажів морським транспортом дало змогу порівняти їх основні експлуатаційні характеристики (таблиця 1).

Таблиця 1

**Порівняння техніко-економічних показників різних видів тари  
для перевезень наливних вантажів морським транспортом**

Характеристики	Флекситанк	Бочки	ІВС-контейнери
Об'єм одиниці, л	23000	27	600-1000
Час завантаження, год.	1	2	2
Час підготовки, год.	0,5	3	3
Кількість операторів, осіб	2	3	3
Власна маса, кг	140		54-66

*Джерело: сформовано авторами на основі [14; 15]*

Спираючись на ці результати й аналізуючи світові практики щодо запровадження цієї технології в морському судноплаванні при перевезенні наливних вантажів, виокремили її певні переваги та недоліки (таблиця 2).

Зазначимо, що технологія перевезення наливних вантажів за допомогою флекситанків являє собою сукупність послідовних взаємопов'язаних операцій, які виконуються поетапно (більш або менш однозначно) та здатні гарантувати ефективну, безпечну доставку в пункт призначення.

Тобто, як і будь-яку іншу технологію процесу перевезення вантажу, її характеризують три ознаки: розділення процесу перевезення, координація та етапність, однозначність дій [9, с. 113].

Технологічна схема перевезень наливних вантажів з використанням флекситанків при експортно-імпортних операціях наведена на рис. 2.

Таблиця 2

**Переваги та недоліки використання флекситанків при перевезенні наливних вантажів**

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>– запобігання ризикам забруднення залишками іншого вантажу в одноразових установках;</li> <li>– ефективне використання корисного об'єму контейнера порівняно з іншими видами тари, що дає змогу відправити на 40% більше наливного вантажу в кожному контейнері, ніж при аналогічному транспортуванні в бочках або каністрах, на 50% – порівняно з транспортуванням у пляшках ц на 15% – в ІВС-контейнерах;</li> <li>– мінімізація витрат праці та часу на технологічні й логістичні операції (установку (20–30 хвилин), завантаження, розвантаження (30–40 хвилин) тощо), при цьому спеціальні навички персоналу для виконання таких дій не потрібні;</li> <li>– невелика маса флекситанку (з кріпленнями близько 140 кг або 0,7% від ваги перевезеного вантажу), що дає змогу знизити вартість фрахту на 1 тону вантажу;</li> <li>– економічність розміщення порожніх флекситанків (у деяких випадках розміщення 100 порожніх пристроїв за вартістю дорівнюється одному танк-контейнеру), можливість тривалого зберігання порожніх пристроїв на відкритих площадках і складах;</li> <li>– значна економія на вартості тари з розрахунку на повний контейнер (до 50% порівняно з ІВС-контейнерами та бочками);</li> <li>– відсутність витрат, пов'язаних із поверненням тари й очищенням;</li> <li>– зменшення втрат при вивантаженні в 10 разів (за умов використання флекситанків – 0,1%, бочок або цистерн – 1%);</li> <li>– уникнення проміжних перевантажень, можливість доставки вантажу «від дверей до дверей» при мультимодальних перевезеннях</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• неможливість використання для перевезення небезпечних вантажів (вибухонебезпечних газів, нафтопродуктів, деяких кислот);</li> <li>• необхідність більшої кількості попередніх підготовок для експлуатації порівняно з танк-контейнерами;</li> <li>• необхідність урахування досить високої вартості робіт з очищення у випадку можливих проливів вантажу з флекситанку на борту судна й ризику псування інших вантажів;</li> <li>• наявність екологічних проблем, які пов'язані з обов'язковою утилізацією використаних одноразових флекситанків</li> </ul>

Джерело: сформовано авторами на основі [14; 15]

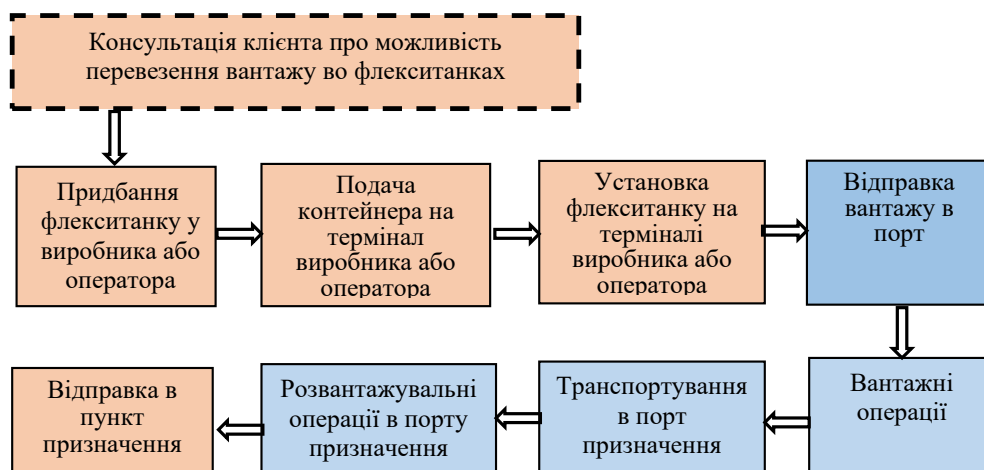


Рис. 2. Загальна технологічна схема перевезень наливних вантажів з використанням флекситанків

Джерело: сформовано авторами

На особливу увагу через низку конструктивних особливостей заслуговує ефективність їх використання при мультимодальних перевезеннях (завдяки уникненню додаткових операцій з переливу рідини при зміні типу транспорту), що дає змогу оптимізувати витрати й підвищує рівень безпеки.

Дослідження світових практик застосування флекситанків дає змогу констатувати, що для подальшого розвитку та просування цієї технології перевезення наливних вантажів морським транспортом сприятиме реалізації комплексу організаційно-технологічних заходів, а саме: збільшенню обсягів і підвищенню якості виробництва флекситанків; підвищенню рівня довіри з боку вантажовласників і перевізників до надійності цієї тари; зменшенню ризиків протікання, пошкодження та деформації контейнерів; унормуванню законодавчої бази у сфері виробництва та збуту флекситанків; запровадженню методики оцінки економічної ефективності використання технології для застосування інвесторами, відправниками, отримувачами вантажів тощо.

**Висновки.** Специфічність властивостей наливних вантажів і значні обсяги їх перевезень морським транспортом актуалізують питання ефективності й безпечності перевезень і проблему використання сучасних інноваційних технологій. Однією з них є флекситехнологія. Завдяки техніко-економічним перевагам флекситанки становлять альтернативу традиційним цистернам і танк-контейнерам і здатні підвищити ефективність перевезення, забезпечити належний рівень екологічності й максимальний рівень безпеки. Однак розвиток і просування цієї технології перевезення наливних вантажів морським транспортом потребує запровадження комплексу організаційно-технологічних заходів і механізмів їх реалізації, що становитиме перспективи подальших досліджень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Review of maritime transport 2020. UNCTAD. URL: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf) (дата звернення: 20.09.2021).
2. Forming an automated technology to manage freight transportation along a direction / T. Butko, O. Kostienikov, L. Parkhomenko, V. Prokhorov, G. Bogomazova. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 1/3 (97). P. 6–13.
3. Лапкін О.І., Онищенко С.П., Коскіна Ю.О. Теорія і практика фрахтових операцій: монографія. Одеса : КУПРІЄНКО С.В., 2017. 151 с.
4. Організація транспортного процесу та управління роботою флоту на міжнародному ринку транспортних послуг в умовах глобалізації міжнародного судноплавства: монографія / авт. кол. : О.Г. Шibaєв, І.В. Савельєва, О.В. Кириллова та ін. Одеса : КУПРІЄНКО С.В., 2015. 171 с.
5. Шibaєв О.Г., Коскіна Ю.О. Динамічна модель оптимізації проекту роботи морського торговельного флоту. *East European Science Journal*. 2020. № 53. С. 44–48.
6. Brouer B.D., Karsten C.V., Pisinger D. Optimization in liner shipping. *A Quarterly Journal of Operations Research*. 2017. № 15 (1). P. 1–35.

7. Кириллова О.В. Теоретичні основи управління роботою флоту у транспортно-технологічних системах : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01. Одеса, 2017. 470 с.
8. Коскіна Ю.О. Теоретико-множинний підхід до моделювання структур систем доставки вантажів. *Вісник Вінницького національного політехнічного університету*. 2019. № 5 (146). С. 62–74.
9. Коскіна Ю.О. Формалізація процесу організації системи доставки вантажів. *Наукоємні технології*. 2020. № 1. С. 111–117.
10. Adland R., Cariou P., Wolff, F.-C. The influence of charterers and owners on bulk shipping freight rates. *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*. 2016. № 86. P. 69–82.
11. Lernichenko K., Yevtushenko V. Innovative project of regasification floating barges for the storage of liquefied natural gas (FSRB). *Development of management and entrepreneurship methods on transport*. 2019. № 2. 39–51.
12. Слободян В.В. Актуальні проблеми розвитку контейнерних перевезень в Україні. *Приазовський економічний вісник*. 2019. Вип. 5 (16). С. 29–36.
13. Модель організації мультимодальних вантажних перевезень у міжнародному сполученні / Г.С. Прокудін, А.А. Чупайленко, О.С. Дудник, О.Г. Прокудін, Д.М. Омаров. *Вісник Національного транспортного університету*. 2016. № 1 (34). С. 397–406.
14. Еластичні резервуари. URL: <https://tent-m.com.ua/elasticni-rezervuary/> (дата звернення: 17.09.2021).
15. Сравнительная характеристика резервуаров. URL: <http://flexitara.ru/ru/packaging/flexitanks.html> (дата звернення 17.09.2021).

#### REFERENCES

1. UNCTAD. (2020). Review of maritime transport 2020. Retrieved from: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf)
2. Butko, T., Kostiennikov, O., & Parkhomenko, L. (2019). Forming an automated technology to manage freight transportation along a direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/3(97), 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2019.156098.
3. Lapkin, O.I., Onishchenko, S.P. & Koskina, Y.O. Theory and practice of freight operations: a monograph [Teoriia i praktyka frakhtovykh operatsii: monohrafiia]. Odessa: KUPRIYENKO S.V. [In Ukrainian].
4. Shibaev, O.H., Savelieva, I.V. & Kirillova, O.V. (Eds.). (2015). Organization of the transport process and management of the fleet in the international market of transport services in the context of globalization of international shipping: a monograph [Orhanizatsiia transportnoho protsesu ta upravlinnia robotoiu flotu na mizhnarodnomu rynku transportnykh posluh v umovakh hlobalizatsii mizhnarodnoho sudnoplavstva: monohrafiia]. Odessa: KUPRIENKO S.V. [In Ukrainian].

5. Shybaiev, O.H. & Koskina, Yu.O. (2020). Dynamic model of optimization of the project of work of the sea merchant fleet [Dynamichna model optymizatsii proektu roboty morskoho torhovelnogo flotu]. *East European Science Journal*, 53, 44–48 [In Ukrainian].
6. Brouer, B., Karsten, C. & Pisinger, D. (2017). Optimization in liner shipping. *A Quarterly Journal of Operations Research*, 15(1), 1–35. doi: 10.1007/s10288-017-0342-6.
7. Kyrylova, O. V. (2017). *Theoretical foundations of fleet management in transport and technological systems* (Doctoral dissertation) [Teoretychni osnovy upravlinnia robotoiu flotu u transportno-tekhnologichnykh systemakh (dys d-ra tekhn. nauk)]. Odessa [In Ukrainian].
8. Koskina, Yu.O. (2019). Theoretical-multiple approach to modeling the structures of cargo delivery systems [Teoretyko-mnozhyhnyi pidkhd do modeliuvannia struktur system dostavky vantazhiv]. *Bulletin of Vinnytsia National Polytechnic University*, 5 (146), 62–74 [In Ukrainian].
9. Koskina, Yu.O. (2020). Formalization of the process of organizing the delivery system [Formalizatsiia protsesu orhanizatsii systemy dostavky vantazhiv]. *Science-intensive technologies*, 1, 111–117. doi: 10.18372/2310-5461.45.14582 [In Ukrainian].
10. Adland, R., Cariou, P. & Wolff, F.-C. (2016). The influence of charterers and owners on bulk shipping freight rates. *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*, 86, 69–82. doi: 10.1016/j.tre.2015.11.014.
11. Lernichenko, K. & Yevtushenko, V. (2019). Innovative project of regasification floating barges for the storage of liquefied natural gas (FSRB). *Development of management and entrepreneurship methods on transport*, 2, 39–51. doi: 10.31375/2226-1915-2019-2-39-51.
12. Slobodian, V.V. (2019). Actual problems of development of container transportations in Ukraine [Aktualni problemy rozvytku konteinernykh perevezen v Ukraini]. *Priazovsky Economic Bulletin*, 5(16), 29–36. doi: 10.32840/2522-4263/2019-5-5 [In Ukrainian].
13. Prokudin, H.S., Chupailenko, A.A., Dudnyk, O.S., Prokudin, O.H. & Omarov, D.M. (2016). The model of organizing multimodal vantagemen transported from the international community [Model orhanizatsii multymodalnykh vantazhnykh perevezen u mizhnarodnomu spoluchenni]. *Bulletin of the National Transport University*, 1 (34), 397–406 [In Ukrainian].
14. Tent-m. (2020). Elastic tanks [Elastychni rezervuary]. Retrieved from: <https://tent-m.com.ua/elasticzni-rezervuary/> [In Ukrainian].
15. Flexitara. (2020). Comparative characteristics of reservoirs [Sravnitel'naya kharakteristika rezervuarov]. Retrieved from: <http://flexitara.ru/ru/packaging/flexitanks.html> [in Russian].

## ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СУДЕН ЗАЛЕЖНО ВІД ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ

**В.І. Главатських**

асистент кафедри «Управління логістичними системами та проектами»,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-0488-2808

### *Анотація*

*Вступ.* У статті розглянуто можливість експлуатації суден на малих швидкостях для досягнення суттєвого зменшення рівня споживання пального та, як наслідок, зменшення експлуатаційних витрат. Час доставки вантажу є одним із найважливіших показників якості діяльності судноплавної компанії. Досліджено, яким чином швидкісний режим експлуатації судна впливає на час доставки вантажу й роботу судноплавної компанії в цілому.

Для отримання вичерпної об'єктивної інформації та дослідження завдання використано багатокритеріальний аналіз, а визначена множина Парето стає доступною для особи, що приймає рішення, при плануванні експлуатаційного режиму судна. У розв'язанні завдань багатокритеріального аналізу передусім повинні бути визначені й описані набори рішень, із яких варто здійснювати вибір. Роблячи такий вибір, особа, що приймає рішення, може використати додаткові критерії та міркування або покладатися на свої професійні знання, досвід та інтуїцію.

Норми витрат палива встановлюються на тепло-технологічних випробуваннях для шкірного судна окремо на ходу й на стоянці. Норми витрати палива залежать від кліматичних умов. У зимовий період витрачається палива більше, оскільки воно витрачається на прогрів вантажних приміщень, лебідок і палубних механізмів – на 6–8% більше порівняно з літніми.

Витрати на паливо є головною статтею витрат при використанні морського транспорту. Тому велике значення має розробка комплексу заходів, спрямованих на зниження витрат палива при експлуатації суден. При плануванні роботи суден у трамповому суднопластві для перевезення важких масових вантажів проводиться розрахунок бункерування.

Економічний ефект рейсів залежить від балансу між кількістю перевезеного вантажу та запасами палива. Має сенс скласти план бункерування судна на рейс з урахуванням усіх особливостей маршруту й можливих портів бункерування. При цьому варто брати до уваги ціни на паливо в кожному порту, включаючи вартість доставки до борту судна, тривалість бункерування, можливість поповнення паливом на зовнішньому рейді, де не потрібна оплата портових зборів, що діють на місцевій митній, екологічній, та інші спеціальні вимоги.

Пункт про право судновласника на заходження в проміжний порт для бункерування варто включати в рейсовий чартер. Також судновласниками враховується

можливість економії палива від руху судна зі зниженою швидкістю, що може дати значний економічний ефект як у трамповому, так і в лінійному й торговельно-промислового судноплавстві.

У роботі обґрунтовано методику вибору інвестиційного проекту придбання судна-балкера з огляду на можливість його експлуатації на різних швидкостях.

**Ключові слова:** судно, швидкість, витрати палива, морський транспорт, судноплавна компанія.

## EFFICIENCY OF VESSELS DEPENDING ON SPEED MODE

**V.I. Glavatskhih**

Assistant of the Department of Logistics Systems and Projects Management,  
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-0488-2808

### **Summary**

*The article considers the possibility of operating vessels at low speeds to achieve a significant reduction in fuel consumption and, consequently, to reduce operating costs. Cargo delivery time is one of the most important indicators of the quality of the shipping company's activity. It is investigated how the speed mode of operation of the vessel affects the time of cargo delivery and the work of the shipping company as a whole.*

*Multicriteria analysis is used to obtain comprehensive objective information and study the problem, and a certain Pareto set becomes available to the decision maker when planning the operational mode of the vessel. In solving the problems of multicriteria analysis, first of all, the sets of decisions from which to make a choice should be defined and described. In making this choice, the decision makers may use additional criteria and considerations, or rely on their professional knowledge, experience and intuition.*

*Fuel consumption rates are set on heat-technological tests for each vessel separately on the move and in the parking lot. Fuel consumption rates depend on climatic conditions. In winter, more fuel is consumed, as it is spent on heating cargo spaces, winches and deck mechanisms – 6-8% more than in summer.*

*Fuel costs are the main item of expenditure when using maritime transport. Therefore, it is important to develop a set of measures aimed at reducing fuel consumption in the operation of ships. When planning the operation of vessels in tramp shipping for the transportation of heavy bulk cargo, the calculation of bunkering is carried out.*

*The economic effect of flights depends on the balance between the amount of cargo transported and fuel reserves. It makes sense to make a plan for bunkering the ship for the flight, taking into account all the features of the route and possible ports of bunkering. This should take into account the price of fuel in each port, including the cost of delivery to the vessel, the duration of bunkering, the possibility of refueling on an external raid, which does not require payment of port dues, local customs, environmental and other special requirements.*

*The clause on the shipowner's right to enter the intermediate port for bunkering should be included in the voyage charter. Shipowners also take into account the possibility of saving fuel from the movement of the vessel at low speed, which can give a significant economic effect in both tramp and liner and commercial and industrial shipping.*

*The method of selection of the investment project for the purchase of a bulk carrier was substantiated in the work taking into account the possibility of its operation at different speeds.*

**Key words:** vessel, speed, fuel consumption, maritime transport, shipping company.

**Вступ.** Одним із найважливіших факторів, що впливає на ефективність експлуатації морського флоту, є швидкість руху суден. Від вибору швидкості суден залежить час доставки вантажів і пасажирів, провізна здатність суден, а також витрати палива, собівартість доставки вантажів і кількість шкідливих викидів.

**Постановка проблеми.** Значний вплив на показники ефективності роботи судноплавних компаній мають характеристики вантажопотоків, кон'юнктура фрактового ринку, особливості навігації та погодні умови, особливості роботи суміжних видів транспорту й низка інших факторів [1]. Витрати на паливо є головною статтею витрат при використанні морського транспорту. Тому велике значення має розробка комплексу заходів, що спрямовані на зниження витрат палива при експлуатації суден.

Час доставки вантажу є одним із найважливіших показників якості діяльності судноплавної компанії. Експлуатація суден на знижених швидкостях дає змогу досягти суттєвого зменшення рівня споживання пального та, як наслідок, зменшення експлуатаційних витрат. Тому при виборі оптимальної швидкості руху суден важливим є дотримання балансу між часом доставки вантажу й економічними показниками експлуатації судна.

Прагнення забезпечити незалежність зовнішньої торгівлі від кон'юнктури фрактового ринку стимулює кожен морську країну здійснювати перевезення на своїх суднах. Розвиток національного флоту дає змогу експортувати послуги морського транспорту й отримувати значні прибутки, які, у свою чергу, сприяють розвитку міжнародної торгівлі. До специфічних особливостей морського судноплавства відносять міжнародний характер його діяльності, багатогалузеву спрямованість роботи, високий ступінь динаміки. Міжнародний характер морського бізнесу, його динамізм, необхідність функціонування морського судноплавства у взаємодії з іншими видами транспорту на основі безперервного розвитку технологій та управління сприяють процесу швидкого розвитку галузі, обумовленому зовнішніми та внутрішніми факторами. Для морського бізнесу характерна наявність жорсткої конкуренції, у якій перевага знаходиться на стороні компаній і країн, що здійснюють перевезення найбільш ефективно й максимально вдосконалюють технологічні та управлінські аспекти своєї роботи. Кожен учасник морського бізнесу діє в рамках єдиного ринку морських перевезень, отже, конкуруючи з більш динамічними партнерами, змушений підтримувати свої стандарти на рівні світових. Позиції України як морської держави, що склалися, і подальші напрями їх зміцнення вимагають урахування глобальних тенденцій світової морської торгівлі [2].

За останні роки Україна практично втратила статус морської держави. Частка суден під українським прапором у зовнішньоторговельних перевезеннях українських вантажів не перевищує 4–5%. Вікова структура українського торгового флоту свідчить про те, що спостерігається перспектива його значного скорочення найближчими роками: більше ніж 62% суден мають вік 20 і більше років.

Аналіз світової морської торгівлі та обсягів перевезень вантажів показує роль, що зростає, морського транспорту, який є видом масового транспорту, який здатен до освоєння великих кількостей вантажів. Розвиток світових господарських зв'язків, зростання обсягів світового вантажообігу, розширення діяльності транснаціональних корпорацій, висока провізна спроможність і низька собівартість перевезень морським транспортом відносно інших видів транспорту створюють основу інвестиційної привабливості галузі.

Морський флот має потенціал інвестиційної привабливості для вітчизняних промислово-фінансових груп. Розвиток торговельно-промислового судноплавства може стати основою економічного зростання України та підвищення рівня її економічної безпеки. У сучасних умовах ефективний економічний розвиток країни багато в чому визначається наявністю тоннажу, що є достатнім для забезпечення незалежності національної зовнішньої торгівлі [3]. Це особливо важливо для країн, що експортують сировину і продукцію незавершеного виробництва. Укладання довгострокових контрактів дасть змогу підвищити конкурентоспроможність національного судноплавства на світовому фрахтовому ринку та підвищити конкурентоспроможність української експортної продукції на світових товарних ринках.

**Формулювання цілей статті.** Мета статті – розглянути можливість експлуатації суден на малих швидкостях для досягнення суттєвого зменшення рівня споживання пального та, як наслідок, зменшення експлуатаційних витрат.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз ефективності довгострокових капіталовкладень, до яких відносяться інвестиційні процеси в галузі судноплавства, пов'язаний зі значними періодами часу й вимагає ґрунтовної оцінки майбутніх імовірнісних умов, які необхідні для отримання прибутку. Сутність такого аналізу зводиться до визначення доцільності того чи іншого варіанта інвестиційного проєкту з позицій порівняння сучасних і майбутніх витрат компанії з перспективою отримання прибутків.

Методом, що найбільш широко використовується для кількісного аналізу результатів проєктної діяльності, є метод «чистої сучасної вартості» (Net Present Value, NPV). Цей метод базується на дисконтних обчисленнях доходів і витрат, що пов'язані з реалізацією проєкту та приведені до деякого моменту часу, як правило, до початку проєкту.

Наслідком нестабільної економічної ситуації у світі є мінливі умови діяльності в галузі морських перевезень. Щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку, більшість судноплавних компаній змушені вживати заходи задля підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів [4]. Частково це пов'язано з коливаннями цін на нафту й пально-мастильні матеріали. Тому багато уваги передових судноплавних компаній спрямовано на розробку заходів щодо зменшення витрат на паливо. До них можна віднести такі: заходи з організації перевезень (перерозподіл суден; об'єднання маршрутів; зниження експлуатаційної швидкості; припинення обслуговування менш рентабельних напрямів), заходи з технологічного покращення (удосконалення конструкції корпусу; нові технології для судових двигунів; використання альтернативних джерел енергії; комп'ютерні технології).

Далі розглянемо один із найбільш ефективних заходів зниження витрат на паливо, що полягає в зниженні експлуатаційної швидкості руху суден. Для цього проведемо аналіз залежності витрат палива від швидкості руху судна.

Основним складником видатків, що істотно впливають на отримання прибутку при використанні кожного судна, є вартість спожитого в рейсі палива. Ця видаткова частина становить до 60% від загальних витрат і може змінюватися в широких межах залежно від умов експлуатації та дій екіпажу з підтримання раціональних технологічних режимів. Економію паливно-енергетичних ресурсів на суднах варто вважати важливим комплексним завданням, що вимагає ефективного вирішення не тільки тому, що при цьому забезпечується максимум прибутку, а передусім із тієї причини, що раціонально витрачаються непоновлювані енергетичні ресурси, зменшується обсяг викидів в атмосферу продуктів згоряння, зберігається екологічно чисте середовище на водних шляхах. Отже, зі зменшенням витрат палива заощаджується моторесурс головних двигунів судна, генераторних агрегатів судових електростанцій, знижується теплонпруженість деталей і вузлів судових машин і механізмів, зменшуються витрати мастила тощо [5].

Економія палива при експлуатації судна може бути здійснена кількома шляхами. Один із них полягає в оновленні флоту досконаліми суднами нового покоління, які оснащені сучасними економічними двигунами. Цей шлях пов'язаний із залученням значних інвестицій. Інший шлях економії палива при експлуатації судна полягає у виборі та забезпеченні оптимальних режимів роботи судової дизельної установки, а також проведенні різних організаційно-технічних заходів щодо економії паливно-енергетичних ресурсів. Зниження швидкості ходу при експлуатації судна дає змогу судовласнику скоротити експлуатаційні витрати по судну, що широко застосовується на практиці. Однак варто враховувати, що надмірне зниження швидкості може призвести до втрати клієнтури та, як наслідок, до можливого зменшення доходів. Тому значний інтерес становлять дослідження залежності витрат палива від експлуатаційної швидкості суден. Оцінимо залежність експлуатаційної швидкості й витрат палива суднами-претендентами за допомогою регресійного аналізу та побудови ліній тренду. Досліджуючи цю залежність, можна буде зробити висновки про те, як саме зміна швидкості руху судна впливає на витрати палива, а отже, і на експлуатаційні витрати.

Щоб дослідити цю залежність, скористаємося Європейською міжнародною базою даних AIS [6] значень витрат палива за швидкостями для судна «Achilles Bulker» (таблиця 1).

Таблиця 1

**Витрати палива залежно від швидкості для судна «Achilles Bulker»**

Швидкість судна, вузл.	Витрати палива на ходу, т/доб.	Швидкість судна, вузл.	Витрати палива на ходу, т/доб.
1	2	3	4
14,5	23,4	7,975	8,99
13,775	21,2	7,25	8,13
13,05	19,09	6,525	7,41
12,325	17,16	5,8	6,80
11,6	15,4	5,075	6,30

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
10,875	13,81	4,35	5,90
10,15	12,38	3,625	5,60
9,425	11,1	2,9	5,38
8,7	9,98		

На підставі статистичного аналізу отримана така залежність витрат палива на добу ( $q_{ход}$ ) від швидкості судна ( $V$ ):

$$q_{ход} = \left( \frac{V}{V_{max}} \right)^a * (q_{max} - q_{min}) + q_{min}, \quad (1)$$

де постійний параметр  $a=2,507849$  визначено за допомогою методу найменших квадратів;

- максимальна швидкість судна, вузл.;
- витрати палива при максимальній швидкості, т/доб.;
- витрати палива при мінімальній швидкості, т/доб.

За формулою (1) для трьох інших обраних суден знайдено залежність витрат палива від швидкості руху суден.

На рис. 1 представлено порівняння залежностей витрат палива від швидкості руху для суден, що розглядаються.

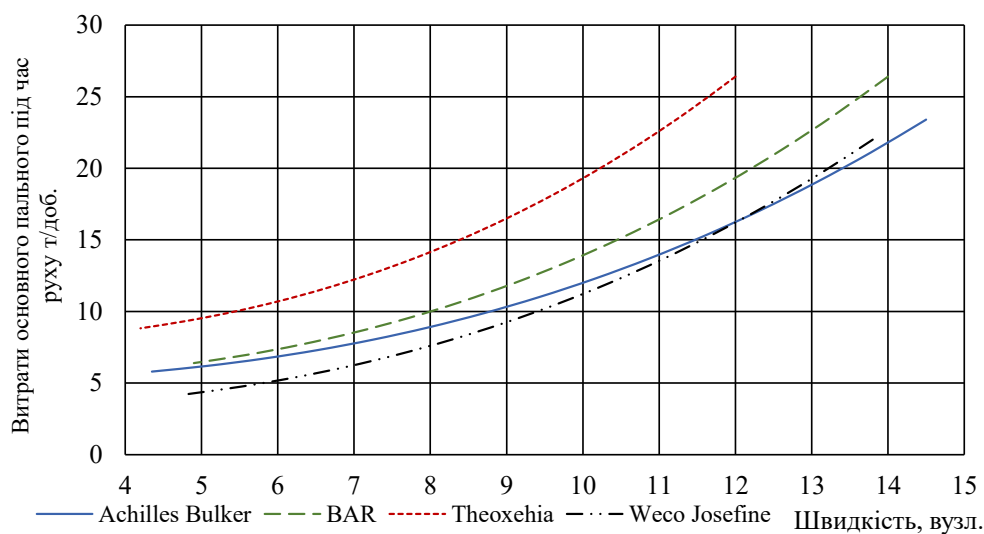


Рис. 1. Порівняння залежностей витрат палива від швидкості руху для суден, що розглядаються

При дослідженні завдань багатокритеріального аналізу вичерпна об'єктивна інформація стає доступною для особи, що приймає рішення, коли знайдено множину Парето. Далі на підставі інформації про множину Парето особа, що приймає рішення, має зробити свій остаточний вибір одного з розв'язків, що не можна

покращити. Роблячи такий вибір, особа, що приймає рішення, може використати додаткові критерії та міркування, або покладатися на свої професійні знання, досвід та інтуїцію. Отже, при розв'язанні задачі багатокритеріального аналізу передусім повинен бути визначений та описаний набір рішень, із яких варто здійснювати вибір. Разом із поняттям рішення використовують також терміни «альтернатива», «варіант», «план» або «стратегія» [7].

Очевидно, що найкращих значень NPV і найменшої тривалості рейсу одночасно досягти неможливо. Одним із цих критеріїв неминуче доведеться поступитися, якщо намагатися покращити інший. Отже, це є типовою задачею багатокритеріальної оптимізації. Щоб розв'язати цю задачу треба знайти множину Парето – оптимальних значень. Для визначення цієї множини використаємо наглядний графічний спосіб представлення залежності значень критеріїв одне від одного [8].

Проведемо розрахунки, у яких будемо враховувати зміну витрат пального залежно від швидкості. Визначимо значення середньозваженого тайм-чартерного еквівалента й представимо отримані результати в таблиці 2 та на рис. 2. З розрахунків і рис. 1 видно, що судну «Weco Josefine» з точки зору максимізації значення тайм-чартерного еквівалента (ТЧЕ) вигідніше за все рухатися зі швидкістю 11,04 вузлів, тому що для цієї швидкості значення середнього тайм-чартерного еквівалента є найбільшим і становить 8658,63 дол./доб. Аналогічно визначаються найбільш ефективні, з огляду на значення тайм-чартерного еквівалента, швидкості для судна «Achilles Bulker» – 12,3 вузлів, судна «Bar» – 11,2 вузлів і 9,6 вузлів для судна «Theoxehia». На рис. 2 представлено порівняння значень середньозваженого тайм-чартерного еквівалента залежно від швидкості руху для всіх суден-претендентів.

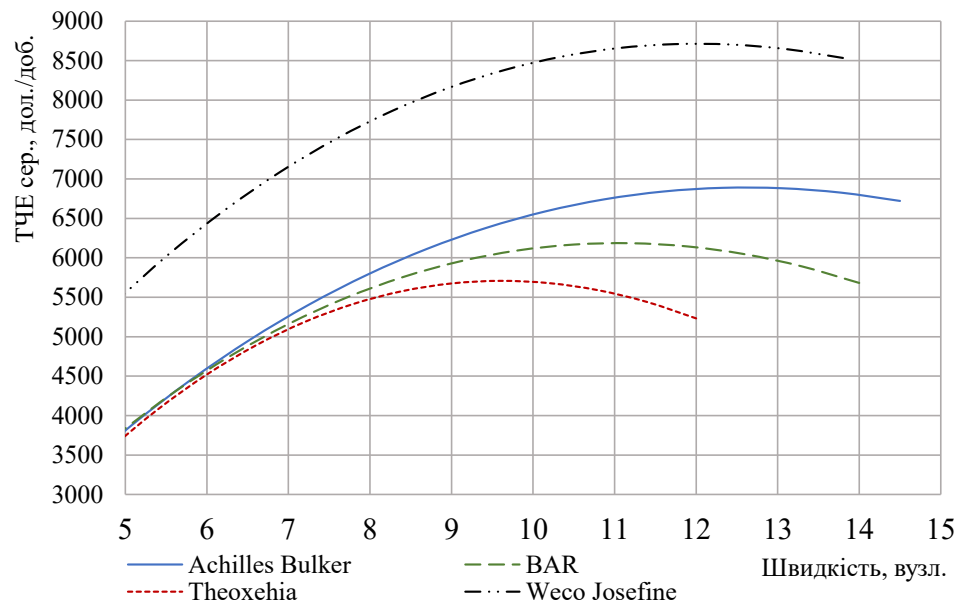


Рис. 2. Порівняння залежностей ТЧЕ від швидкості для суден, що розглядаються

Таблиця 2

**Зміна середньозваженого тайм-чартерного еквівалента  
залежно від швидкості руху суден**

Судно «Achilles Bulker»		Судно «Bar»		Судно «Theoxehia»		Судно «Weco Josefine»	
Швид- кість руху судна, вузл.	ТЧЕ, дол./доб.	Швид- кість руху судна, вузл.	ТЧЕ, дол./доб.	Швид- кість руху судна, вузл.	ТЧЕ, дол./доб.	Швид- кість руху судна, вузл.	ТЧЕ, дол./доб.
14,5	6 721,39	14	5 681,60	12	5 232,17	13,8	8 533,97
13,775	6 826,57	13,3	5 890,83	11,4	5 439,67	13,11	8 645,64
13,05	6 882,29	12,6	6 045,24	10,8	5 589,01	12,42	8 704,57
12,325	6 887,48	11,9	6 143,73	10,2	5 678,93	11,73	8 709,39
11,6	6 841,02	11,2	6 185,13	9,6	5 708,09	11,04	8 658,63
10,875	6 741,71	10,5	6 168,22	9	5 675,05	10,35	8 550,69
10,15	6 588,30	9,8	6 091,69	8,4	5 578,30	9,66	8 383,89
9,425	6 379,42	9,1	5 954,15	7,8	5 416,24	8,97	8 156,41
8,7	6 113,65	8,4	5 754,16	7,2	5 187,17	8,28	7 866,28
7,975	5 789,49	7,7	5 490,16	6,6	4 889,28	7,59	7 511,41
7,25	5 405,32	7	6 160,54	6	4 520,67	6,9	7 089,54
6,525	4 959,47	6,3	4 763,59	5,4	4 079,33	6,21	6 598,24
5,8	4 450,14	5,6	4 297,52	4,8	3 563,16	5,52	6 034,90
5,075	3 875,48	4,9	3 760,50	4,2	2 969,94	4,83	5 396,73
4,35	3 233,54	4,2	3 150,61	3,6	2 297,38	4,14	4 680,76
3,625	2 522,34	3,5	2 465,91	3	1 543,15	3,45	3 883,83
2,9	1 739,86	2,8	1 704,52	2,4	704,89	3,3	3 002,59

З таблиці 2 видно, що в судна «Weco Josefine» значення середнього тайм-чартерного еквівалента на всіх швидкостях порівняно з іншими суднами є найвищими. Але це ще не є достатньою підставою для остаточних висновків щодо вибору інвестиційного проекту. Інтерес представляє дослідження залежності значень NPV від вибору швидкості руху суден.

Для судна «Achilles Bulker» у таблиці 3 представлені результати розрахунків значень NPV і середньої тривалості рейсу при виборі різних швидкостей руху судна.

Аналогічно розраховано значення NPV та середньої тривалості рейсу при виборі різних швидкостей для трьох інших суден. На рис. 3 зображено залежність значень NPV від середнього ходового часу в одному напрямку для всіх суден-претендентів.

Зображення на рис. 3 дає змогу дослідити множинну Парето для задачі багато-критеріальної оптимізації за двома критеріями (середнім ходовим часом в одному напрямку та загальним значенням NPV проекту придбання судна), що дає можливість особі, що приймає рішення, зробити обґрунтований вибір інвестиційного проекту придбання судна з огляду на можливість експлуатації суден на різних швидкостях.

Таблиця 3

Зв'язок NPV і середньої тривалості рейсу судна «Achilles Bulker»

Швидкість руху судна, вузл.	Тривалість рейсу, діб.	NPV, тис. дол.
14,5	75,13	1 195,42
13,775	77,56	1 326,24
13,05	80,25	1 395,53
12,325	83,26	1 401,98
11,6	86,65	1 344,21
10,875	90,49	1 220,70
10,15	94,87	1 029,91
9,425	99,93	770,13
8,7	105,84	439,61
7,975	112,82	36,47
7,25	121,20	-441,30
6,525	131,43	-995,79
5,8	144,23	-1 629,21
5,075	160,68	-2 343,88
4,35	182,61	-3 142,22
3,625	213,32	-4 026,71
2,9	259,39	-4 999,84

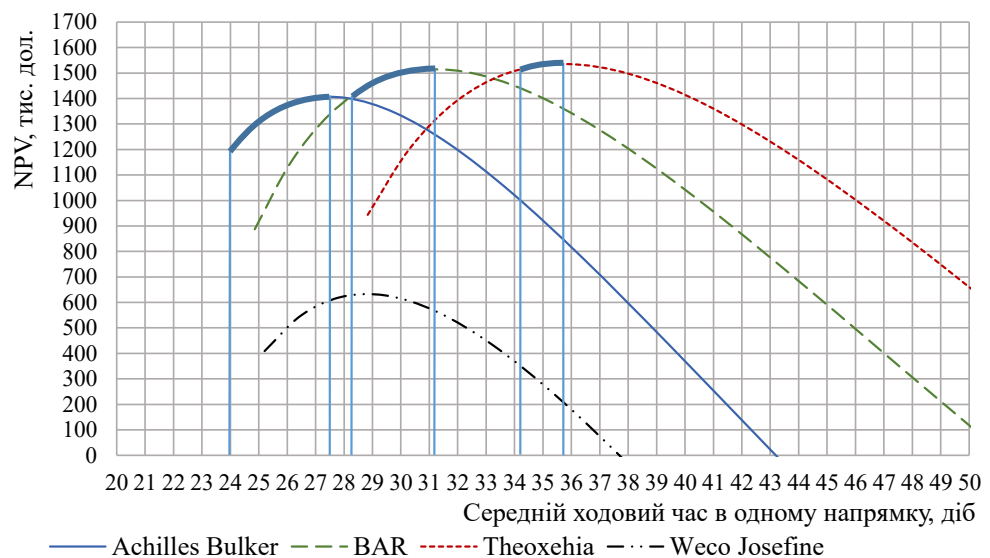


Рис. 3. Порівняння залежностей NPV від середнього ходового часу в одному напрямку

Очевидно, що якщо брати до уваги лише показник середньої тривалості ходового часу, то варто обрати судно «Achilles Bulker» і використовувати його на максимальній швидкості, при цьому середня тривалість ходового часу в одному напрямку буде становити 24 доби. Якщо брати до уваги лише показник NPV, то

варто обрати судно «Theocheia» й оперувати ним на швидкості 9,6 вузлів, при цьому середня тривалість ходового часу в одному напрямку становитиме приблизно 36 діб. Щоб вибрати проект із більш збалансованими показниками середнього ходового часу та загального значення NPV проекту, необхідно дослідити множину Парето [9].

На рис. 3 можна побачити множину оптимальних значень критеріїв задачі багатокритеріальної оптимізації: вона позначена жирною лінією. Решта точок, що не належать до цієї множини, не є оптимальними за Парето й, отже, не становлять практичного інтересу для особи, що приймає рішення. Множина оптимальних значень критеріїв складається з трьох дуг, кожна з яких відповідає одному з трьох суден. Аналізуючи дугу *I*, що відповідає судну «Achilles Bulker», можна зробити висновок, що проект придбання цього судна може розглядатися лише тоді, коли необхідно забезпечити максимально короткі строки доставки вантажу. Але в широкому діапазоні середніх і повільних швидкостей судно «Achilles Bulker» показує погані показники економічної ефективності. Проект придбання судна «Weco Josefine» взагалі виглядає непривабливим, бо показник NPV є найменшим серед суден-претендентів, хоча строки доставки вантажу в нього малі. Якщо аналізувати дуги *II* і *III*, то можна дійти висновку, що проект придбання судна «Bar» є найбільш ефективним, якщо існують обмеження щодо того, щоб рейс у середньому тривав не більше 33 діб. Якщо ніяких обмежень на тривалість доставки вантажів клієнти накладати не будуть, то найбільш ефективним з економічної точки зору є проект придбання та експлуатації судна «Theocheia», використання його на швидкості 12,3 вузлів; при цьому середня тривалість ходового часу в одному напрямку буде найбільшою і становить приблизно 36 діб.

При виборі судна також варто приділити увагу довжині діапазону швидкостей, на яких використання судна є оптимальним. Якщо використання судна є оптимальним у широкому діапазоні швидкостей, то судноплавна компанія в майбутньому може забезпечити додаткову гнучкість в узгодженні фрахтових ставок і строків доставки вантажів через можливість ефективної експлуатації суден на різних швидкостях, що є дуже важливим в умовах нестійкої кон'юнктури фрахтового ринку.

**Висновки.** Час доставки вантажу з порту відправлення в порт призначення та рівень доходів судноплавної компанії від експлуатації судна є взаємопов'язаними показниками. Покращення одного з них неминуче спричиняє погіршення іншого. Проведені дослідження показали, що ефективність проектів придбання й експлуатації суден-балкерів може бути суттєво покращена за рахунок обґрунтованого вибору швидкості руху суден [10].

Експлуатація суден на малих швидкостях дає змогу досягти суттєвого зменшення рівня споживання пального та, як наслідок, зменшення експлуатаційних витрат. Але, з іншого боку, час доставки вантажу є одним із найважливіших показників якості діяльності судноплавної компанії.

З проведених розрахунків видно, що вибір того чи іншого судна залежить від того, на яких швидкісних режимах планується експлуатувати ці судна. На різних швидкісних режимах лідерами можуть ставати різні судна.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Брошков С.Д. Выбор экономической скорости хода судна с учетом характеристик главного двигателя. *Автоматизация судовых технических средств*. Одесса : Изд-во ОНМА, 2010. № 16. С. 3–10.
2. Дидык А.Д., Усов В.Д., Титов Р.Ю. Управление судами и его техническая эксплуатация : учебник для мореходных училищ. Москва : Транспорт, 1990. 320 с.
3. Винников В.В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок) : учебное пособие. Одесса : Латстар, 2001. 416 с.
4. Лапкина И.А., Акимова О.В. Определение оптимальной эксплуатационной скорости судов-контейнеровозов при изменении объемов перевозок на линии. *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем*. Одесса : Изд-во ОНМУ, 2011. № 18. С. 165–181.
5. Краев В.И., Ступин О.К., Лимонов Э.Л. Экономические обоснования при проектировании морских грузовых судов. Ленинград : Судостроение, 1973. 294 с.
6. Интернет ресурс [www.aishub.net](http://www.aishub.net) (Європейська міжнародна база даних).
7. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений : учебное пособие. Москва : МАКС Пресс, 2008. 197 с.
8. Акимова О.В., Хайминов Ю.В. Управление издержками линейных судоходных компаний в условиях кризиса. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. Одеса : ОНМУ, 2009. Вип. 30. С. 160–171.
9. Лапкина И.О., Малаксиано М.О., Главатських В.И. Многокритериальный подход к обоснованию выбора проекта приобретения и эксплуатации судна-балкера. *Транспортні системи і технології*. 2019. № 2 (33). С. 99–110.
10. Главатських В.І. Про оптимізацію витрат палива при транспортуванні насипних вантажів. Актуальные проблемы современной науки : сборник тезисов научных трудов XXXV Международной научно-практической конференции. Москва-Астана-Харьков-Вена, 2018. URL: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/15427942361640.pdf#page=44>.

### REFERENCES

1. Broshkov S.D. (2010). Selection of the economic speed of the vessel taking into account the characteristics of the main engine. *Automation of ship technical means* [Vybor ekonomicheskoy skorosti hoda sudna s uchetom harakteristik glavnogo dvigatelya], (16), pp. 3–10.
2. Didyk A.D. (1990). Ship management and its technical operation: a textbook for seafaring schools [Upravlenie sudami i ego tekhnicheskaya

- eksploatatsiya: Uchebnik dlya morekhodnyh uchilishch]. Moscow: Transport Publ., 320 p.
3. Vinnikov V.V. (2001). Economics of the enterprise of sea transport (economy of sea transportations): eextbook [Ekonomika predpriyatiya morskogo transporta (ekonomika morskikh perevozok): Uchebnoe posobie]. Odessa: Latstar Publishing House, 416 p.
  4. Lapkina I.A., Akimova O.V. (2011). Determining the optimal operating speed of container vessels when changing the volume of traffic on the line [Opredelenie optimal'noj eksploatatsionnoy skorosti sudov-kontejnerovozov pri izmenenii ob'emov perevozok na linii]. Methods and tools for managing the development of transport systems, (18), pp. 165–181.
  5. Kraev V.I. (1981). Economic justifications for the design of ships [Ekonomicheskie obosnovaniya pri proektirovanii morskikh gruzovykh sudov]. Leningrad: Shipbuilding Publ., 280 p.
  6. Internet resource [www.aishub.net](http://www.aishub.net) (European International Database).
  7. Lotov A.V., Pospelova I.I. (2008). Multicriteria decision-making tasks [Mnogokriterial'nye zadachi prinyatiya reshenij: Uchebnoe posobie]. Moscow: MAKS Press Publ., 2008. 197 p.
  8. Akimova O.V., Khaiminova Yu. V. (2009). Cost management of liner shipping companies in a crisis [Upravlenie izderzhkami linejnykh sudohodnykh kompanij v usloviyah krizisa]. Development of methods of management and administration in transport, pp. 160–170.
  9. Lapkina I., Malaksiano M., Glavatskykh V. (2019). Multicriteria approach to substantiation of the choice of the project of acquisition and operation of a bulk carrier [Mnogokriterial'nyj podhod k obosnovaniyu vybora proekta priobreteniya i eksploatatsii sudna-balkera]. Transport Systems and Technologies, 2 (33), pp. 99–110.
  10. Glavatskikh V.I. (2018, October). On optimization of fuel consumption during transportation of bulk cargoes [Pro optimizatsiyu vitrat paliva pri transportuvanni nasipnih vantazhiv]. In Proceedings of the XXVV International Scientific and Practical Conference (Moscow-Astana-Kharkov-Vienna, October 30, 2018) / International Research Center, 2018. 80 p. (<https://www.inter-nauka.com/uploads/public/15427942361640.pdf#page=44>).

**СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ НАУКОЄМНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ  
У ВИПУСКНИХ ГАЗАХ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ**

**А.Г. Данилян<sup>1</sup>, І.З. Маслов<sup>2</sup>, Н.Б. Тірон-Воробйова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>старший викладач кафедри суднових енергетичних установок і систем,  
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,  
Ізмаїл, Україна,

ORCID ID: 0000-0003-1759-6077

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, завідувач кафедри суднових енергетичних установок і систем,  
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,  
Ізмаїл, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-9468-2756

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедри загальнонаукових дисциплін,  
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,  
Ізмаїл, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-8269-2682

**Анотація**

**Вступ.** Бурхливий розвиток світового транспорту завдає непоправної шкоди довкіллю всього людства земної кулі. Морський і річковий транспорт робить свій внесок у питанні карбонізації до 18% від загального обсягу шкідливих викидів в атмосферу. **Мета.** Основна мета науково-дослідної роботи авторів статті підпорядкована зниженню шкідливих викидів в атмосферу суден морського та річкового транспорту. Використана методика розкриття мети заснована на аналітичній і практичній дослідницькій роботі. **Результати.** У статті проведено аналітику кращих світових технологій щодо зниження шкідливих викидів у випускних газах в атмосферу суднових дизелів, проведено аналіз науково-дослідної роботи Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» та НВФ «Еко-Авто-Титан», Україна.

Протягом останніх 6 років на судах Українського дунайського пароплавства проведено випробування паливних каталізаторів різних модифікацій, продукції НВФ «Еко-Авто-Титан», Україна з контролем Українського аудитора «Науково-дослідного інституту «Охорони навколишнього середовища та економії палива», м. Київ. Отриманий матеріал досліджень на судах пароплавства дав позитивні результати й показав зниження оксиду азоту NOx на 38%, оксиду вуглецю COx до 50%, діоксиду вуглецю 7%, викиди сажі за показаннями димомеру знизилися на 55%, економія палива становила до 10%. Сам паливний каталізатор касетного типу є досить складною конструкцією. У металеву оболонку паливного каталізатора вмонтовано хімічні реагенти різних оксидів металів, що реструктурують дизельне паливо на молекулярному рівні. Каталізатор установлюється на гнучких зв'язках перед насосом високого тиску, ресурс каталізатора 500 т палива до заміни в ньому хімічних реагентів. Відпускна ціна каталізатора залежить від потужності двигуна, на який він планується до встановлення та знаходиться

в діапазоні від 400 у.о. (автомобільний транспорт), 10 000 у.о. (суднові двигуни потужністю до 3 тис. кВт).

Розглянуто технології використання у двигунах внутрішнього згорання автомобільного, залізничного, річкового й морського транспорту палива рослинного походження. Наведено аналіз можливого використання газового палива на суднах річкового флоту Українського дунайського пароплавства.

Більш детально розглянуто питання виробництва водню з використанням останніх інноваційних технологій, розроблених у створенні ядерних реакторів останнього покоління, які успішно інтегровані у виробничі хімічні модулі, що дають змогу отримувати гідроплазму в перегрітій водяній парі до 800°С з отриманням водню й кисню. Собівартість одного літра водню із застосуванням цієї технології не перевищує 1,6 у.о., що дає повний пріоритет виробництва водню в промислових обсягах.

Незважаючи на успіх виробництва водню за новою технологією, авторами статті розкрито серйозні недоліки при спалюванні водню в теплових машинах (двигунах внутрішнього згорання, газових турбінах і котлах). Основний недолік спалювання водню – це наявність закису азоту  $N_2O$  у випускних газах теплових машин, який є парниковим газом із високим ступенем згубного впливу на довкілля. **Висновки.** Отриманий дослідницький матеріал спільної роботи Дунайського інституту НУ «ОМА» із НВФ «Еко-Авто-Титан», Україна отримав своє схвалення на внутрішніх водних шляхах Європи. Паливні каталізатори почали купувати Індія, Туреччина, Казахстан.

У статті зроблено конкретні пропозиції щодо локалізації закису азоту при згорянні водню. Узагальнено досвід використання авангардних технологій щодо використання ядерних інтегрованих сольових реакторів для отримання промислового водню.

**Ключові слова:** наукомісткі технології зниження шкідливих викидів в атмосфері з випускними газами суднових дизелів, ядерні реактори з низьким збагаченням урану, паливний каталізатор, гідроплазма.

#### CREATION AND RESEARCH OF NEW SCIENTIFIC TECHNOLOGIES TO REDUCE HARMFUL EMISSIONS IN THE EXHAUST GASES OF MARINE DIESELS

**A.H. Danylyan<sup>1</sup>, I.Z. Maslov<sup>2</sup>, N.B. Tiron-Vorobiova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Senior Lecturer of the Department of Ship's power plants and systems,  
Danube Institute of National University "Odessa Maritime Academy", Izmail, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-1759-6077

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department  
of Ship's power plants and systems,  
Danube Institute of National University "Odessa Maritime Academy", Izmail, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-9468-2756

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department  
of General scientific disciplines,  
Danube Institute of National University "Odessa Maritime Academy", Izmail, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-8269-2682

#### **Summary**

**Introduction.** The turbulent development of world transport causes unjustifiable harm to the health of all humanity of the Earth's population. Marine and river

transport contributes up to 18% of the total amount of toxic discharges into the atmosphere. **Purpose.** The main goal of scientific and investigative work of the authors of this article is to reduce waste discharges into the atmosphere of ships of maritime and river transport. The article uses the methodology of the statement of purpose based on the analytical and practical research work. **Results.** This article analyzes the world's leading technologies for reduction of hazardous emissions in exhaust gases of marine diesel engines, analyzes scientific and research work of the Danube Institute of the National University "Odessa Marine Academy" and NVF "Eco-Auto-Titan", Ukraine.

During the last 6 years on the vessels of the Ukrainian Danube Shipping Company the testing of oil catalyzers of different modifications, products of NVF "Eco-Auto-Titan", Ukraine under the control of the Ukrainian auditor "Scientific-research Institute "Environment protection and fuel economy", Kyiv was carried out. The material obtained during examinations of vessels used for water heating had positive results and showed nitrogen oxide NO<sub>x</sub> reduction by 38%, carbon monoxide CO<sub>x</sub> reduction by 50%, carbon dioxide reduction by 7%, soot emissions by dimmometer measurements decreased by 55%, fuel economy reduced by up to 10%. The cassette-type fuel catalyst itself is a very complex construction. Chemical reagents of different metal oxides, which restructure diesel fuel at molecular level, are built into metal shell of the catalytic converter. The catalyst is installed on flexible links before the high-pressure pump, the catalyst life is 500 tons of fuel before the chemical reagents are replaced in it. Release price of the catalyst depends on the power of the engine, which it is planned for installation and ranges from 400 c.u. (automobile transport), 10 000 c.u. (marine engines up to 3 thousand kW).

The article describes technologies of internal combustion engines of automobile, railway, river and sea transport using rosin-based fuels. The analysis of possible use of gas fuel on the vessels of the river fleet of the Ukrainian Danube Shipping Company is given.

In more detail the production of water heating with the use of the latest innovative technologies developed in the creation of the latest generation of nuclear reactors is considered, the reactors are successfully integrated into the production chemistry modules to produce hydroplasma in superheated water vapor up to 800° C. with the production of aqueous and acidic hydrogen. The cost of one liter of water with the use of this technology does not exceed 1.6 c. u., which gives full priority to the production of industrial volumes of water.

In spite of the success of water production with the new technology, the authors of the article revealed serious shortcomings in combustion of water in thermal machines (internal combustion engines, gas turbines and boilers). The main disadvantage of water-combustion is the presence of nitrogen oxide N<sub>2</sub>O in the exhaust gases of thermal machines, which is a greenhouse gas with a high degree of harmful effect on the downdraft.

**Conclusions.** The obtained investigative material of the joint work of the Danube Institute of Scientific and Production Enterprise "OMA" with scientific and production company "Eco-Auto-Titan" Ukraine received its seizure in the internal waterways of Europe. The coal-powered catalyzers began to be purchased: India, Turkey, Kazakhstan.

*This article contains specific suggestions on the localization of nitrogen oxide during water combustion. It summarizes the experience of using avant-garde technologies on the use of nuclear integrated salt reactors for obtaining industrial water.*

**Key words:** *science-intensive technologies to reduce harmful emissions into the atmosphere with exhaust gases from marine diesel engines, nuclear reactors with low uranium enrichment, fuel catalyst, hydroplasma.*

**Вступ.** Забруднення повітряного океану планети – одна з актуальних проблем людства, яка призвела до незворотних процесів серед існування всіх живих істот. Повені, посуха, зниження кисню в повітряній масі та насичення повітря отруйними включеннями з великим прискоренням крокують планетою. Ранні прогнози вчених щодо зміни клімату в часі виявилися не коректними, наближення парникового ефекту значно наблизило нас до глобальної катастрофи.

**Постановка проблеми.** Випускні гази суднових дизелів поширюються на морський і річковий флот, які забруднюють продуктами згоряння повітря прибережних міст морського узбережжя та внутрішніх річок, що протікають усередині багатьох держав. Забруднення атмосфери випускними газами двигунів внутрішнього згоряння призводить до різкого збільшення захворювань органів дихання населення планети, знищується родючість земель сільськогосподарського призначення, гине фауна та флора довкілля людства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі дослідження проводилися за двома напрямками:

- обробка аналітичного матеріалу щодо використання екологічно чистих палив;
- узагальнення дослідницької роботи, що проводиться авторами статті на судах морського та річкового флоту, а також на автомобільному транспорті.

Аналітичні дослідження базувалися на вивченні й узагальненні останніх наукових праць у галузі використання газоподібного палива для теплових двигунів, включаючи судові дизелі та двигуни автомобілів, літаків, залізничного транспорту. Проведено детальний аналіз наукових праць: Радченко Р.В., Мокрушина О.С., Тюльпи В.В. Водень в енергетиці. Єкатеринбург : Вид-во Уральського університету, 2014; вивчено матеріали Європейської комісії «Воднева стратегія для нейтрального клімату Європи», Брюссель, 2020. Отримано нову інформацію ООН із забруднення атмосферного морського судна транспорту, настав час включитися в боротьбу зі зміною клімату. Женева : Видавництво ООН, 2019. Проаналізовано низку публікацій щодо використання водневого палива на транспорті, знайдено пріоритетні напрями отримання водню, надано оцінку можливості розвитку судової енергетики для роботи на метані. Також використовується багаторічний досвід науково-дослідної роботи авторів статті щодо зниження шкідливих викидів на морському та річковому транспорті із застосуванням паливних каталізаторів НВФ «Еко-Авто-Титан», Україна. Дослідницька робота узагальнена й опублікована в наукових фахових виданнях. Усі випробування контролювалися українськими та зарубіжними аудитором з підтвердженням показників досліджень – сертифікатами.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є знаходження оптимальних рішень у процесі дослідження шкідливих викидів в атмосферу в газах, що

відходять, судових дизелів, які могли б бути запропоновані в подальшому судовласникам. Різноманітність наукомістких технологій, що пропонуються науковими колективами, на жаль, не завжди відповідає безпеці мореплавання, економіці перевезень, управлінню й технічному обслуговуванню інноваційних технологічних установок. Дослідження теми потребує високих професійних знань, ретельної перевірки поставленого експерименту й обов'язкового незалежного аудиту третьої сторони.

**Виклад основного матеріалу.** Останнім часом світ побачив масу робочих наукомістких технологій зі зниження шкідливих викидів в атмосферу у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів. Америка та країни Південної Америки активно почали переходити на суміші палива із застосуванням рослинних олій і спиртів, що дало конкретні результати щодо зниження оксиду азоту NO<sub>x</sub>, оксиду вуглецю CO<sub>x</sub>, летючих карбонів у вигляді сажі, діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub> [1, с. 10]. Останній показник знизився незначно, над ним працюють великі наукові світові центри Європи й Америки, але, на жаль, суттєвих результатів, які могли послужити надалі створенням робочої технології, поки що немає. Для морських і річкових суден розроблено технологію зниження діоксиду вуглецю за відомою методикою, в основі якої розроблено та затверджено середньорічний експлуатаційний коефіцієнт енергоефективності СЕКЕ з параметрами моніторингу:

$$CO_2 = A \cdot E, \quad (1)$$

де CO<sub>2</sub> – уміст діоксиду вуглецю, г;

A – активність роботи судна, тонно-миль;

E – енергоефективність, витрати палива, г/тонно-миль.

Цей коефіцієнт визначено ІМО для суден будівлі після 1 липня 2015 р., де в судовому свідоцтві СЕКЕ враховуватиметься типорозмір судна, розрахунок CO<sub>2</sub>. До суден старої споруди будуть застосовані збільшені портові збори зі зниженням потужності на робочих режимах з метою зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Судна нової споруди оснащені сучасними двигунами з електронним управлінням процесу подачі та горіння палива, якщо порівняти два двигуни однієї марки: RND 90 Sulser випуску 70 мм і сучасний RT-flex 90 Sulser, то стане очевидним, що викиди CO<sub>2</sub> у новому двигуні будуть значно нижчими. Новий двигун цієї лінійки витрачає 160 г на кВт/год, а старий – 240 г на кВт/год, практично при однаковій ефективній потужності з ходом поршня 2500 мм циліндрова потужність становить 5720 кВт і помножена на 8 циліндрів, їх ефективна сумарна потужність буде Ne= 45760 кВт. Різниця в годинній витраті палива в них становитиме (45760 x 240 = 10,982 т, 45760 x 160 = 7,322 т) майже 4 тонни палива [2, с. 10].

Проведено спільну науково-дослідну роботу Дунайського інституту національного університету «ОМА» з науково-виробничою фірмою «Еко-Авто-Титан», Україна протягом 6 років, низку досліджень як в Україні, так і за кордоном, включаючи автодорожній, річковий і морський транспорт. Предмет досліджень полягав у зниженні шкідливих викидів у газах, що виходять, витрат палива двигунів внутрішнього згорання з використанням каталізатора палива, який, на відміну від каталізаторів очищення вихлопних газів, установлених на випускному тракті двигунів, установлюється на бензинових двигунах перед

карбюратором, а на дизельних двигунах – перед паливним високого тиску. Сама схема дає змогу робити одночасно порівняння на установках із двома двигунами з підключеним каталізатором і без нього [3, с. 12]. Схема обслуговується сучасними електронними приладами: димоміром і газоаналізатором Testo-350, а також до установки, що випробовується, підключається індикатор контролю основних і непрямих показників роботи двигуна, що дає можливість контролювати навантажувальні режими роботи, які постійно збігаються з показниками газоаналізатора й димоміру. Через мірний бачок фіксується витрата палива на кожному робочому режимі, що дає змогу з достатньою точністю визначати економію палива, яка додатково розраховується аналітичним шляхом. Перед початком випробувань проводиться математичне моделювання за програмою «Дизель – РК», у цю програму вводяться дані всього процесу для отримання прогнозованих показників випробувань, що дуже важливо з урахуванням різних рівнів технічного стану випробуваних двигунів, щоб не допустити аварійну ситуацію [4, 1тр.]. Як правило, усі випробування фіксуються третьою стороною – незалежним міжнародним аудитором, який усі отримані показники за заздалегідь затвердженою програмою підтверджує сертифікатом.

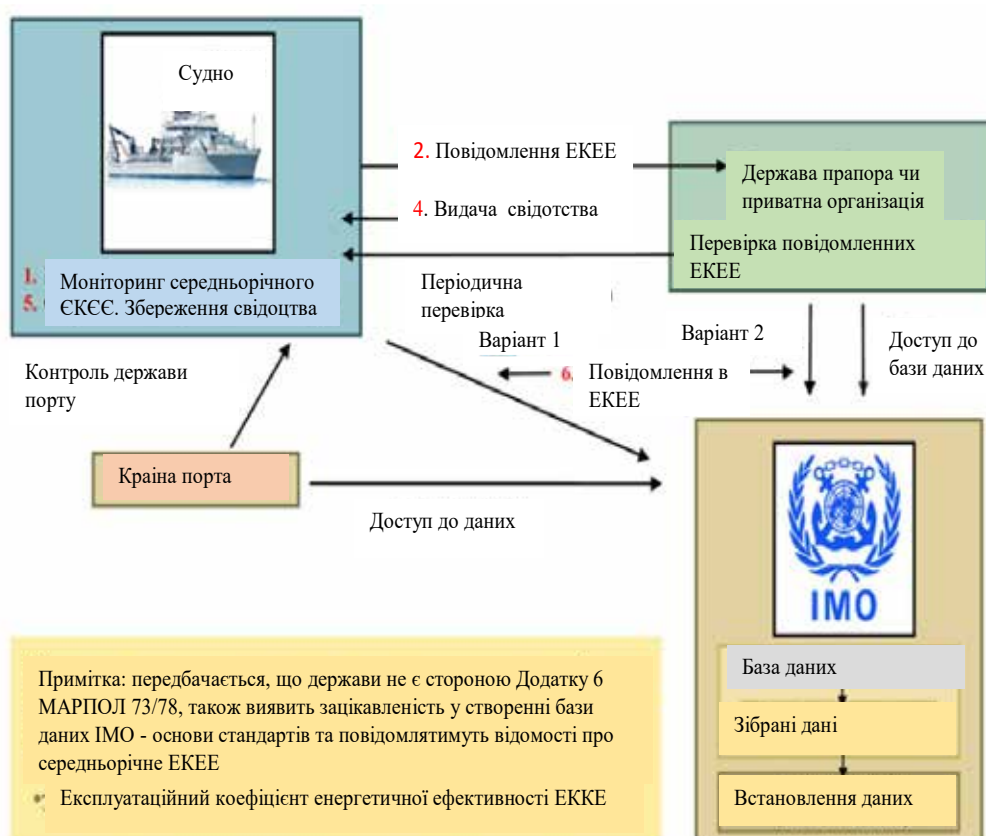
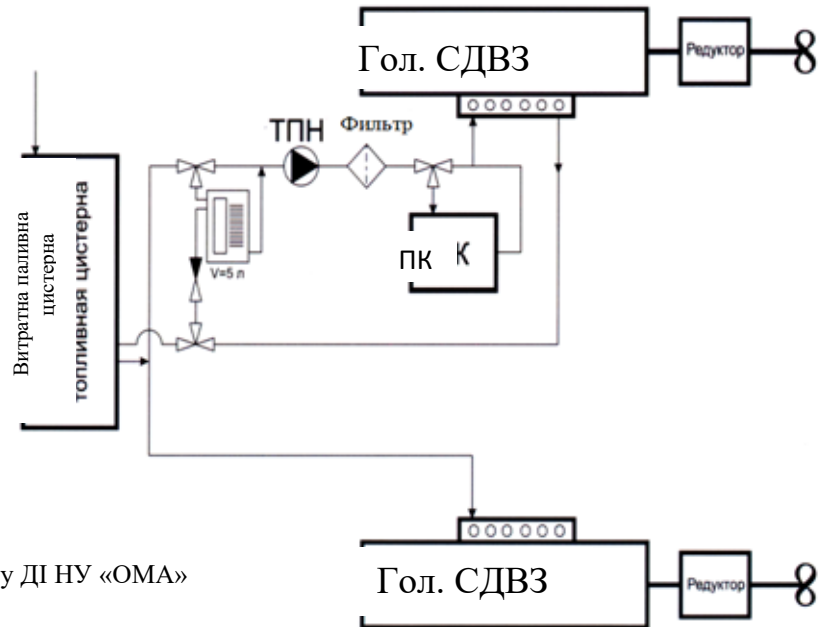


Рис. 1. Схема моніторингу судна щодо визначення коефіцієнта СЕКЕ

Загальна схема установки паливного каталізатора на «Портовий-22»



Розроблено у ДІ НУ «ОМА»

Рис. 2. Робоча схема установки паливного каталізатора ПК на СДВС: ППН – паливopідкачувальний насос, ПК – паливний каталізатор,  $V = 5$  л – мірний бачок палива, гол. СДВЗ – головний судновий двигун внутрішнього згоряння

Паливний каталізатор виробництва НВФ «Еко-Авто-Титан», Україна, спільно з Дунайським інститутом НУ «ОМА» проходить удосконалення з урахуванням зміни якості бензинів, авіаційного газу, дизельного палива тощо. Він є компактною циліндричною конструкцією з різними видами хімічних реагентів, з урахуванням різних потужностей випробуваних двигунів його розміри трохи змінюються. Він легко встановлюється на гнучких з'єднаннях під капотом легкових і вантажних машин і компактно монтується на суднових двигунах. Ціновий діапазон ПК варіюється від 400 у.о. до 10000 у.о. з тривалістю роботи його до наступної заправки реагентами, близько 500 тонн дизельного палива та бензинів.

На рис. 3 в розрізі показаний каталізатор камерно-касетного типу, до складу якого входять титанові фільтри-активатори тонкого очищення, активні елементи хімічного каталізатора та гранульований каталізатор. У першій камері осідають важкі фракції, що потрапили в паливо, а також відбувається селективне очищення дизельного палива від сірчистих з'єднань і смол. У другій камері паливо каталітично обробляється шляхом контакту його вуглеводневих молекул з високопористою активною поверхнею гранульованого каталізатора, до складу якого входять сполуки металів і каталітично активних органічних включень. Після цього паливо обробляється на молекулярному рівні таблетками-присадками, солями металів, які під впливом високих температур і тиску в камері згоряння двигуна у вигляді молекул металу осідають на поверхні деталей циліндро-поршневої групи. У третій камері за рахунок застосування титанових склянок активаторів модифіковане

паливо піддається додатковій активації та стабілізується. Ефект каталітичної обробки палива зберігається протягом 30–40 с, що цілком достатньо для спалювання його в камері згоряння двигуна. Комплексна обробка палива збільшує повноту його згоряння, за рахунок чого зменшується витрата палива та вихлоп в атмосферу шкідливих речовин із відпрацьованими газами.

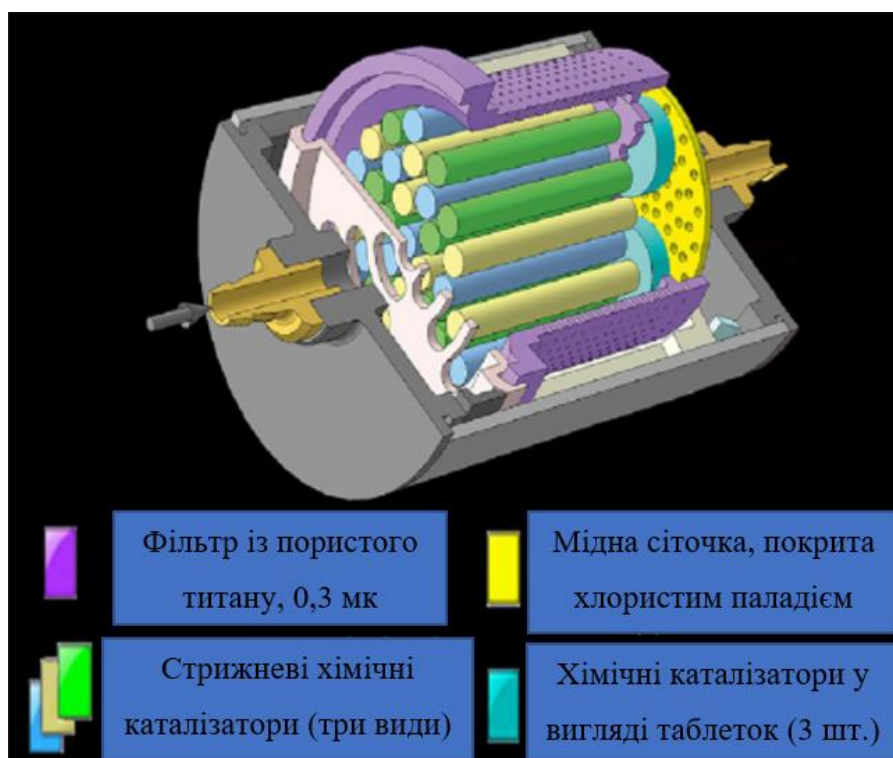


Рис. 3. Паливний каталізатор камерно-касетного типу

На випробуваннях, що проходять в Українському дунайському пароплаванні, паливний каталізатор показував стабільне зниження шкідливих викидів у газах, що відходять, головних двигунів:  $\text{NO}_x$  – 35%,  $\text{CO}$  – 50%, викиди твердих частинок (сажа) – 50%,  $\text{CO}_2$  – 7%, економія палива становила до 10%, усі показники було підтверджено незалежним аудитором Інституту екології та енергозбереження України на судах УДП: «Капітан Жидков» у 2017 році [5, с. 54], рівно через рік було проведено випробування на однотипному судні «Механік Сінілов» із подібними режимами навантаження двигунів, де зниження шкідливих викидів зафіксовано лише на рівні попереднього судна [6, с. 54].

Проведені випробування різного автотранспорту в Україні й за кордоном підтверджують стабільність зниження шкідливих викидів у відпрацьованих газах та економію палива. Фіналом значущого досягнення стали результати випробувань каталізатора Дунайським інститутом НУ «ОМА» на рибальському сейнері індійської компанії в Індійському океані, які мали чистого ходового часу 12,5 діб і забезпечили стабільну економію палива 17,5% з фіксацією результатів міжнародним аудитором компанії «Enggsol Engineering India» з видачею українській

стороні підтверджуючого сертифіката, що послужило просуванню паливного каталізатора на ринок Індії [7, р. 1].

Дунайським інститутом НУ «ОМА» наприкінці 2020 року узагальнено весь досвід спільної роботи щодо зниження шкідливих викидів в атмосферу з використанням паливних каталізаторів НВФ «Еко-Авто-Титан» [8, с. 38].

За роботою інституту з пильною увагою спостерігала Міжнародна дунайська комісія, яка двічі на засіданнях у 2016, 2020 роках розглядала питання щодо використання каталізатора на річкових судах, які працюють на внутрішніх річках ЄС [9, с. 11].

Розширене спільне засідання Міжнародної дунайської комісії та європейських судовласників за участю міжнародних екологічних інститутів і громадських організацій підготувало програму поетапного зниження шкідливих викидів в атмосферу з річкових суден. Програма включає конкретні заходи з декорбонізації викидів, мета – зниження середньої температури планети [10, с. 32].

Екологічні сучасні вимоги останніми роками визначили масштабний перехід світового транспорту на газове паливо різних марок, але здебільшого використовується природний газ – метан, пропан-бутан, етан як у зрідженому, так і в компримованому стані з тиском 220 бар. Українське дунайське пароплавство практично весь свій флот готувало перевести на скраплений метан до 2023 року. Це річкові судна, які працюють на ділянці річки Дунай, що охоплює 8 країн із довжиною судноплавства в 2230 км, які повинні мати заправні станції та сервісне обслуговування, але це питання ще повністю не вирішене низкою країн Придунайських країн, що буде стримуючим фактором щодо використання нових технологій річковим флотом. Зберігання рідкого метану з температурою  $-162^{\circ}\text{C}$  у судових криотанках вимагатиме значного переобладнання та фінансових витрат, не кажучи вже про модернізацію судових двигунів під використання метану.

Перехід на газове паливо не усуває основну проблему, пов'язану з викидами парникового газу  $\text{CO}_2$  (діоксиду вуглецю). За низкою оцінок Державного комітету зі статистики РФ, частка викидів  $\text{CO}_2$  у 2019 р. від спалювання природного газу в загальному обсязі становила 24,7%. Одна тонна умовного газу при спалюванні викидає в атмосферу в еквіваленті 1,603 т  $\text{CO}_2$ , дизельне паливо викидає в атмосферу 2,172 т  $\text{CO}_2$ . Цей показник повністю переопреділяє перспективу використання газу в теплових двигунах світового транспорту. Виходячи з вищевикладеного, керівництво ТОВ УДП змінило своє рішення та підписало протокол намірів з ANGLO-BELGIAM CORPORATION ABC щодо встановлення двигунів на штовхачі-буксири відповідні до EURO STAGE V щодо зниження шкідливих викидів в атмосферу. Двигуни компанії ABC здатні працювати на водні та рідкому паливі; переобладнання відбуватиметься на Кілійському суднобудівному-судноремонтному заводі. Сам проєкт оцінюється у 90 млн. євро [11, с. 12].

Невипадково на засіданні комітету при ООН у 2020 році зроблено зауваження, що морський і річковий флот постійно збільшує частку викидів парникового газу, це пов'язано зі збільшенням морських і річкових перевезень, з нарощуванням кількості суден із двигунами підвищеної потужності [12, с. 5].

Основною альтернативою всім видам палива, що використовується на транспорті, є водень. Водень користується достатнім попитом у Європі й у всьому

світі. Його можна використовувати як сировину, паливо або енергоносіє і сходища, а також безліч можливих застосувань у промисловості, транспорті, енергетиці та будівництві. Що важливо, він не виділяє  $\text{CO}_2$  і майже не забруднює повітря при його використанні. Таким чином, він пропонує рішення для декарбонізації промислових процесів і секторів економіки, у яких скорочення викидів вуглецю є невідкладним і важкодоступним. Усе це робить водень необхідним для підтримки зобов'язань ЄС щодо досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року та глобальних зусиль щодо реалізації Паризької угоди, прагнучи нульового забруднення [13, с. 64]. Нові напрями науки у виробництві водню пов'язані з атомною енергетикою. Відомо, що при подальшому нагріванні перегрітої водяної пари до температури  $3000\text{--}3500^\circ\text{C}$  ми отримуємо гідроплазму, що складається з водню та кисню, зрозуміло, що подібна технологія виробництва водню в промисловому виробництві буде вкрай нерентабельною. У зв'язку з цим розроблена нова ядерна технологія з інтегрованим реактором на розплавлених солях компанії Terrestrial, це реактор четвертого покоління IMSR, який працює на низькозбагаченому 235 урані з коефіцієнтом корисної дії 50%. Реактор інтегрований для виробництва водню за технологією SRNL Savannah River National Laboratory з гібридної сірки. Ключовим етапом реакції є електрохімічне розщеплення води з використанням деполаризованого діоксиду сірки електролізера [14, с. 22]. Виробництво водню із застосуванням цієї технології обходиться за собівартістю в 1,6 \$ за 1 л при  $t\ 800^\circ\text{C}$ . Пріоритетність технології SRNL незаперечна й може бути з успіхом застосована для широкого виробництва водню, але останнім часом з'явилися нові наукові заперечення не на користь використання водню в сучасній енергетиці.

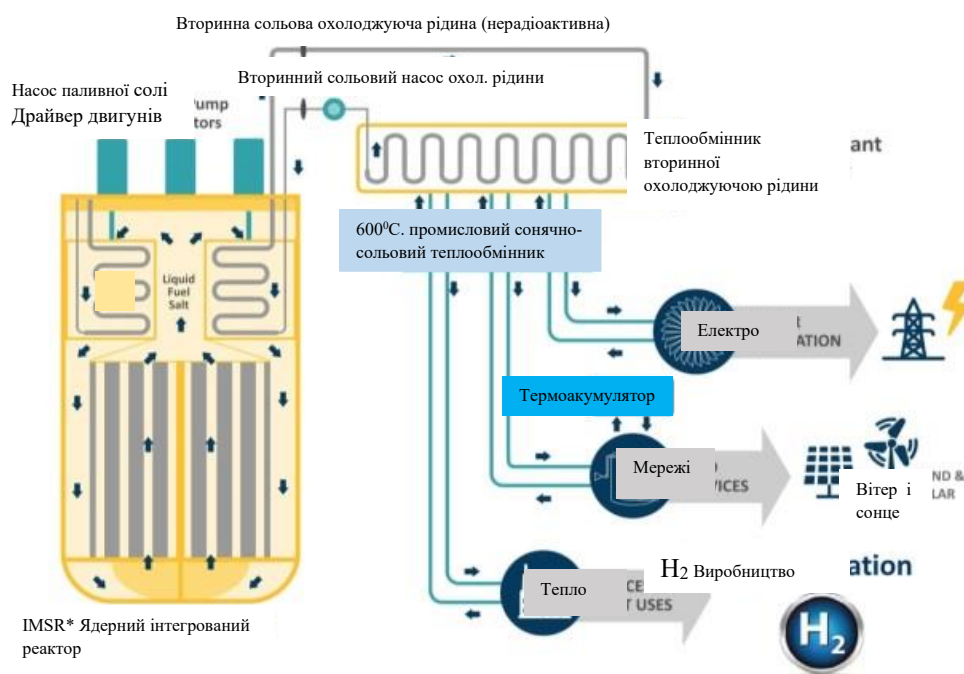


Рис. 4. Інтеграція виробництва водню з інтегрованим реактором на розплавлених солях IMRS

На жаль, при спалюванні водню останнім часом зіткнулися з проблемою, яка пов'язана з викидами в атмосферу закису азоту  $N_2O$  з потенціалом глобального потепління ПГП, що дорівнює 298, що у 298 разів перевищує ПГП вуглекислого газу [15].

**Висновки.** У статті розкрито й досліджено основні напрями декарбонізації викидів в атмосферу при спалюванні різних видів палива, показано певний обсяг науково-дослідної роботи авторів статті за програмою Дунайського інституту НУ «ОМА» та НВФ «Еко-Авто-Титан», Україна. Розкрито суттєву нестачу спалювання водню за значного збільшення викидів в атмосферу закису азоту  $N_2O$ , який може бути локалізований із застосуванням ядерної енергетики на Світовому морському флоті з використанням парових турбін, а також на теплових та електричних станціях. Автомобільний і залізничний транспорт доцільно перевести на електроенергію з високоемними акумуляторами.

Водень як основне паливо сучасної енергетики може успішно використовуватися за умови надійного відділення закису азоту в абсорбері. Сучасні абсорбери дають змогу до 90% уловлювати закис азоту з продуктів згоряння палива, конструкційно вони поділяються на два типи: поверхневі та барботажні, останні успішно застосовуються на морському флоті у вигляді скрубєрів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Данилян А.Г., Маслов І.З., Тірон-Воробйова Н.Б. Екологія та економія дизельного палива в науковому огляді нових технологій його спалювання. *Transport Development*. 2020. № 2(7). С. 86–98.
2. Данилян А.Г., Залож В.І., Руденко М.І. Створення нових напрямів зниження шкідливих викидів у газах двигунів внутрішнього згоряння. *Вісник ОНМУ*. 2017. № 2 (51). 10 с.
3. Данилян А.Г. Програма випробувань паливного каталізатора на портовому буксирі Портовий-22. ДІ НУ «ОМА». Ізмаїл, 2016. 12 с.
4. Програма «Дизель-РК» – сервер МДУ ім. М. Баумана. 2017. 1 тр.
5. Звіт про проведення випробувань на теплоході «Капітан Жидков» / Інститут екології та енергозбереження. Київ, 2017. 54 с.
6. Звіт про проведення випробувань на теплоході «Механік Сінілов» / Інститут екології та енергозбереження. Київ, 2018. 54 с.
7. Conformity test certificate, company Enggsol Engineering India. 2019. 1 р.
8. Данилян А.Г. Звіт про науково-дослідну роботу з випробування каталізатора паливного НВФ «Еко-Авто-Титан», Україна / Дунайський НУ «ОМА». Ізмаїл, 2020. 32 с.
9. Матеріали засідання Міжнародної Дунайської комісії щодо впровадження паливного каталізатора «Еко-Авто-Титан», Україна на річкові судна. Будапешт, 2016. 11 с.
10. Засідання робочої групи Дунайської комісії з технічних питань (12–15 жовтня 2021 р.): Розділ II.3 попереднього порядку денного: «Модернізація флоту та заходи щодо скорочення забруднення повітря від внутрішнього судноплавства». Будапешт, 2021. 32 с.

11. Протокол засідання Ради УДП про модернізацію річкового флоту (34 буксира-штовхача) із заміною двигунів компанії ABC на Кілійському суднобудівному-судноремонтному заводі. Ізмаїл, 2021. 12 с.
12. Морському транспорту настав час включитися в боротьбу зі зміною клімату, вважають в ООН. Женева, 2019. 5 с. URL: [www.news.un.org](http://www.news.un.org) (дата звернення: 26.09.2021).
13. Аналітичний документ Європейський зелений курс. Формування майбутнього східного партнерства / Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство та навколишнє середовище». Київ, 2020. 64 с.
14. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водень в енергетиці / Уральський університет. Єкатеринбург, 2014. 229 с.
15. Гавриленко Г. Водневі сюрпризи. Київ, 2021. 8 с.

#### REFERENCES

1. Danylyan A.H., Maslov I.Z., Tiron-Vorobsova N.B. (2020). Ecology and economy of diesel fuel in the scientific review of new technologies of its combustion [Ekolohiya ta ekonomiya dyzel'noho palyva v naukovomu ohlyadi novykh tekhnolohiy yoho spalyuvannya]. *Transport Development*, No 2(7), 86–98 [in Ukrainian].
2. Danylyan A.H., Zalozh V.I., Rudenko M.I. (2017). Creation of new directions for reducing harmful emissions in exhaust gases of internal combustion engines [Sozdaniye novykh napravleniy snizheniya vrednykh vybrosov v vykhlopnykh gazakh dvigateley vnutrennego sgoraniya]. *ONMU Bulletin*, No 2 (51), 9 [in Russian].
3. Danylyan A.H. Fuel catalyst test program on the port tug Portovy-22. DI NU «OMA» [Prohrama vyprobuvan' palyvnoho katalizatora na portovomu buksyri Portovy-22. DI NU «OMA»]. Izmail, March 2016, 12 [in Ukrainian].
4. The program «Diesel-RK» – MSU server. M. Bauman. 2017, 1p [in Ukrainian].
5. Test report on the ship «Captain Zhidkov», Institute of Ecology and Energy Conservation, Kyiv. 2017, 54 [in Ukrainian].
6. Test report on the ship «Mechanic Sinilov», Institute of Ecology and Energy Conservation, Kyiv. 2018, 54 [in Ukrainian].
7. Conformity test certificate, company Enggsol Engineering India. 2019, 1 [in English].
8. Danylyan A.H. (2020). Report on research work on testing the fuel catalyst of NMF «Eco-Auto-Titan», Ukraine [Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po ispytaniyu toplivnogo katalizatora NPF «Eko-Avto-Titan», Ukraina]. *Izd-vo Dunayskiy institut NU «OMA» Danube Institute NU «OMA»*, 38 [in Russian].
9. Proceedings of the meeting of the International Danube Commission on the introduction of fuel catalyst «Eco-Auto-Titan», Ukraine on river vessels. Budapest, 2016, 11 [in Ukrainian].

10. Meeting of the working group of the Danube Commission on Technical Issues (October 12–15, 2021): Section II.3 of the Preliminary Agenda: «Fleet Modernization and Measures to Reduce Air Pollution from Inland Navigation». Budapest, 2021, 32 [in Ukrainian].
11. Minutes of the meeting of the UDP Council on the modernization of the river fleet (34 tugboats) with the replacement of ABC engines at the Kiliya Shipbuilding and Shiprepair Plant. Ishmael, July 22, 2021. 12 [in Ukrainian].
12. www.news.un.org «It's time for sea transport to get involved in the fight against climate change, according to the UN». [electronic resource] [«Morskomu transportu pora vklyuchit'sya v bor'bu s izmeneniyem klimata, schitayut v OON». [elektronnyy resurs]] UN, Geneva. 2019, 5 (09/26/2021) [in Russian].
13. Policy paper European Green Deal. (2020). Formation of the future Eastern partnership [Analiticheskiy dokument Yevropeyskiy zelonyy kurs. Formirovaniye budushchego vostochnogo partnerstva]. Resource and Analytical Center «Society and the Environment», 64 [in Russian].
14. Radchenko R.V., Mokrushin A.S., Tyulpa V.V. (2014). Hydrogen in power engineering [Vodorod v jenergetike]. Ural University, Yekaterinburg, 229 [in Russian].
15. Georgy Gavrilenko (2021). Hydrogen surprises [Vodorodnyye syurprizy]. Energy business, Kiev, 8 [in Russian].

## АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК ПІД ЧАС РОЗРИВУ АВТОЦИСТЕРНИ

О.Т. Чернова<sup>1</sup>, Г.М. Кривенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, завідувач кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-6424-7569

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, доцент кафедри техногенно-екологічної безпеки та охорони праці,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-5188-3032

### Анотація

**Вступ.** Автомобільний транспорт – один із найпоширеніших і найдо-ступніших видів транспорту в нашій країні. Для його нормальної та надійної роботи потрібне якісне паливо. Скраплений вуглеводневий газ є найдешев-шим доступним джерелом палива. Сьогодні автогазозаправні станції відне-сені до об'єктів підвищеної небезпеки. Тому виникла потреба в проведенні досліджень впливу чинників, що призводять до аварійних ситуацій. **Мета.** Метою роботи є аналіз небезпек під час розриву автоцистерни з урахуванням комплексного дослідження чинників, що впливають на них. Для досягнення поставленої мети сформульовані такі завдання: аналіз чинників, які впли-вають на виникнення аварійної ситуації під час проведення технологічних операцій з автоцистерною; кількісна оцінка параметрів ударної хвилі при вибухах паливно-повітряних сумішей. **Результати.** Проведено аналіз чинни-ків, що призводять до руйнування або порушення герметичності цистерни: підвищення тиску пари скрапленого вуглеводневого газу в цистерні до кри-тичного, механічний, корозійний знос і людський чинник. Рекомендовано пере-лік заходів для запобігання, локалізації аварії. Проаналізовано чинники, що пов'язані із залповим викидом великої кількості скраплених вуглеводневих газів. Проведено оцінку параметрів ударної хвилі та її наслідків у разі дорож-ньо-транспортної пригоди з автоцистерною зі скрапленим газом. За резуль-татами кількісної оцінки параметрів ударної хвилі визначено ймовірність ураження з використанням пробіт-функцій. **Висновки.** Наведені результати досліджень можуть використовуватися під час вирішення питань безпеч-ної експлуатації об'єктів, пов'язаних зі скрапленими вуглеводневими газами. Це дасть змогу визначити потенційні загрози при вибухах і пожежах на об'єктах автогазозаправних станцій і розробити заходи щодо запобігання виникненню шкідливих впливів на довкілля.

**Ключові слова:** скраплений вуглеводневий газ, автогазозаправна станція, ударна хвиля, надлишковий тиск, імпульс фази стиснення, чинники.

## DANGER ANALYSIS DURING A TANK BREAK

O.T. Chernova<sup>1</sup>, G.M. Kryvenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Technology, Associate Professor, Head of the Department Gas and Oil Pipelines and Storage Facilities,

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine,*

*ORCID ID: 0000-0002-6424-7569*

<sup>2</sup>PhD in Technology, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Technogenic, Environmental Technology and Labor Safety”,

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine,*

*ORCID ID: 0000-0001-5188-3032*

### **Summary**

**Introduction.** Road transport is one of the most common and affordable modes of transport in our country. High-quality fuel is required for its normal and reliable operation. Liquefied petroleum gas is the cheapest available source of fuel. Nowadays, gas stations are classified as high-risk facilities. Therefore, there is a need to conduct research on the impact of factors that lead to emergencies. **Purpose.** The purpose of this work is to analyze the hazards during the rupture of the tanker, taking into account a comprehensive study of the factors affecting them. To achieve this goal, the following research objectives were formulated: analysis of factors influencing the occurrence of an emergency situation during technological operations with a tank truck; quantitative assessment of shock wave parameters during explosions of fuel-air mixtures. **Results.** The analysis of the factors leading to destruction or disturbance of tightness of the tank was carried out: increase of steam pressure of the liquefied petroleum gas in the tank to critical value mechanical, corrosion wear and the human factor. The list of measures for the prevention, localization of accident was recommended. Factors related to the volley release of large amounts of liquefied petroleum gases were analyzed. The shock wave parameters and their consequences in the event of a traffic accident with a liquefied gas tanker were assessed. Based on the results of the quantitative evaluation of the shock wave parameters, the probability of damage was determined using probit functions. **Conclusions.** These research results can be used to address the safe operation of liquefied petroleum gas facilities. This will make it possible to identify potential threats from explosions and fires at gas stations and to develop measures to prevent harmful effects on the environment.

**Key words:** liquefied petroleum gas, gas station, shock wave, gage pressure, compression phase momentum, factors.

**Вступ.** Увійшовши в еру передових технологій, людина вже не уявляє свого існування без користування технікою, яка значно полегшує умови життя та праці. Якісна робота транспорту може бути здійснена тільки при використанні якісного палива. У наш час найпоширенішими видами палива є бензин, дизельне паливо, мазут та інші альтернативні види енергії, але особливе місце займає скраплений вуглеводневий газ, що є найбільш доступним нині.

Потрібно відмітити, що кожна автогазозаправна станція (далі – АГЗС) є джерелом викиду забруднюючих речовин. При цьому за останні роки суттєво

збільшилася кількість АГЗС, розташованих у приміській смузі, житлових кварталах, безпосередньо біля великих торгових і розважальних комплексів. Кількість АГЗС, що постійно зростає, а також об'єми транспортування автоцистернами газового палива передбачають необхідність детального підходу до вивчення їх впливу на навколишнє середовище. Це дасть змогу спрогнозувати, які чинники, що пов'язані з виникненням аварійних ситуацій, спричиняють негативний вплив на довкілля та зможуть призвести до травмування й загибелі людей. Отже, дослідження чинників, що призводять до виникнення аварійних ситуацій, а також запобігання наслідкам і прогнозування наслідків аварій є актуальним.

**Постановка проблеми.** Сьогодні АГЗС віднесені до об'єктів підвищеної небезпеки [1], адже зберігання скраплених вуглеводневих газів, зливання з автомобільних цистерн і заповнення балонів є небезпечними. Недотримання вимог безпечної експлуатації може призвести до виникнення вибухів і пожеж, які є причиною забруднення навколишнього середовища, травм і загибелі людей.

Варто звернути увагу, що під час аварії із цистерною можливий залповий викид великої кількості скраплених вуглеводневих газів, що є особливо небезпечним. Тому необхідно провести детальний аналіз, які чинники впливають на виникнення пожеж, вибухів, пов'язаних із технологічним середовищем – скрапленим вуглеводневим газом, у випадку виникнення аварійних ситуацій. Це дасть змогу провести необхідні заходи та зменшити ймовірність виникнення небезпечних ситуацій. У цьому полягає практичне значення авторського доробку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато наукових робіт присвячено проблемі забезпечення безпеки, серед яких варто відмітити праці та дослідження Б.С. Рачевського, І.І. Мазура, О.М. Іванцова, Й.Й. Білинського, В.Ф. Стоєцького й інших [2; 3; 4; 5].

Так, у працях [6; 7] зазначено, що в разі відмови потенційно небезпечних об'єктів ударна хвиля є одним із чинників, що уражають, але недостатньо оцінюються й аналізуються небезпеки, пов'язані зі специфікою технологічних операцій зі скрапленими вуглеводневими газами. Варто звернути увагу, що залповий викид великої кількості скраплених вуглеводневих газів є основною небезпекою під час аварії із цистерною [8]. Тому потрібно проаналізувати вплив чинників на виникнення ударної хвилі у випадку аварій, що може призвести до значних збитків.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є аналіз небезпек під час розриву автоцистерни з урахуванням комплексного дослідження чинників, що впливають на них. Для досягнення поставленої мети сформульовані такі завдання досліджень:

- аналіз чинників, які впливають на виникнення аварійної ситуації під час проведення технологічних операцій з автоцистерною;
- кількісна оцінка основних параметрів ударної хвилі при вибухах паливно-повітряних сумішей.

Новизна полягає в комплексному дослідженні чинників, що впливають на формування ударної хвилі при вибухах. Результати наукової роботи дадуть змогу вчасно розробити заходи щодо запобігання виникненню шкідливих впливів на довкілля, визначивши потенційні загрози при вибухах і пожежах на об'єктах АГЗС.

**Виклад основного матеріалу.** АГЗС призначена для приймання скрапленого вуглеводневого газу з автомобільних цистерн, його зберігання та відпуску. На вузлу приймання відбувається зливання скрапленого газу з автомобільних цистерн у стаціонарні резервуари. Проведемо аналіз можливих аварійних ситуацій і їх наслідків на прикладі приймання скрапленого вуглеводневого газу із цистерн. Небезпеки на АГЗС зумовлені наявністю усередині обладнання і трубопроводів технологічного середовища, що характеризується більше вибухопожежонебезпечними властивостями, ніж токсичними [9].

Технологічні операції зі скрапленими вуглеводневими газами є небезпечними, оскільки є висока ймовірність виникнення вибухів і пожеж, що призводять до забруднення навколишнього середовища, травм і загибелі людей, завдають значних матеріальних збитків, негативно впливають на здоров'я населення. Проаналізуємо, які чинники впливають на виникнення аварійної ситуації під час проведення технологічних операцій з автоцистерною. Одним із основних чинників, що призводить до руйнування або порушення герметичності цистерни, є підвищення тиску пари скрапленого вуглеводневого газу в цистерні до критичного. Таке підвищення тиску може відбуватися за підвищення температури в цистерні. Стан внутрішньої поверхні резервуара автоцистерни характеризується такими чинниками: механічним і корозійним зносом. Значну роль відіграє й людський чинник, адже помилки обслуговуючого персоналу можуть призвести до транспортної аварії з руйнуванням резервуара цистерни, вибуху або пожежі. Аварії транспортного характеру, що можуть призвести до порушення герметичності цистерни й витікання скрапленого вуглеводневого газу, також залежать від зовнішніх чинників.

Для запобігання, локалізації аварії потрібно проводити такі заходи:

- дотримання вимог безпечної експлуатації цистерни;
- у випадку підвищення тиску в цистерні до критичного терміново вжити заходи щодо охолодження;
- моніторинг стану внутрішньої поверхні резервуара автоцистерни з використанням необхідних методів контролю;
- захист території від небезпечної дії атмосферних чинників (блискавкозахист);
- періодична перевірка знань персоналу, навчання і стажування нових працівників;
- проведення навчальних тренінгів.

У випадку виливу скрапленого вуглеводневого газу його локалізація не передбачена. Зменшити швидкість випаровування вилитого скрапленого вуглеводневого газу, а також локалізувати утворену вибухонебезпечну хмару є технічно неможливо. Вищенаведене підкреслює, що недотримання безпечних умов експлуатації цистерн може призвести до значного забруднення довкілля, негативного впливу на здоров'я населення.

Проведемо оцінку параметрів ударної хвилі та її наслідків у разі дорожньо-транспортної пригоди з автоцистерною зі скрапленим газом. Для кількісної оцінки параметрів повітряної ударної хвилі при вибухах паливно-повітряних сумішей (ППС) розглядається часткова розгерметизація або повне руйнування обладнання, що містить горючу речовину в газоподібній або рідкій фазі. Припустимо, що в результаті аварії стався розрив автоцистерни зі скрапленим вуглеводневим газом, тобто повне руйнування.

Оскільки надлишковий тиск повітряної ударної хвилі й імпульс фази стиснення є основними чинниками, що впливають на ймовірність руйнувань промислових будівель і травмування повітряною хвилею людини, то розглянемо їх вплив при повному руйнуванні автоцистерни.

Визначимо параметри повітряної ударної хвилі, а саме: надлишковий тиск та імпульс фази стиснення на відстані 100 м від місця аварії згідно з методикою, наведеною в праці [10]. Для оцінки можливих наслідків приймаємо, що в результаті викиду газу в межах займання вилитося все паливо, що знаходилося в цистерні. Займання хмари призвело до вибуху. Маса горючого газу  $M_z=10$  т, питома теплота згоряння палива  $q_z=4,64 \cdot 10^7$  Дж/кг; середня концентрація газу  $c_z=150$  г/м<sup>3</sup>, стехіометрична концентрація речовини в суміші з повітрям  $c_{cm}=0,077$  кг/м<sup>3</sup>; швидкість полум'я  $v_z=200$  м/с; швидкість звуку в повітрі  $C_0=340$  м/с; ступінь розширення продуктів згоряння  $\sigma=7$ .

Надлишковий тиск повітряної ударної хвилі визначається за залежністю:

$$\Delta p = p_x \cdot p_0, \quad (1)$$

де  $p_x$  – безрозмірний тиск;

$p_0$  – атмосферний тиск, Па.

Імпульс фази стиснення дорівнює:

$$I = I_x \cdot (p_0)^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0 \quad (2)$$

де  $I_x$  – безрозмірний імпульс фази стиснення;

$E$  – ефективний енергетичний запас паливно-повітряної суміші, Дж;

$C_0$  – швидкість звуку в повітрі, м/с.

Безрозмірний тиск  $p_x = \min(p_{x_1}, p_{x_2})$ .

$$p_{x_1} = \left( \frac{v_z^2}{C_0^2} \right) \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left( \frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right), \quad (3)$$

де  $v_z$  – швидкість полум'я, м/с;

$\sigma$  – ступінь розширення продуктів згоряння;

$R_x$  – безрозмірна відстань від центра хмари ППС.

$$p_{x_2} = \exp(-1,124 - 1,66 \ln R_x + 0,26 (\ln R_x)^2). \quad (4)$$

Безрозмірний імпульс фази стиснення:

$$I_x = \min(I_{x_1}, I_{x_2}). \quad (5)$$

$$I_{x_1} = \left( \frac{v_z}{C_0} \right) \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left( 1 - 0,4 \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left( \frac{v_z}{C_0} \right) \right) \cdot \left( \frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right). \quad (6)$$

$$I_{x_2} = \exp(-3,4217 - 0,898 \ln R_x - 0,0096 (\ln R_x)^2). \quad (7)$$

Ефективний енергетичний запас паливно-повітряної суміші – це один із основних параметрів вибуху ППС. Величина ефективного енергетичного запасу подвоюється при розрахунку параметрів вибуху хмари ППС, що лежить на поверхні землі.

Ефективний енергетичний запас паливно-повітряної суміші при  $c_2 > c_{cm}$  визначається за такою залежністю:

$$E = 2 \cdot M_2 \cdot q_2 \cdot c_{cm} / c_2, \quad (8)$$

де  $M_2$  – маса речовини, що горить, у хмарі, кг;

$q_2$  – питома теплота згоряння палива, кДж/кг;

$c_{cm}$  – стехіометрична концентрація речовини в суміші з повітрям, кг/м<sup>3</sup>;

$c_2$  – концентрація газу, що горить у хмарі, кг/м<sup>3</sup>.

Для заданої відстані  $r = 100$  м безрозмірна відстань  $R_x$  від центра хмари ППС:

$$R_x = r / (E / p_0)^{1/3}, \quad (9)$$

де  $r$  – відстань від місця аварії.

Знайшовши безрозмірні величин  $P_x$  і  $I_x$ , обчислюємо за залежностями (1) і (2) надлишковий тиск та імпульс фази стиснення повітряної ударної хвилі на відстані 100 м від місця аварії при швидкості горіння 200 м/с.

За результатами розрахунків надлишковий тиск повітряної ударної хвилі  $\Delta p = 2,9 \cdot 10^4$  Па. Імпульс фази стиснення  $I = 2,05 \cdot 10^4$  Па·с.

Визначимо ймовірність нанесення збитків довкіллю та травмування людей за допомогою пробіт-функцій. При цьому розглянемо ймовірність пошкоджень стін промислових будівель, що підлягають їх відновленню без їх знесення, і ймовірність руйнувань промислових будівель, під час яких будівлі підлягають знесенню. Визначимо ймовірність травмування повітряною хвилею людини, а саме: імовірність втрати людьми орієнтації в просторі; розриву барабанних перетинок у людей і відкидання людей хвилею тиску. Отримано такі значення пробіт-функцій:  $Pr_1 = 6,77$ ,  $Pr_2 = 4,44$ ,  $Pr_3 = -1,90$ ,  $Pr_4 = 3,06$ ,  $Pr_5 = -2,82$ .

За розрахованими величинами пробіт-функції, згідно з таблицею, наведеною в праці [10], визначено ймовірність ураження. Імовірність пошкоджень промислових будівель становить 90%, руйнувань промислових будівель – 28%, розриву барабанних перетинок у людей – 2,5%. Імовірності інших критеріїв ураження близькі до нуля.

**Висновки.** Проведено аналіз чинників, які впливають на виникнення аварій, пов'язаних із залповим викидом великої кількості скраплених вуглеводневих газів. За результатами кількісної оцінки параметрів ударної хвилі при вибухах паливно-повітряних сумішей визначено з використанням пробіт-функцій імовірність збитків. Наведені результати досліджень можуть використовуватися під час вирішення питань безпечної експлуатації об'єктів, пов'язаних зі скрапленими вуглеводневими газами. Це дасть змогу визначити потенційні загрози при вибухах і пожежах на об'єктах автогазозаправних станцій і розробити заходи щодо запобігання виникненню шкідливих впливів на довкілля. Подальші дослідження передбачають комплексну оцінку технологічних утрат скраплених вуглеводневих газів під час їх зберігання на автогазозаправних станціях.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про об'єкти підвищеної небезпеки : Закон України від 18.01.2001 № 2245-III / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text>.

2. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. Москва : Нефть и газ, 2009. 640 с.
3. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. Москва : ИЦ «Елима», 2004. 1104 с.
4. Скрапленый газ в энергетическом комплексе Украины / Й.Й. Білінський, О.А. Гордієнко, Т.С. Тітов, О.М. Сахно. *Вісник ВПІ*. 2018. № 4. С. 54–60.
5. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В. Прогнозування наслідків аварій на потенційно небезпечних виробничих об'єктах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2013. № 43. С. 114–122.
6. Михайлюк О.П. Проблеми забезпечення пожежовибухонебезпеки автозаправних станцій. *Проблеми пожежної безпеки* : збірник наукових трудов НУЦЗУ. 2012. Вып. 32. С. 149–154.
7. Тарнавський А.Б. Оцінка уражаючих факторів при вибуху кисневого балона. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 9. С. 174–179.
8. Kryvenko G.M. Forecasting of Danger during a Tank Rapture. *Перспективні напрями наукових досліджень* : матеріали LV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Львів, 24 листопада 2020 року). Львів, 2020. Ч. 2. С. 72–75.
9. Чернова О.Т., Кривенко Г.М. Аналіз небезпек на газонаповнювальних пунктах. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2020. Вип. 4 (31). С. 120–124.
10. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей : руководство по безопасности. Москва, 2015. Вып. 9. Сер. 27. 44 с.

#### REFERENCES

1. On high-risk objects [Pro obiekty pidvyshchenoi nebezpeky]. Law of Ukraine of January 18, 2001 № 2245-III / The Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text> [in Ukrainian].
2. Rachevskiy B. S.(2009). Liquefied petroleum gases [Szhizhennyye uglevodorodnyie gazyi]. M. Oil and Gas. 640 [in Russian].
3. Mazur I. I., Ivantsov O. M. (2004). Safety of pipeline systems. [Bezopasnost truboprovodnyih sistem]. 1104 [in Russian].
4. Bilynskiy Y. Y., Hordiienko O. A., Titov T. S., Sakhno O. M. (2018). *Liquefied gas in the energy complex of Ukraine* [Skraplenyi haz v enerhetychnomu kompleksi Ukrainy]. Bulletin of VPI. 4. 54–60 [in Ukrainian].
5. Stoietskiy V. F., Dranyshnikov L. V. (2013). *Forecasting the consequences of accidents at potentially dangerous production facilities*. [Prohnozuvannia naslidkiv avarii na potentsiino nebezpechnykh vyrobnychykh ob'ektakh]. Collection of scientific works of the National Mining University. 43. 114–122 [in Ukrainian].
6. Mykhailiuk O. P. (2012) *Problems of providing fire and explosion danger of gas stations*. [Problemy zabezpechennia pozhezhovybukhonebezpeky

- avtozapravnykh stantsii]. Collection of scientific works of NUTSZU Problems of fire safety. 32. 149–154 [in Ukrainian].
7. Tarnavskyi A. B. (2014). *Assessment of damaging factors in the explosion of an oxygen cylinder* [Otsinka urazhaiuchykh faktoriv pry vybukhu kysnevoho balona]. Bulletin of Lviv State University of Life Safety. 9. 174–179 [in Ukrainian].
  8. Kryvenko G. M. (2020). *Forecasting of Danger during a Tank Repture*. Promising areas of research, LV International scientific-practical Internet conference. Lviv. 2. 72–75.
  9. Chernova O. T., Kryvenko G. M. (2020). *Hazard Analysis at Gas Filling Stations*. [Analiz nebezpek na hazonapovniuvalnykh punktakh]. Ecological sciences: scientific and practical journal. 4 (31), 120–124 [in Ukrainian].
  10. *Methods for Assessing the Consequences of Emergency Explosions of Fuel-Air Mixtures*. (2015). [Metodika otsenki posledstviy avariynyih vzryivov toplivno-vozdushnyih smesey]. Safety Guide. 9(27). 44 [in Russian].

Наукове видання

## РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Випуск 4(11), 2021

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською  
та англійською мовами*

Видається з жовтня 2016 р.

Формат 70×108/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 12,08.  
Замов. № 1221/514. Наклад 200 прим.

---

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

Scientific publication

# TRANSPORT DEVELOPMENT

**Scientific journal**

**Issue 4(11), 2021**

Founded by Odessa National Maritime University

*In Ukrainian, Russian and English*

Since October 2016

Format 70×108/16. Times New Roman Font.  
Offset. Digital printing. Conventional printed sheet 12,08.  
Order No 1221/514. Edition of 200 copies.

---

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