

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

ВИПУСК 1(8), 2021

Заснований у жовтні 2016 року



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1(8)
2021

Заснований у жовтні 2016 року

Виходить 4 рази на рік

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

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

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

Редакційна колегія:

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

Члени редакційної колегії:

д.т.н., проф. *Варбанець Р.А.*, ОНМУ;
д.т.н., проф. *Дубровський М.П.*, ОНМУ;
д.т.н., проф. *Єзупов К.В.*, ОНМУ;
д.е.н., проф. *Постан М.Я.*, ОНМУ;
д.е.н., проф. *Ланкіна І.О.*, ОНМУ;

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

Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеського національного морського університету
(протокол № 7 від 24 лютого 2021 р.)

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

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

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ODESSA
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY

TRANSPORT DEVELOPMENT

Scientific journal

ISSUE 1(8), 2021

Founded in October 2016



Publishing House
"Helvetica"
2021

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

**№ 1(8)
2021**

Founded in October 2016

Frequency: four times a year

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

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

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

Editorial Board:

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

Editorial Board Members:

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

Recommended for printing by the Academic Council of Odessa National Maritime University
(Minutes No 7 dated February 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*
developed by the Polish company *Plagiat.pl*.

ISSN 2616-7360

© Odessa National Maritime University, 2021

З М І С Т

ЕКОНОМІКА

- N.O. Kovalenko, N.V. Stoliarchuk**
Business plan as a tool of airline management in the condition of a pandemic crisis.....7

МЕНЕДЖМЕНТ

- О.І. Петренко, М.О. Потаповська**
Теоретичні підходи до визначення понять «кластер»,
«транспортно-логістичний кластер», «портовий кластер».....15
- О.Г. Харчук, Н.Г. Бишевець**
Якість обслуговування пасажирів на залізничному транспорті.....26

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- О.В. Фомін, А.О. Ловська**
Визначення динамічної навантаженості вагонів із пружними елементами
в несучих конструкціях.....35

РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

- Є.В. Білоусов, В.П. Савчук, Г.Я. Тулученко**
Аналітичний опис індикаторних діаграм.....47
- Y.V. Zagorodnia, V.V. Pozdniakova, O.M. Marukhnenko**
Safety of navigation as a factor of increasing the efficiency
of the commercial operation of the ship.....62
- О.Ю. Нестеров, Ю.В. Загородня, С.М. Перепечасв**
Безпека мореплавства з урахуванням особливостей льодової обстановки.....70
- В.О. Проценко, В.О. Настасенко, М.В. Бабій, А.О. Білоконь**
Перспективи вдосконалення важільного механізму рульових машин
плунжерного типу.....78
- В.П. Савчук, Д.О. Зінченко, О.В. Акімов**
Моделювання робочих параметрів мотилевих підшипників
малообертового суднового дизельного двигуна Wartsila RT-flex82C.....91
- С.В. Терлич**
Нові засоби підймання затонулих об'єктів та конструкцій
із використанням рідкого азоту.....103
- О.М. Шумило, О.І. Россомаха, А.В. Шахов**
Удосконалення моделі визначення вартості життєвого циклу судна.....113

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

- М.В. Бабій, О.П. Цьонь, І.М. Кучвара, В.О. Черній**
Підвищення ефективності організації дорожнього руху
на нерегульованому перехресті.....125
- О.О. Немчук, М.А. Верещака, С.П. Онищенко**
Сутність та специфіка інфраструктурних проєктів на водному транспорті.....135

CONTENTS

ECONOMY

- N.O. Kovalenko, N.V. Stoliarchuk**
Business plan as a tool of airline management in the condition of a pandemic crisis.....7

MANAGEMENT

- O.I. Petrenko, M.O. Potapovska**
Theoretical approaches to the definition of “cluster”,
“transport and logistics cluster”, “port cluster”.....15
- O.H. Kharchuk, N.H. Byshevets**
Quality of passenger service on railway transport..... 26

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING

- O.V. Fomin, A.O. Lovska**
Determination of dynamic load of cars with elastic elements
in supporting structures..... 35

RIVER AND SEA TRANSPORT

- Ie.V. Bilousov, V.P. Savchuk, H.Ya. Tuluchenko**
Analytical description of indicator diagrams..... 47
- Y.V. Zagorodnia, V.V. Pozdniakova, O.M. Marukhnenko**
Safety of navigation as a factor of increasing the efficiency
of the commercial operation of the ship.....62
- O.Y. Nesterov, Y.V. Zagorodnia, S.M. Perepechaev**
Safety of navigation allowing for the ice conditions.....70
- V.O. Protsenko, V.O. Nastasenko, M.V. Babii, A.O. Bilokon**
Ram-type steering gear lever mechanism improvement perspectives..... 78
- V.P. Savchuk, D.O. Zinchenko, O.V. Akimov**
Simulation of crankpin bearings operating parameters
of a low-speed marine diesel engine Wartsila RT-flex82C.....91
- S.V. Terlych**
New methods of lifting subscribed objects and structures with the using
of liquid nitrogen.....103
- O.M. Shumylo, O.I. Rossomakha, A.V. Shakhov**
Improvement of the ship life cycle costing model.....113

TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPE)

- M.V. Babii, O.P. Tson, I.M. Kuchvara, V.O. Chernii**
Improving the efficiency of the road organization traffic
at an unregulated crossroads..... 125
- O.O. Nemchuk, N.A. Vereshchaka, S.P. Onyshchenko**
Essence and specificity of infrastructure projects on water transport..... 135

EKOHOMIKA

UDC 338.12.4

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.01>

BUSINESS PLAN AS A TOOL OF AIRLINE MANAGEMENT IN THE CONDITION OF A PANDEMIC CRISIS

N.O. Kovalenko¹, N.V. Stoliarchuk²

¹Ph.D. in Pedagogy, Associate Professor, Associate Professor
at the Department of the Management and Economics,
Flight Academy

of the National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1651-9750

²Senior Lecturer at the Department of the Management and Economics,
Flight Academy

of the National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-1218-388X

Summary

Introduction. *The global Covid-19 pandemic has identified new unpredictable operating conditions for most civil aviation entities. It is established that the majority of representatives of the world aviation business, including Ukraine, have shown unpreparedness and inability to overcome the crisis, avoid bankruptcy and withstand competition. Purpose.* The purpose of the study is to theoretically substantiate the technology of development and use of a business plan as an element of management of Ukrainian airlines in a pandemic crisis. **Results.** It is specified that business planning is a unified mechanism for managing activities in conditions of uncertainty. It is proved that despite the requirements of practice, aspects of the application of business planning as a management element are borrowed, not clearly defined and not adapted to the conditions of Ukrainian airlines in a crisis. Under a market economy, no enterprise can operate profitably without a carefully prepared plan. The experience of organizing business in the field of civil aviation shows that the analysis and planning of the organization is becoming increasingly important due to rapid changes in the operating environment. **Conclusions.** It is proved that the business plan, as the basis of airline management, allows to analyze all elements of the airline, identify factors of negative impact, threats and opportunities, consider alternative actions, predict financial results, which will optimize operation and minimize the impact of the epidemic crisis.

Key words: *airline, adaptive tools, business plan, competitiveness, intercontinental integration, planning.*

**БІЗНЕС-ПЛАН ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ АВІАКОМПАНІЄЮ
В УМОВАХ ПАНДЕМІЧНОЇ КРИЗИ**

Н.О. Коваленко¹, Н.В. Столярчук²

¹к.п.н., доцент, доцент кафедри менеджменту та економіки,
Льотна академія

Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1651-9750

²старший викладач кафедри менеджменту та економіки,
Льотна академія

Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-1218-388X

Анотація

Вступ. Світова пандемія Covid-19 визначила нові непередбачувані умови діяльності для більшості суб'єктів цивільної авіації. Встановлено, що більшість представників світового авіаційного бізнесу, в тому числі України, проявили неготовність та неспроможність подолати кризу, уникнути банкрутства й витримати конкуренцію. **Мета.** Метою дослідження є теоретичне обґрунтування технології розробки і використання бізнес-плану як елементу управління авіакомпаніями України в умовах пандемічної кризи. **Результати.** Конкретизовано, що бізнес-планування є уніфікованим механізмом управління діяльністю в умовах невизначеності. Доведено, що, незважаючи на вимоги практики, аспекти застосування бізнес-планування як елементу управління є запозиченими, чітко не визначеними й не адаптованими до умов діяльності авіакомпаній України в умовах кризи. Досвід організації підприємництва в галузі цивільної авіації свідчить, що аналіз та планування діяльності організації набуває дедалі більшого значення у зв'язку зі швидкими змінами в середовищі функціонування. **Висновки.** Доведено, що бізнес-план як основа управління авіакомпаніями дає змогу проаналізувати всі елементи діяльності авіакомпанії, визначити фактори негативного впливу, загрози та можливості, розглянути альтернативні варіанти дій, спрогнозувати фінансові результати, що дасть змогу оптимізувати функціонування і мінімізувати ступінь впливу епідемічної кризи.

Ключові слова: авіакомпанія, адаптивний інструментарій, бізнес-план, конкурентоспроможність, міжконтинентальна інтеграція, планування.

Introduction and problem statement. The Covid-19 intercontinental pandemic has led to the regulation of civil aviation in unpredictable and harsh conditions. Since February 2020, and especially in the spring, airlines have significantly reduced the number of flights, and some have even stopped flights. Due to quarantine, closures and bans or restrictions on entry, the pandemic crisis has been the deepest for aviation since World War II. In April 2020, the number of flights (compared to April 2019) in the world fell by 80%, and in Europe – by 90% [1; 2].

It is established that the majority of representatives of the world aviation business, including Ukraine, have shown unpreparedness and inability to overcome the crisis, avoid bankruptcy and withstand competition. Only a small proportion of airlines have the ability to operate, most, due to the lack of a clear mechanism for economic analysis,

strategic management of planned activities, suffer from a sharp decline in air traffic, joint operation of international airlines with foreign airlines with significant competition [3].

The decrease in traffic in early June 2020 led to the loss of airlines' share of aircraft fleet due to lack of funds to pay lease payments, losses revealed the inability of companies to operate flights, pay salaries to employees [4].

A generalizing aspect of the identified problems of domestic airlines is the inability to adapt to the requirements of the international aviation market, namely, in the absence of a clear mechanism for economic analysis, planning and strategic management in a crisis. Such shortcomings lead to the airline's lack of a clear line of business in the future, the impossibility of rational use of resources and the attraction of public investment funds in order to improve operating conditions.

Examining the experience of global airlines, it should be noted that the formation and development of a market economy in Ukraine in a pandemic requires fundamentally new approaches to the organization of strategic business management of civil aviation, special attention in this process is occupied by management using a business plan.

Analysis of recent research and publications. A significant number of scientific works, in particular such well-known domestic and foreign scientists as V. Popov [5], N. Danyk [6], O. Yaremenko [7], is devoted to theoretical and methodological aspects of business planning of enterprises. The research of V. Kasyanchyk, E. Olesyuk [3], E. Kosychenko [8] and others is devoted to the criteria of search for improvement of the activity of subjects of civil aviation.

Given Ukraine's desire to integrate into European and global economic structures and the need for domestic airlines to move to global standards of business management, planning and crisis management, research on these issues and areas are becoming particularly relevant.

However, despite the requirements of practice, aspects of business planning as a management tool are borrowed, not clearly defined and not adapted to the conditions of Ukrainian airlines in the crisis, which actualizes the essence of the problem within the management of commercial aviation.

Formulation of the goals of the article. The purpose of the study is to theoretically substantiate the technology of development and use of a business plan as a tool for managing Ukrainian airlines in a global pandemic crisis. The objectives of the study are presented in the substantiation of recommendations on the structure and content of the airline's business plan, which will be used as a planning and working document in a pandemic crisis and uncertainty. The object of study is business planning as a tool for managing aviation companies in a global pandemic crisis. The subject of research is the theoretical principles and guidelines for business planning of enterprises, including civil aviation.

Presenting main material. The dynamics of the global pandemic crisis and tough conditions of competition in the civil aviation market have led to a crisis and the verge of bankruptcy of a significant number of airlines. The study found that only some airlines are able to operate effectively in the above conditions, others do not have effective anti-crisis tools adapted to the specifics of the aviation industry, which would systematically analyze the likelihood of bankruptcy and identify measures to avoid it.

In mid-April, the International Air Transport Association (IATA) published a forecast of total airline losses of \$ 314 billion, a 55% drop in turnover compared to

2019. Airports Council International (ACI) estimates that the annual passenger traffic in the world's airports in 2020 will decrease by 38.1% (3.6 billion passengers), and in 2019 the industry will reach no earlier than the end of 2021 [4].

Given the desire of Ukraine to integrate into European and global economic structures and the need for transition of domestic airlines to global standards of commercial, planning and investment management, research on these issues and areas are becoming particularly relevant.

Referring to the above, the study is devoted to find optimal ways to use the business plan of civil aviation enterprises of Ukraine as a basic document of strategic management in a pandemic crisis to improve business management in the context of intercontinental integration.

The crisis caused by the global Covid-19 pandemic has identified new requirements for the formation and development of a market economy in Ukraine, as well as fundamentally new approaches to the management of airlines, special attention in this process is planning and strategic management. Successful operation, results of work and long-term viability of any enterprise depend on a continuous sequence of logical decisions of managers. Each of these decisions ultimately has economic consequences for the enterprise. In essence, the process of managing any enterprise is a series of economic decisions [3].

In the general case, the business plan is made for external and internal purposes. The external side of the business plan is designed to justify the confidence of investors and creditors, to convince them of the potential of the company, the competence of its employees, as well as the need to provide it with strategic and financial assistance. In other words, the lack of a well-thought-out business plan, systematically adjusted to changing conditions, is a significant shortcoming that reflects the weakness of the airline's management, accordingly, it ultimately complicates the opportunities to attract financial resources and achieve long-term stability in a competitive environment.

In short, a business plan is a critical starting point and the basis of all planning and executive activities of an aviation enterprise. This is the most important source of accumulation of strategic information and a way of direct management influence on the future position of the airline, which describes ways to achieve profitability.

In general, the financial, operational and investment policy of the aviation enterprise must meet the directions and strategic goals set out in the business plan. The business plan allows to solve business problems, provides an opportunity to make the right and alternative decision. It includes the development of goals and objectives for the airline for the future, assessment of the current state and trends of the industry, strengths and weaknesses of the business, market analysis and customer information. It assesses the resources needed to achieve the goals in a crisis and competition.

It is specified that the business plan of an aviation enterprise is a typical (unified) design solution, which provides a scientifically sound assessment of possible in this market segment of the final target economic, financial and other results (labor, production, social, environmental) of the enterprise based on real production, investment, organizational and logistical support.

The business plan is a permanent guiding document. It must be systematically updated, it must be accompanied by the necessary changes, both related to the changes

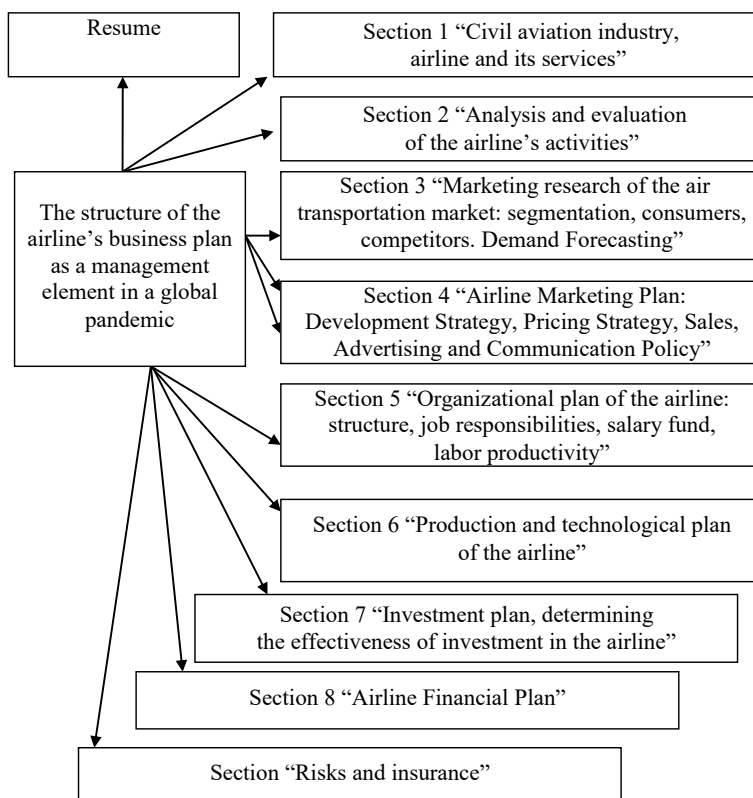
taking place within the firm and to the changes taking place in the target market, within the national and even the world economy as a whole.

Thus, the business plan is a unified managerial tool that allows not only to plan the airline's activities for all aspects of activities and alternatives, but also by updating information and adjustments, adapts the company to change, wherewith minimizes the impact of negative factors.

The results of business plan support contribute to the achievement of commercial and functional results. Examples of external results of support include the image and culture of the airline, relations with the external environment. The results of support within the enterprise should be: staff motivation, friendly working atmosphere, proper use of working time and optimal flow of information.

Therefore, when developing an airline business plan, as a control element in unforeseen or crisis pandemic conditions, the following structure should be used, which is presented in Figure 1.

The business plan of the airline as an element of management strategy is drawn up for a 2–3 year period with a quarterly breakdown of the first year. Some indicators are submitted monthly. In general, depending on the purpose and scope of the airlines (other operators), business plans can be developed for a period of one year (quarterly and monthly) to five years (or for the duration of the project).



*Fig. 1. Unified structure of the business plan as a tool for airline management
Source: compiled by the author*

Depending on the purpose of compiling sections of the airline's business plan can be developed with varying degrees of specification.

But despite a number of the above methods of drawing up a business plan, they are based on the main and mandatory sections that should be reflected in any business plan of an international airline:

- 1) financial plan (profitability and profitability, loans, taxes, insurance);
- 2) marketing plan (competitors, consumers, prices, features of market promotion);
- 3) production plan (air transportation technology, aircraft fleet, production areas, staff).

Considering the above theoretical and methodological basis of business planning, we can say that the business plan of foreign economic activity of the airline includes:

- defining the goals and objectives of the company in the short and long term;
- substantiation of the effectiveness of business plan development;
- assessment of the current state of the economy of a state;
- analysis and characterization of the market to penetrate and strengthen the market position of the firm;
- analysis of the external business environment: geographical, demographic, organizational and legal, political, economic, socio-cultural and other market conditions of penetration in foreign territories;
- analysis of competitors, their strengths and weaknesses;
- analysis of the competitive position of the company (SWOT – analysis: Strengths / Weaknesses – Opportunities / Threats);
- analysis and characterization of customers, their needs and demand.

When determining the optimal price for an air service, it should be borne in mind that on the one hand the price should cover all the costs of the airline related to the provision of services, on the other – the price must be competitive.

It is determined that the airline's business plan as an element of strategic management should be made so that it is a model of the company in an epidemic crisis, which would use all the developments of traditional planning of a particular market: business, competition, marketing services, commercial and financial risk, financing strategies, achieving break-even and the required level of profitability, quality customer service.

Conclusions and prospects for further research in this area. It is established that the majority of representatives of the world aviation business, including Ukraine, have shown unpreparedness and inability to overcome the consequences of the pandemic crisis, avoid bankruptcy and withstand competition. It is specified that the development of the market management system in Ukraine in a pandemic requires fundamentally new approaches to the organization of strategic management of business activities of civil aviation, special attention in this process is strategic management using a business plan.

It is determined that despite numerous studies on the economics of planning, air transport management and foreign economic activity, the issues of strategic management of civil aviation enterprises with the help of business planning elements are insufficiently considered both at the theoretical and methodological levels. The developed and presented structure of the business plan is a unified managerial tool that allows not only to plan the activities of the airline for all aspects and alternatives, but also by updating information and adjustments, adapts the company to change, minimizing the impact of negative factors.

It is proved that the business plan, as a basis of strategic management, allows to analyze all elements of the airline, identify factors of negative impact, threats and opportunities, consider alternatives, forecast financial results and determine the amount of investment, which in turn will optimize the operation and minimize the impact of the epidemic crisis.

Prospects for further research in this area are the definition and justification of the principles and methods of strategic management of civil aviation enterprises of Ukraine in accordance with the aspects and requirements presented in the business plan.

BIBLIOGRAPHY

1. 100% of Global Destinations Now Have COVID-19 Travel Restrictions, UNWTO Reports | UNWTO. URL: <https://www.unwto.org/news/covid-19-travel-restrictions> (дата звернення 3 жовтня 2020 р.).
2. Several airlines not expected to survive after coronavirus crisis. URL: <https://www.unwto.org/news/covid-19-travel-restrictions> (дата звернення 3 жовтня 2020 р.).
3. Касьянчик В.Д., Олесюк Є.А. Ефективність експлуатації міжнародних авіаліній. Львів : Брідж, 2018. 216 с.
4. COVID-19 Puts Over Half of 2020 Passenger Revenues at Risk. URL: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-04-14-01>. (дата звернення 3 жовтня 2020 р.).
5. Попов В.М. Бізнес-план: вітчизняний і зарубіжний досвід : монографія. Харків : Мрія, 2019. 264 с.
6. Данік Н.В. Бізнес-планування як інструмент здійснення фінансового менеджменту в сучасних умовах розвитку України. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2019. № 1. С. 112. URL: <http://global-national.in.ua/archive/1-2019/16.pdf>
7. Яременко О.Л. Стратегічне управління суб'єктами господарювання: проблеми теорії та практики : монографія. Нар. укр. акад. Харків : Вид-во НУА, 2020. 587 с.
8. Косиченко Є.Ф. Удосконалення управління транспортом в умовах економічної реформи: на прикладі цивільної авіації. Київ : Транспорт, 2019. 199 с.
9. Horan J. The One Page Business Plan for the Creative Entrepreneur: Start With a Vision, Build a Company! *Business*. 2020. № 3. P. 33–41.
10. Pinson L. Anatomy of a Business Plan: The Step-by-Step Guide to Building a Business and Securing Your Company's Future. *Edition eBook*. 2020. № 7. P. 54–62.

REFERENCES

1. 100% of Global Destinations Now Have COVID-19 Travel Restrictions, UNWTO Reports | UNWTO. URL: <https://www.unwto.org/news/covid-19-travel-restrictions>.
2. Several airlines not expected to survive after coronavirus crisis. URL: <https://www.unwto.org/news/covid-19-travel-restrictions>.

3. Kasyanchik, V., Olesuk, E. (2018), Operating efficiency of international airlines [Efektivnist ekspluatatsii mizhnarodnih avialiniy]. Lviv, Ukraine [in Ukrainian].
4. COVID-19 Puts Over Half of 2020 Passenger Revenues at Risk. URL: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-04-14-01>.
5. Popov, V. (2019) Business Plan: domestic and foreign tohis, [Bisnes-plan: vitchiznyaniy i zarubizhniy dosvid] : monohrafiia. Kharkov, Mriya, Ukraine [in Ukrainian].
6. Danik, N. (2019). Business planning as an instrument of financial management in the current conditions of development of Ukraine [Biznes-planuvannia yak instrument zdiisnennia finansovoho menedzhmentu v suchasnykh umovakh rozvytku Ukrainy]. Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky (electronic journal), no. 1, p. 112. URL: <http://global-national.in.ua/archive/1-2019/16.pdf>.
7. Yaremenko, O. (2020), Stratehichne upravlinnia sub'iektamy hospodariuvannia: problemy teorii ta praktyky: monohrafiia [Strategic management of business entities: problems of theory and practice : a monograph], NUA, Kharkov, Ukraine [in Ukrainian].
8. Kosichenko, E. (2019), Improvement of transport in economic reform: the case of civil aviation [Udoskonalennya upravlinnya transportom v umovakh ekonomichnoi reformi: na prikladi tsivilnoi aviatsii]. Kyiv, Transport, Ukraine [in Ukrainian].
9. Horan J. The One Page Business Plan for the Creative Entrepreneur: Start With a Vision, Build a Company! *Business*. 2020. № 3. P. 33–41 [in USA].
10. Pinson L. Anatomy of a Business Plan: The Step-by-Step Guide to Building a Business and Securing Your Company's Future. *Edition eBook*. 2020. № 7. P. 54–62. [in Germany].

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 334.756:656.615

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.02>

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ «КЛАСТЕР», «ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИЙ КЛАСТЕР», «ПОРТОВИЙ КЛАСТЕР»

О.І. Петренко¹, М.О. Потаповська²

¹к.е.н, доцент, завідувач кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій,
Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1869-7999

²аспірантка кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій,
Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0001-6795-2469

Анотація

Вступ. Транспортні системи та інфраструктура є важливими елементами економіки країни. Морські порти – це ворота в державу і рушійна сила в розвитку глобалізаційних процесів. Україна має великий потенціал у портовій галузі, але він не використовується на повну потужність. Це означає, що необхідно змінювати методи управління та слідувати європейському досвіду. Один з останніх трендів у морській індустрії – це кластеризація. Щоб ефективно використати цей новий підхід, необхідно зрозуміти сутність поняття та згодом його застосовувати. **Мета.** Стаття присвячується дослідженню понять «кластер», «транспортно-логістичний кластер», визначенню поняття «портовий кластер» та ефективності його створення на основі індексу привабливості портового кластеру, оскільки нині в Україні це не сформоване та маловивчене таке явище в портовій сфері. **Результати.** У роботі розглядаються теоретичні аспекти понять «кластер», «транспортно-логістичний кластер», «портовий транспортно-логістичний кластер». Проаналізовано теоретичні дослідження вітчизняних та зарубіжних науковців, внаслідок чого визначено специфічні характеристики кластера. Сформульовано поняття «портовий кластер», що можна використовувати в подальших дослідженнях підвищення конкурентоспроможності морської галузі та окремих припортових регіонів. Запропоновано використовувати індекс привабливості портового кластера.

Висновки. У результаті дослідження було визначено, що кластеризація портової галузі є перспективним механізмом управління. Оскільки кластерне середовище створює інтенсивний тиск із метою впровадження нововведень, забезпечує багате джерело відповідних ідей і знижує вартість їх перетворення на нові продукти і послуги. Тим самим це спонукатиме компанії, що входять до складу кластера, інвестувати кошти в інновації, а також сприятиме поширенню знань через економічні агломерації, які своєю чергою підвищують продуктивність та

створюють нові продукти. Встановлено основну концепцію кластерної теорії – в результаті географічної близькості та спільного розташування, багато вигід для елементів кластеру накопичується, що тим самим створює зниження витрат. Було сформульовано визначення «портового кластеру», що відображає новітню ефективну форму управління портовою інфраструктурою із залученням влади, бізнесу та наукових установ. Запропоновано використовувати індекс привабливості портового кластера для визначення ефективності його створення. Подальшою перспективою дослідження є визначення класифікації портових кластерів та специфіки їх функціонування.

Ключові слова: кластер, кластеризація, портовий кластер, морський порт, глобалізація, інтеграція.

THEORETICAL APPROACHES TO THE DEFINITION OF “CLUSTER”, “TRANSPORT AND LOGISTICS CLUSTER”, “PORT CLUSTER”

O.I. Petrenko¹, M.O. Potapovska²

¹Ph.D. in Economics, Associate Professor,

Head of the Department of Business Logistics and Transport Technologies,
State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine,
ORCID: 0000-0002-1869-7999

²Postgraduate Student at the Department of Business Logistics and Transport Technologies,
State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine,
ORCID: 0000-0001-6795-2469

Summary

Introduction. Transport systems and infrastructure are important elements of the country's economy. Seaports are the gateway to the state and the driving force in the development of globalization processes. Ukraine has great potential in the port industry, but it is not used at full capacity. This means that it is necessary to change management methods and follow European experience. One of the latest trends in the maritime industry is clustering. To effectively use this new approach, it is necessary to understand the sense of the concept and then apply it. **Purpose.** The article is addressed to the definition of “port cluster”, because nowadays in Ukraine it is not formed and sufficiently studied and the effectiveness of its formation based on the port cluster attractiveness index, as today in Ukraine such a phenomenon in the port sector has not been formed yet and remains insufficiently studied.

Results. The paper considers the theoretical aspects of the “cluster”, “transport and logistics cluster”, “port transport and logistics cluster” concepts. Specific characteristics of a cluster were defined with the analysis of the domestic and foreign scientists' theoretical research. The concept of “port cluster” was formulated and can be used in further research in order to increase the competitiveness of the maritime industry and individual port regions.

Conclusions. As a result of the study, it was determined that the clustering of the port industry is a promising management mechanism. As the cluster environment intensively stimulates the implementation of the innovations, it provides a rich source of relevant ideas, and reduces the cost of transforming ideas into new products and services. Thus, this will encourage companies which take part in the cluster to invest in innovations.

It will also promote knowledge through economic agglomerations, which in their turn will increase productivity and will create new products. The basic concept of cluster theory is established: because of geographical proximity and common location, many benefits for the cluster members are accumulated and provide reduction in costs. The definition of a "port cluster" was formulated, reflecting the latest effective form of port infrastructure management with the involvement of government, business and scientific institutions. It is proposed to use the attractiveness index of the port cluster. A further perspective of the study is determination of the port clusters classification and the specifics of their work.

Key words: cluster, clustering, port cluster, seaport, globalization, integration.

Вступ. Глобалізаційні процеси та науково-технічний прогрес мотивують владу, наукові організації та підприємства шукати нові форми інтеграції для досягнення конкурентних переваг. Нині однією з ефективних форм такого співробітництва є кластеризація економіки. В Україні це доволі новий підхід, який ще мало вивчений, особливо у сфері портової інфраструктури.

Нині порти України мають незадовільний стан, для портових операторів бракує портової інфраструктури, тому необхідно визначити нові методи управління портами для підвищення конкурентоспроможності, створення необхідних умов для всіх учасників ринку.

Постановка проблеми. Світовий досвід показує, що кластерний підхід в управлінні портами дає позитивний результат. Наприклад, цей підхід використовується в порту Роттердам, що має одні з найвищих показників вантажообігу в Європі. Однак нині недостатня кількість наукових досліджень висвітлює кластеризацію портової галузі, що унеможлиблює переймання цінного зарубіжного досвіду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями теоретичних аспектів поняття «кластер» займалися як зарубіжні, так і вітчизняні вчені. Серед зарубіжних науковців досліджували суть кластеризації економіки А. Маршал, М. Портер, П. Де Ланген, П. Кругман, Дж. Кортрайт, Х. Волман, Д. Хінкапі, І. Пилипенко, Н. Семенова. Серед вітчизняних дослідників варто зазначити С. Соколенко, В. Андрєєва та ін. Проте питання теоретичного визначення «портовий кластер» не були повною мірою висвітлені в науковій літературі, що і потребує подальшого вивчення.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз досліджень теоретичних аспектів кластеризації, формулювання визначення поняття «портовий кластер», оцінка доцільності створення портового кластера.

З огляду на мету основним завданням дослідження є визначення факторів формування кластерного підходу до управління підприємствами.

Виклад основного матеріалу. Сучасний стан портової інфраструктури характеризується зростанням кількості перевізників і збільшенням габаритів суден, а також протидією зацікавленими сторонами до розширення портів і жорстким державним регулюванням. Тому порти готують стратегічні відповіді. Одним із можливих варіантів може стати розвиток стратегічного партнерства або будь-якої форми співпраці, наприклад, кластера, що могло б дозволити їм отримати одну або кілька конкурентних переваг за рахунок альтернативних комбінацій унікальних ресурсів.

Автор книги «Регіональна конкурентоспроможність» М. Портер [1] пропонує таке формулювання кластерів – «це взаємозв'язок галузей, організації та установи, що допомагає виборчим одиницям отримати регіональну конкурентну перевагу». Практичне застосування такої кластеризації може спостерігатися в різних секторах, таких як програмна інженерія, або, наприклад, переробна промисловість. Морегосподарський комплекс – доволі нова галузь для концепції кластеризації.

Для встановлення напрямку дослідження необхідно визначити специфічні характеристики визначення «кластер». Кластери – це групи взаємопов'язаних підприємств, громадські та приватні асоціації, організації секторів, що мають унікальну спеціалізацію [2]. Кластер – це сукупність, а не сутність; вони складаються з бізнес-одиниць, асоціацій, державно-приватних та державних організацій. Отже, внутрішню неоднорідність кластерів також варто враховувати. Кластери зазвичай є географічно сконцентрованими організаціями та об'єднаннями.

Науковці Х. Волман та Д. Хінкапі визначили, що компанії, які входять у кластер, отримують значні вигоди та конкурентні переваги, а у регіонах з ефективними кластерами буде спостерігатися більш значне економічне зростання [3].

Кластери орієнтовані на економічну спеціалізацію, оскільки ядром кластера і членами кластеру є комерційні одиниці і асоціації, які є частиною цього ядра або тісно з ним пов'язані. Існують різні ідеї кластерів, серед них є ті, що включають більш широкі зв'язки, а деякі зосереджені на міжфірмових відносинах [4]. П. Кругман розробив концепцію нової економічної географії і заявив, що кластери формуються в результаті прийняття компаніями рішень про розміщення поряд один з одним з метою сприяння підвищенню віддачі від масштабу і скорочення витрат на перевезення товарів у всьому районі. Кортрайт визначив кластери як групу галузей та взаємопов'язані економічні суб'єкти, включаючи установи, які розташовані у визначеному географічному районі, яка приносить посилену продуктивність завдяки їх взаємній близькості, співпраці та зв'язках [5].

За словами М. Портера [1], взаємозв'язані підприємства і організації в тій чи іншій області в поєднанні зі спільністю і взаємодоповнюваністю географічних кордонів визначаються як кластери. Це об'єднання включає взаємопов'язані підприємства, такі як постачальники послуг, логістичні оператори, клієнти, науково-дослідні організації в цій галузі, навчальні заклади і агентства з підвищення кваліфікації. Крім того, М. Портер визначив кластери як соціальні та інституційні явища, в яких технологічні зміни та соціальні мережі відіграють важливу роль.

Промисловий кластер можна охарактеризувати як групу виробничих підприємств і невиробничих організацій, для яких членство в кластері є важливим засобом посилення індивідуальної конкурентоспроможності [6]. Некомерційні організації включають промислові асоціації, вищі навчальні заклади, зокрема, університети, що беруть участь у реалізації спеціальних промислових програм, державні установи підвищення кваліфікації, брокерські мережеві структури та ін. Ці організації дуже часто виявляються найбільш важливими ланками в досягненні кластерами бажаного успіху.

С. Соколенко зазначає, що виявити на практиці межі промислового кластеру є складним завданням, для цього необхідно визначити цілі утворення кластера [6].

Наприклад, до регіональних промислових кластерів входять підприємства, що сконцентровані географічно всередині регіону.

І. Пилипенко визначив «кластер» як скупчення незалежних фірм, що постійно контактують між собою та працюють в одній галузі або підгалузі, і група компаній, що надають основним фірмам сервісні послуги [7]. Також науковець зазначив, що кластер характеризується посиленням інформаційних потоків, отже, позначення простого географічного скупчення фірм терміном «кластер» буде помилкою.

Н. Семенова визначає «кластер» як одну з економічних форм, що сприяє об'єднанню нематеріальних активів форм, у тому числі інтелектуального, інформаційного, людського потенціалів [8].

В. Федорова запропонувала тлумачити поняття «кластер» як систему співпраці, щільно пов'язаних і територіально близьких підприємницьких мереж та організаційних структур (виробників, постачальників, споживачів, уряду, громадських, наукових та освітніх установ, об'єктів інфраструктури, технопарків), із метою організації, раціонального використання і нарощування виробництва продукції світового рівня (інноваційної спрямованості) [9].

«Виробничий кластер», за визначенням С. Андрєєвої, являє собою групу економічно пов'язаних фірм, інших юридичних осіб та інститутів, що знаходяться в територіальній близькості та є новою ефективною системою взаємодії, постійного ділового спілкування територіально і економічно споріднених учасників виробничого процесу заради отримання кожним із них сукупного синергетичного комерційного результату [9].

Представлені вище визначення поняття терміна «кластер» дають змогу окреслити загальні та специфічні характеристики цієї категорії, що слугуватимуть орієнтиром у виборі стратегії створення кластера [9]:

- географічна – концентрація підприємств в одній місцевості;
- горизонтальна – кластер із підприємств кількох галузей;
- вертикальна – кластер із суміжними етапами виробничого процесу;
- латеральна – ефект масштабування шляхов об'єднання різних секторів;
- технологічна – кластер із підприємств, які використовують аналогічну технологію;
- фокусна – концентрація підприємств навколо одного центру;
- якісна – акцент на створенні кластера для розвитку інновацій.

Для того, щоб кластер функціонував ефективно, необхідно визначити модель виробничих відносин та враховувати різноманітні фактори, наприклад, територіальна близькість підприємств, бізнес-процеси, логістичні потоки, використання технологій. Але саме територіальна близькість визначає міцність і ефективність мотивованого функціонування цієї конкретної кластерної виробничої системи [9].

Домінуюче становище кластера на ринку не має нічого спільного з монополією, бо кластер – не організація, а безліч організацій, що знаходяться між собою як у відносинах кооперації, так і в конкуренції [10].

Морські порти мають провідну роль у транспортній інфраструктурі країни, оскільки вони забезпечують транспортну незалежність, зовнішню торгівлю та транзитний потенціал України. Порти можна прирівняти до міських агломерацій, тому що вони також є важливими елементами формування географії

та економіки країни. Порт може бути порівняно спеціалізований або, навпаки, диверсифікований, залежно від спеціалізації його вантажних терміналів. Конкуренція за вантажопотоки між портами однієї колонії визначається, таким чином, на рівні терміналів [11]. Одним з нинішніх об'єднань навколо морських портів є транспортно-логістичні кластери.

Транспортно-логістичні кластери – галузеві кластери, кінцевою продукцією яких є транспортно-логістичні послуги в вантажному секторі, пасажирському секторі або обох [10]. Портові транспортно-логістичні кластери зазвичай формуються на основі морських портів, або кластерів портів, іноді до їх складу входять річкові порти, які мають потужності для обслуговування морських суден. Тобто, з одного боку, це поняття є дещо ширшим, оскільки може включати в себе вже створені кластери, але з позиції елементів (складників) кластеру – вужчим, тому що результатом діяльності є лише транспортні операції. А визначення «кластер» формує співпрацю не лише бізнесу та державних підприємств, а й наукових установ, що стимулюватиме впровадження інновацій та використання наукового підходу у веденні діяльності підприємств.

На думку авторів, для підвищення ефективності діяльності портів необхідно розглядати співпрацю не тільки з бізнесом, а з науковими установами, громадськими організаціями, місцевими органами влади тощо. Оскільки морський порт поєднує ці ланки нині, завдяки кластерному підходу можна отримати синергетичний ефект для кожного з елементів кластера.

Враховуючи вищесказане та світовий досвід, автори сформуваали таке визначення: портового кластера – це сукупність географічно сконцентрованих державних та приватних підприємств, громадських організацій, наукових установ та органів влади, центром яких є морський порт. Їхня діяльність стимулює впровадження інновацій, а також має синергетичний ефект, причому всі підприємства водночас можуть конкурувати між собою. Також окремий порт може співпрацювати з іншим портом свого регіону, при цьому розподіляючи вантажопотоки.

Для того, щоб оцінити доцільність створення портового кластера, необхідно сформувати систему показників ефективності. Пропонується впровадити індекс привабливості портового кластера з метою оцінки його ефективності. Показник включатиме такі ключові сфери:

1) політика та нормативна база: в рамках цього кластер існує та діє. Без допоміжної та доповнюючої політики та нормативної бази весь потенціал кластера для послуг високого класу буде обмежений. Фактори також включають екологічні та культурні елементи, які будуть заохочувати елементи портового кластера та їх робочу силу працювати краще;

2) управління інституційною структурою кластера, що складається з як державних, так і приватних організацій. Інституційна структура, якій не вистачає поінформованості, спілкування та співпраці, не зможе максимізувати економічний ефект, який за своєю суттю є частиною успішного портового кластера та високої якості послуг;

3) робоча сила: наявність навичок та ресурсів для задоволення поточних та майбутніх потреб портового кластера для подальшого розвитку і створення інновацій;

4) податкові та фінансові інструменти: вони стимулюють членство, зростання, фінансування та створення інновацій у межах портового кластера;

5) інфраструктура, її наявність та стан, а також транспортна інфраструктура та рухомий склад;

6) інформаційні технології, що стимулюють впровадження автоматизації всіх бізнес-процесів;

7) географічна (територіальна) складова частина. Важливим для функціонування портового кластера є територіальне розміщення, наявність транспортних коридорів та близькість до них, розташування відносно зовнішніх кордонів, близькість до ринків збуту.

Запропонована структура дає змогу зацікавленим сторонам кластера оцінювати його слабкі та сильні позиції. Індекс привабливості включає спільні цілі в кластері, які встановлюються спільною діяльністю членів. Вони виконуються в різних сферах (тобто спільні проекти, дослідження, виробництво, послуги тощо), маючи як короткострокову, так і довгострокову перспективу.

Що стосується ефективності роботи портового кластера, то необхідно також визначити ключові сектори кластера, які можуть бути такими: порти, судноплавні лінії, агентства, суднобудівні та судноремонтні заводи, морське обладнання, бункерування, торгівельне обслуговування суден, посередництво та фрахтування суден, класифікаційні товариства, логістика, юридичні послуги, страхування, фінанси, освіта та навчання, дослідження інформаційних технологій [12].

Індекс привабливості складається з кількох зважених субіндексів, які є вимірюваними показниками елементів кластера. Цей підхід застосовується Світовим банком для оцінки ефективності логістики. Суть методу полягає в багатоваріантності та має високий рівень надійності, оскільки аналізує та формулює проблеми в умовах невизначеності [13].

Загальне значення індексу обчислюється на основі адаптованого до запропонованого рівняння Дайером [14]:

$$IEpk = (\text{Значення категорії інфраструктури}) * W_1 + (\text{Значення категорії фінансів}) * W_2 + (\text{Значення категорії управління}) * W_3 + (\text{Значення категорії робочої сили}) * W_4 + (\text{Значення категорії законотворення}) * W_5 + (\text{Значення категорії інформаційних технологій}) * W_6 + (\text{Значення категорії географічної складової}) * W_7,$$
 де W_i – вага кожної категорії.

Кожен субіндекс має своє нормативне значення від 0 до 1, тому індекс привабливості портового кластера знаходиться в межах від 0 до 5. Чим більше значення, тим доцільніше функціонування портового кластера.

Агломерація між фірмами та членами кластера пов'язана зі зрілістю кластера та його здатністю до зростання. Методи управління та поширення інформації мають позитивні наслідки щодо запропонованих послуг, тоді як можливості досліджень та розробок виступають стимулом для інновацій у кластері. Це одна з основних причин, чому деякі кластери мають успіхи, а інші, навпаки, відстають. Зрештою, освіта є надзвичайно важливою, що дає змогу примножувати її вплив на загальну привабливість кластера.

Як видно, ефективність кластера в основному залежить від факторів, таких як люди, структура та політика [15]. Ці системи дають змогу політикам використовувати інфраструктуру, покращуючи загальну ефективність.

Висновки. Проаналізувавши теоретичні аспекти кластеризації, можна зробити висновки, що учасники кластера досягають вищих рівнів інновацій, ніж аутсайдери. Кластерне середовище створює сильніший тиск із метою впровадження нововведень, забезпечує багате джерело відповідних ідей і знижує вартість перетворення їх на нові продукти і послуги. Це спонукатиме компанії вкладати кошти в зміцнення інноваційного потенціалу, створюючи додаткове натхнення для інновацій у компанії-засновника.

Встановивши основну концепцію кластерної теорії, академічний підхід до теорії кластерів узагальнено у трьох широких темах, а саме:

- 1) складники кластерів, їх механізми співпраці та продуктивність;
- 2) взаємозв'язок між складниками, завдяки яким створюються інновації та збільшується конкурентоспроможність;
- 3) загальне управління, вигоди та результати діяльності кластера.

У результаті географічної близькості та спільного розташування, багато з цих вигід накопичується, що тим самим створює нижчі витрати на вхід для фірм. Компанії сприяють поширенню знань через економічні агломерації, які підвищують продуктивність та створюють інновації.

Важливим фактором кластеризації портів є конкуренція, за яку змагаються сучасні морські порти, щоб мати індивідуальну частку ринку у відповідній географії. Поширення кластерної взаємодії також допомагає портовим галузям, науковим організаціям та установам досягти стійкого розвитку бізнес-середовища. Хоча кластери портів виглядають вигідними та актуальними, концептуалізація його роботи ще є питанням для обговорення зацікавлених у кластері дослідників. Синергетичний ефект від створення портового кластера досягається за рахунок спільної мети всіх учасників об'єднання. Дуже важливим у портовому кластері є те, що це допоможе суднобудівно-судноремонтним заводам визначити своє місце на ринку України. Оскільки попит породжує пропозицію, буде стійка співпраця між українськими судноплавними компаніями та суднобудівними заводами, тут варто зазначити, що без втручання наукових установ буде складно втілювати інноваційні інженерні проекти для українського ринку морських перевезень. І це лише один бік вигід від створення портового кластера.

Для регіону, де він буде створюватися, також є свої переваги, оскільки для самих підприємств, що працюють на базі порту, будуть вигідні якісні автомобільні та залізничні сполучення, а це означає, що в їхніх інтересах буде покращувати шляхи сполучення. Для самого порту це означатиме залучення нових вантажопотоків, підтримка інноваційних технологічних проектів представниками бізнесу та місцевої влади, а також максимальну експлуатацію інформаційних продуктів у своїй діяльності, таких як «єдине вікно», а в перспективі – створення нових.

У роботі було сформульовано визначення поняття «портовий кластер», що відображає новітню ефективну форму управління портовою інфраструктурою із залученням влади, бізнесу та наукових установ. Запропоновано використовувати індекс привабливості портового кластера для оцінки доцільності створення такого роду об'єднання в портовій галузі.

Подальшою перспективою дослідження є визначення класифікації портових кластерів та специфіки їх функціонування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Porter M. The Economic Performance of Regions. *Regional Studies*. 2003. Т. 37, № 6-7. С. 549–578. URL: <https://doi.org/10.1080/0034340032000108688> (дата звернення: 27.01.2021).
2. de Langen P. W. Clustering and performance: the case of maritime clustering in The Netherlands. *The flagship journal of international shipping and port research*. 2002. Т. 29, № 3. С. 209–221. URL: <https://doi.org/10.1080/03088830210132605> (дата звернення: 18.01.2021).
3. Wolman H., Hincapie D. Clusters and Cluster-Based Development: A Literature Review and Policy Discussion. URL: <https://www.coursehero.com/file/14224716/Working-Paper-042-Clusters/> (дата звернення: 18.01.2021).
4. Krugman P. Innovation and agglomeration: Two parables suggested by city-size distributions. *Japan and the World Economy*. 1995. Т. 7, № 4. С. 371–390. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0922142595000291> (дата звернення: 18.01.2021).
5. de Langen P.W. Clustering and performance: the case of maritime clustering in The Netherlands. *The flagship journal of international shipping and port research*. 2002. Т. 29, № 3. С. 209–221. URL: <https://doi.org/10.1080/03088830210132605> (дата звернення: 18.01.2021).
6. Соколенко С.І. Кластери в глобальній економіці : монографія. Київ : Логос, 2004. 848 с.
7. Пилипенко И.В. Принципиальные различия в концепции промышленных кластеров и территориально-производственных комплексов. *Вестник Московского Университета*. 2004. Т. 5. С. 3–9.
8. Семенова Н.Н. Роль кластеров в интернационализации и кооперации в сфере науки и инноваций в контексте глобализации. *Управление наукой и наукометрия*. 2008. № 7. С. 99–122.
9. Федорова В.Г. Теоретико–методичні підходи до визначення поняття «кластер». *Ефективна економіка*. 2011. № 9.
10. Смирнов І., Шматок О. Формування транспортно-логістичних кластерів у ЄС: український контекст. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2012. Т. 1, № 60. С. 14–19.
11. Андрєєва В.А. Інтеграція підприємств регіону в інноваційний кластер. *Університет економіки та права «КРОК»*. 2015. № 42. С. 146–154.
12. Cullinane K., Yap W., Lam J. The port of Singapore and its governance structure. *Research in Transportation Economics*. 2007. Vol. 17. P. 285–310.
13. Multiple criteria decision making, multi-attribute utility theory: the next ten years. *J. Dyer et al. Management Science*. 1992. Vol. 38, no. 5. P. 645–654.
14. Maritime cluster attractiveness index / I. Lagoudis et al. *Maritime Business Review*. 2019. Vol. 4, no. 2. P. 169–189.
15. Checkland P. Soft systems methodology. *Human Systems Management*. 1989. Vol. 8, no. 4. P. 273–289.

REFERENCES

1. Porter, M. (2003). The Economic Performance of Regions. *Regional Studies*, 37(6-7), 549–578. URL: <https://doi.org/10.1080/0034340032000108688> [in English].
2. Wolman, H., & Hincapie, D. (2010, 17 грудня). Clusters and Cluster-Based Development: A Literature Review and Policy Discussion. URL: <https://www.coursehero.com/file/14224716/Working-Paper-042-Clusters/> [in English].
3. de Langen, P.W. (2002). Clustering and performance: the case of maritime clustering in The Netherlands. *The flagship journal of international shipping and port research*, 29(3), 209–221. URL: <https://doi.org/10.1080/03088830210132605> [in English].
4. Krugman, P. (1995). Innovation and agglomeration: Two parables suggested by city-size distributions. *Japan and the World Economy*, 7(4), 371–390. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0922142595000291> [in English].
5. Cortright, J. (2006). Making Sense of Clusters: Regional Competitiveness and Economic Development. Brookings. URL: <https://www.brookings.edu/research/making-sense-of-clusters-regional-competitiveness-and-economic-development/> [in English].
6. Sokolenko, S. (2004). Clusters in the global economy [Klasteri v hlobalnii ekonomitsi]. Lohos [in Ukrainian].
7. Pilipenko, I. (2004). Fundamental differences in the concept of industrial clusters and territorial-production complexes [Printcipialnye razlichii v kontseptcii promyshlennykh klasterov i territorialno-proizvodstvennykh kompleksov]. *Moscow University Bulletin*, 5, 3–9 [in Russian].
8. Semenova, N. (2008). The role of clusters in internationalization and cooperation in the sphere of science and innovation in the context of globalization [Rol klasterov v internatsionalizatsii i kooperatsii v sfere nauki i innovatsii v kontekste globalizatsii]. *Science management and scientometrics*, (7), 99–122 [in Russian].
9. Fedorova, V. (2011). Theoretical and methodological approaches to the definition of «cluster» [Teoretyko–metodychni pidkhody do vyznachennia poniattia «klaster»]. *Effective economics*, (9) [in Ukrainian].
10. Smyrnov, I., Shmatok, O. (2012). Processes of transport and logistics clusterization in European Union and Ukraine: regional dimension [Formuvannia transportno-lohistychnykh klasteriv u yes: ukraïnskyi kontekst]. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography*, 1 (60), 14–19 [in Ukrainian].
11. Andrieieva, V.A. (2015). Integration of enterprises in the region into the innovation cluster [Intehratsiia pidpriemstv rehionu v innovatsiinyi klaster]. *KROK University of Economics and Law*, (42), 146–154 [in Ukrainian].
12. Cullinane, K., Yap, W.Y. and Lam, J.S.L. (2007), The port of Singapore and its governance structure. *Research in Transportation Economics*, Vol. 17, pp. 285–310 [in English].

13. Dyer J.S., Fishburn P.C., Steuer, R.E., Wallenius J. and Zionts S. (1992), «Multiple criteria decision making, multi-attribute utility theory: the next ten years», *Management Science*, Vol. 38 No. 5, pp. 645–654 [in English].
14. Lagoudis, I., Madantzoglou, E.M., Theotokas, I N., & Yip, T.L. (2019), «Maritime cluster attractiveness index», *Maritime Business Review*, 4(2), 169–189 [in English].
15. Checkland, P.B. (1989), «Soft systems methodology», *Human Systems Management*, Vol. 8 No. 4, pp. 273–289 [in English].

ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

О.Г. Харчук¹, Н.Г. Бишевец²

¹к.е.н., доцент кафедри менеджменту, публічного управління та адміністрування,
Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-5344-4121

²к.п.н., старший викладач кафедри інноваційних та інформаційних технологій
у фізичній культурі і спорті,
Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6118-6580

Анотація

Вступ. У багатьох роботах було визначено, що залучення пасажирів на окремий вид транспорту залежить від асортименту наданих ним послуг, тому на залізничному транспорті велику увагу приділяють підвищенню саме якості та різновиду сервісу обслуговування пасажирів. **Мета.** Ця стаття розкриває сутність понять послуги у сфері пасажирських перевезень, сервісу та якості, видів сервісу у сфері пасажирських перевезень, а саме: задоволення споживчого попиту пасажирів на основну послугу, надання послуг, що супроводжують основну послугу, післяпродажний сервіс, інформаційне обслуговування та фінансове обслуговування надання усіляких варіантів оплати основної послуги, система знижок і пільг. Також розкриті показники якості, які впливають на інтереси пасажирів, – це рівень інформаційного забезпечення, повнота задоволення попиту – комфортність обслуговування на всіх етапах перевезення, швидкість, своєчасність доставки багажу чи вантажобагажу, його схоронність, безпека на вокзалах і в поїзді й ін.; зручність пасажирів в дорозі; показники комфортності – асортимент і якість відповідних послуг у попередній і добовій касах, довідкових бюро, в поїздах та ін.; зручність перебування пасажирів у вокзальних комплексах; способи і зручність придбання проїзних документів; показники швидкості та своєчасності; показники безпеки транспортних послуг; показники збереження здоров'я, життя і майна пасажирів під час поїздки і перебування на вокзалах; показники надійності функціонування транспортних засобів та показники професійної придатності персоналу, що надає транспортні послуги. **Результати.** Було визначено, що у сфері пасажирських перевезень існують різні види послуг та розглянуто якісні показники, від яких залежать вибір виду транспорту та задоволення інтересів пасажирів на залізничному транспорті. **Висновки.** У цій статті визначено, що якість обслуговування пасажирів є головною задачею керівництва щодо покращення перевізного процесу та одним з основних факторів, що враховують у процесі визначення результативності діяльності пасажирського комплексу залізничного транспорту.

Ключові слова: послуга, якість обслуговування, транспорт, сервіс, пасажирські перевезення, показники якості.

QUALITY OF PASSENGER SERVICE ON RAILWAY TRANSPORT

O.H. Kharchuk¹, N.H. Byshevets²

¹Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Management, Public Administration and Administration, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-5344-4121

²Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Innovative and Information Technologies in Physical Culture and Sports, National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-6118-6580

Summary

Introduction. In many works it was determined that the involvement of passengers in a particular mode of transport depends on the range of services provided by them, so in rail transport much attention is paid to improving the quality of passenger service and their variety. **Purpose.** This article reveals the essence of the concepts of service in the field of passenger transportation, service and quality, types of service in the field of passenger transportation, namely: meeting consumer demand for basic services, providing services accompanying the main service, after-sales service, information service and financial services providing all kinds of payment options for the main service, a system of discounts and benefits. Also disclosed quality indicators that affect the interests of passengers – are the level of information support, completeness of demand – comfort of service at all stages of transportation, speed, timeliness of luggage or baggage, its safety, security at stations and trains, etc.; passenger comfort on the road; comfort indicators – the range and quality of relevant services in the preliminary and daily cash desks, help desks, in trains, etc.; convenience of stay of the passenger in station complexes; ways and convenience of purchasing travel documents; indicators of speed and timeliness; safety indicators of transport services; indicators of safety of life and property of passengers during the trip and stay at the stations; indicators of reliability of operation of vehicles and indicators of professional suitability of personnel providing transport services. **Results.** It was determined that in the field of passenger transport there are different types of service and considered the quality indicators on which depends the choice of mode of transport and satisfaction of the interests of passengers on rail transport. **Conclusions.** This article defines that the quality of passenger service is the main task of management to improve the transportation process and one of the main factors that are taken into account when determining the effectiveness of the passenger complex of railway transport.

Key words: service, quality of service, transport, service, passenger transportation, quality indicators.

Вступ. У пасажирських перевезеннях залізниці зазнають дедалі більшої конкуренції з боку автомобільного та авіаційного транспорту, оскільки потребують удосконалення технології організації перевезень, транспортно-логістичних технологій, модернізації та розбудови інфраструктури, оновлення рухомого складу та підвищення рівня сервісного обслуговування пасажирів тощо [8].

Постановка проблеми. Важливість сервісу у сфері пасажирських перевезень для утримання положення на транспортному ринку чи завоювання додаткових ніш

на ньому щорічно зростає. Пояснюється це загостренням конкуренції на названому ринку. У зв'язку з цим робота усіх видів транспорту націлена на споживача їхніх послуг – пасажирів і якість послуг у сервісному потоці. От чому останнім часом у сфері пасажирських перевезень з'явилася нагальна потреба здійснювати керування на основі концепції логістики не тільки пасажиропотоками, але й потоками, що супроводжують перевезення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема управління якістю послуг у процесі обслуговування пасажирів на залізничному транспорті займалися вітчизняні та зарубіжні науковці, такі як І.М. Аксьонов, Ю.С. Бараш, В.М. Галабурда, Г.Д. Ейтутіс, Е.А. Оленіна, М.В. Макаренко, О.І. Калініченко, Ф.П. Кочнев, Ю.Ф. Кулаєв, Б.М. Лапідус, В.І. Пасічник, Н.О. Потапович, М.Ф. Трихунков, К. Ісикава, К.М. Шерепа, Т.Ю. Чаркіна та інші. Проте ці дослідження потребують подальшого поглиблення.

Формулювання цілей статті. У статті розкривається визначення сутності послуги у сфері пасажирських перевезень та здійснюється аналізування показників якості з надання послуг у процесі обслуговування пасажирів на залізничному транспорті.

Виклад основного матеріалу. Підприємство пасажирського комплексу на будь-якому виді транспорту стає стійкою організаційно-економічною системою, якщо налагоджений зв'язок між керуванням його доходами і наданням послуг відповідно до вимог пасажирів.

Послуга у сфері пасажирських перевезень являє собою дію певного співробітника пасажирського підприємства (групи співробітників), що приносить користь пасажирів. Робота, пов'язана з наданням послуг у процесі обслуговування пасажирів, тобто із задоволенням їхніх потреб на всіх етапах поїздки, називається сервісом [9]. Це комплекс послуг, що робляться на вокзалах, у попередніх касах, у потязі й інших місцях, де обслуговуються пасажирів (під час замовлення проїзного документа, його оформлення, видачі різного роду довідок, надання харчування на вокзалі чи в поїзді і т.д.) [6].

Усі послуги, що надаються пасажирів, мають вартісний вимір [4].

Показник, що виражає оцінку сервісу, – це рівень забезпечення споживчого попиту.

Об'єктами транспортного сервісу є пасажирів – фізичні і юридичні особи, що організують поїздки (підприємства, організації, фірми та ін.).

Пасажирське підприємство має різні сфери діяльності, основними з яких є такі [3]:

- надання послуг на початковому етапі поїздки (видача довідки);
- прийом і виконання замовлення, отриманого в усній формі по телефону, письмово – поштою, оформлення проїзних документів, багажу чи вантажобагажу та ін.);
- надання послуг у потязі (продаж кондитерських виробів, прийом замовлень на проїзні документи, таксі, надання телефонного зв'язку, виконання ксерокопій і т. д.);
- комплекс послуг на початковій і на кінцевій станціях (послуги носія, надання приміщення для нарад, ділових зустрічей, видача багажу чи вантажобагажу, прийом особистих речей на збереження і т. д.).

Розрізняють такі види сервісу у сфері пасажирських перевезень (рис. 1) [7]:

1) задоволення споживчого попиту пасажирів на основну послугу;
2) надання послуг, що супроводжують основну послугу, – це набір послуг, наданих пасажирі з моменту його звернення в довідкове бюро до моменту покупки проїзного документа;

3) післяпродажний сервіс – це ті послуги, що надаються пасажирі після того, як він отримав квиток на проїзд (доставка транспортом підприємства на вокзал пасажирів, а також його багажу чи вантажобагажу і т.п.).

Організація післяпродажного сервісу включає такі основні дії:

– визначення вимог до післяпродажного обслуговування пасажирів;
– визначення послуг, необхідних пасажирам після продажу основної послуги (асортимент продуктів харчування, кондитерських виробів, напоїв у залах чекання й у потязі, на станціях призначення і т.п.);

– забезпечення необхідною продукцією провідників та торгові точки, що знаходяться на вокзалах;

– створення необхідної інфраструктури для обслуговування пасажирів після продажу основної послуги;

– організація керування реалізацією послуг;

4) інформаційне обслуговування – це сукупність інформаційних повідомлень, необхідних пасажирі в процесі здійснення перевезення (про шлях відправлення, про послуги на всіх етапах перевезення та необхідні відповідні технічні засоби обробки і передачі інформації);

5) фінансове обслуговування надання усіляких варіантів оплати основної послуги, система знижок і пільг. Види сервісу у сфері пасажирських перевезень можна характеризувати великим колом показників, поєднаних такими критеріями: асортимент і кількість, якість, час, ціна, надійність надання послуги (наприклад, гарантія на покупку проїзного документа на запитуваний потяг і місце відповідної категорії, необхідного часу відправлення і кількості проїзних документів) [1; 7].

Види сервісу у сфері пасажирських перевезень

| |
|--|
| 1. Задоволення споживчого попиту пасажирів на основну послугу |
| 2. Надання послуг, що супроводжують основну послугу |
| 3. Післяпродажний сервіс |
| 4. Інформаційне обслуговування |
| 5. Фінансове обслуговування надання усіляких варіантів оплати основної послуги, система знижок і пільг |

Рис. 1. Види сервісу у сфері пасажирських перевезень

Якість торкається будь-якого пасажира та впливає на умови поїздки.

Як економічна категорія поняття «якість» – це порівняна міра наявності властивостей, що характеризують можливість задоволення визначених потреб пасажирів і ступінь відповідності цих властивостей запитам останніх.

Питання якості пасажирських перевезень як такі виникли порівняно недавно – в минулому проблеми якості співвідносилися із системою якісних показників перевізного процесу. До таких показників належать:

- швидкість;
- своєчасна доставка;
- схоронність багажу чи вантажобагажу;
- наявність додаткових послуг;
- умови оплати перевезень і ін.

Більш поширені і широко застосовуються показники якості використання рухомого поїзда і показники рівня експлуатаційної роботи (продуктивність рухомого поїзда, рівень виконання графіку руху й ін.) [5].

Стосовно пасажирських перевезень, до показників їх якості необхідно підходити, по-перше, з позицій, що ґрунтуються, насамперед, на споживчій вартості транспортної послуги. По-друге, в процесі оцінки якості пасажирських перевезень потрібно зважати на те, що стимули підвищення якості (економічна природа) виникають, якщо пропозиції транспортних послуг на окремих видах транспорту і транспортній системі загалом перевищують попит і, навпаки, при хронічній незадоволеності в попиті відсутні об'єктивні економічні стимули для підвищення якості перевезень) [1].

Тобто проблема якості перевезень об'єктивно реалізується в умовах конкуренції різних видів транспорту в розвинутих ринкових відносинах (проблема якості стає реальністю в умовах зростання конкуренції, коли «перевізники» починають «боротися» за пасажира).

Ріст конкуренції між видами транспорту у сфері пасажирських перевезень вимагає забезпечення високої конкурентоздатності послуг залізниць у цій сфері діяльності [2].

На українському ринку пасажирських перевезень працюють кілька видів транспорту, і, якщо пасажира не влаштовує рівень обслуговування, він у будь-який час може віддати перевагу іншому транспорту.

До показників якості, від яких залежить задоволення інтересів пасажирів, належать (рис. 2): рівень інформаційного забезпечення, повнота задоволення попиту – комфортність обслуговування на всіх етапах перевезення, швидкість, своєчасність доставки багажу чи вантажобагажу, його збереження, безпека на вокзалах і в поїзді й ін.

До показників комфортності зараховують асортимент і якість відповідних послуг у попередній і добовій касах, довідкових бюро, у поїздах та ін. Цей комплекс може містити різноманітний асортимент послуг – від покупки всіляких споживчих товарів, продуктів харчування, поліграфічної продукції до показу відеофільмів, трансляції музики, можливості замовляти на шляху прямування різні послуги і т.д. Це також площі приміщень, що приходяться на одного пасажира, частота і якість прибирання транспортних засобів і приміщень, стан постільної

білизни, температура повітря в залах чекання й у вагонах поїзда, освітлення, допустимі рівні шуму, рівні вібрації і вологості, середнє наповнення залу очікування, приміщень квиткових кас та ін.

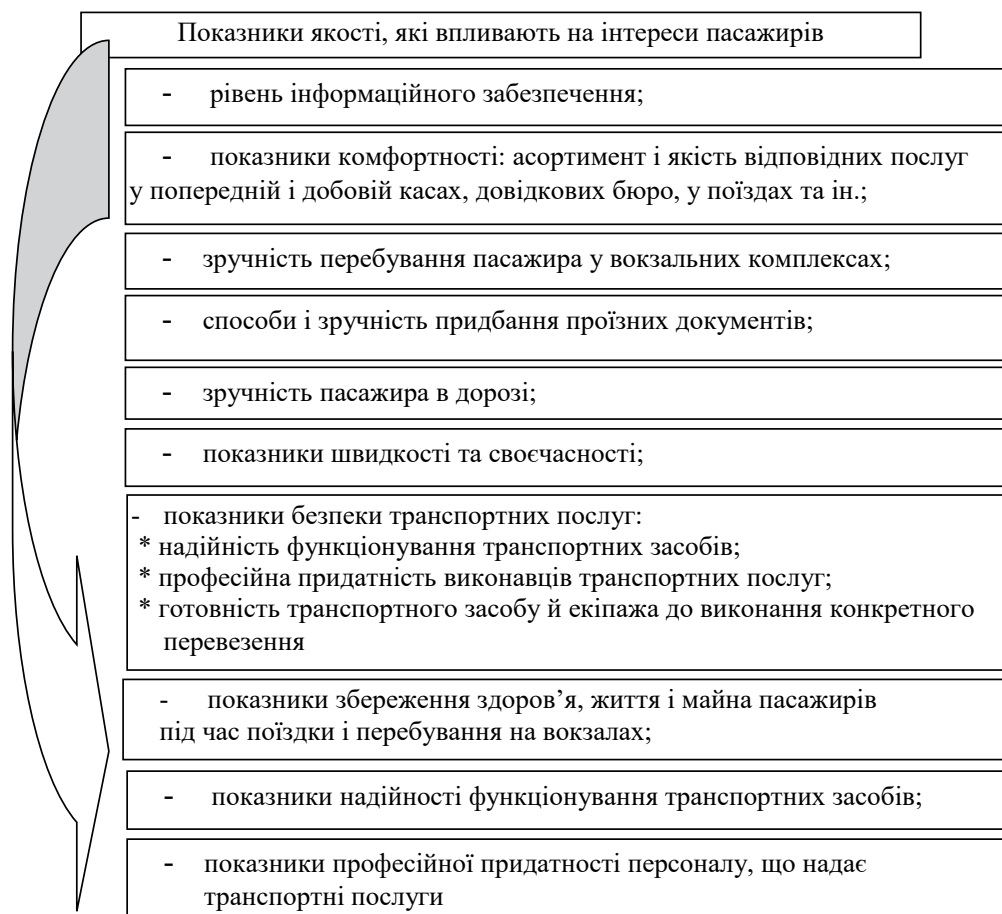


Рис. 2. Показники якості, які впливають на інтереси пасажирів

Виконання показника зручності перебування пасажирів у вокзальних комплексах потребує удосконалення вимог до проектування і будівництва (чи реконструкції) вокзальних комплексів, також устаткування вокзальних приміщень з урахуванням створення комфортних умов перебування пасажирів в них до і після поїздки з наданням йому можливості придбання різного набору споживчих послуг.

Розглядаючи показник «способи і зручність придбання проїзних документів», головним показником є гарантоване задоволення перевізником потреб пасажирів в будь-який момент часу з високим рівнем обслуговування, з огляду на міжнародний досвід. Щоб його виконати на високому рівні, необхідно по-іншому будувати взаємини між «перевізником» і потенційними пасажирами.

Зручність пасажирів в дорозі – цей показник зв'язаний із тривалістю перебування пасажирів в дорозі, календарним періодом здійснення поїздки і рівнем

сервісу в поїздах. Він поряд із двома попередніми є одним з основних факторів, що сприяють підвищенню конкурентоздатності залізниць. Нормальні умови для відпочинку в дорозі прямування, оскільки і відсутність черг і гарантія покупки проїзних документів на вокзалах залучають пасажирів, формують позитивний імідж залізниць.

Варто мати на увазі, що поняття «споживча вартість» тут виражається в тому, що пасажир наприкінці поїздки має почувати себе бадьорим, працездатним і не дуже втомленим. Це означає, що залежно від факторів тривалості поїздки і пори року мають створюватися диференційовані комфортні послуги для кожної категорії пасажирів, а ціни на них варіюватися. Ця вимога суперечить економіці «перевізників» (їхнім інтересам), оскільки диференціація засобів комфорту вимагає не тільки додаткових поїздів, але і різної їхньої композиції залежно від попиту, формованого на основі побажань пасажирів.

Показником швидкості є тривалість поїздки, порівнювана з польотом літака, часом поїздки автобусом, річковим транспортом. Швидкість переміщення і зручність пересадки пасажирів на стиках, у тому числі і між окремими видами транспорту, – важливі показники якості. У зв'язку з цим виникає необхідність проектувати і споруджувати такі пункти пересадження, в яких пасажирів затрачали б мінімум часу, нервів та здоров'я.

Показники своєчасності – це показники забезпечення руху транспортних засобів відповідно до оголошеного розкладу чи графіка руху. Цей показник оцінюється відсотком транспортних засобів, що відправляються і прибувають за розкладом, а також середнім і максимальним інтервалом руху.

Показники безпеки транспортних послуг містять у собі три групи:

- надійність функціонування транспортних засобів;
- професійну придатність виконавців транспортних послуг;
- готовність транспортного засобу й екіпажу до виконання конкретного перевезення (укомплектованість екіпажу, наявність рятувальних засобів, нормативних документів, забезпеченість маршрутними картами, правилами поведінки пасажирів та ін.).

Показники збереження здоров'я, життя і майна пасажирів під час поїздки і перебування на вокзалах мають забезпечуватися шляхом обов'язкового і добровільного страхування пасажирів, ручної поклажі, багажу і вантажобагажу, створенням відповідних умов, що гарантують безпеку перевезень і схоронність майна.

Пасажири довіряють виду транспорту свої цінності, і їх цікавить, щоб вони доставлялися не тільки вчасно, але і в цілості і без ушкоджень. Цей показник оцінюється відсотком багажних (вантажобагажних) відправлень, що прибувають до місця призначення (до одержувача) в термін, без ушкоджень, розкрадань, а також середнім розміром збитку, що відшкодовується вартістю ушкодженого багажу чи вантажобагажу, загубленого багажу (вантажобагажу).

Показники надійності функціонування транспортних засобів характеризують безвідмовність їхньої роботи протягом рейсу (обороту поїзда) чи іншого заданого періоду часу (доба, місяць, квартал, рік). Ці показники залежать від ресурсу транспортного засобу, терміну його служби. Вони підтверджуються звітними документами про експлуатаційний ресурс транспортних засобів, про допуск їх

до експлуатації, що відбивають періодичність контролю технічного стану, безвідмовність роботи, наробіток на відмовлення.

До показників професійної придатності персоналу, що надає транспортні послуги, належать:

- компетентність;
- рівень кваліфікації;
- уміння працювати з людьми;
- стаж роботи на обійманій посаді;
- періодичність підвищення кваліфікації;
- кількість порушень посадових інструкцій за визначений період;
- знання вимог і запитів пасажирів;
- уміння задовольняти вимоги і запити, манера спілкування зі споживачами

послуг;

- уміння довести переваги своїх послуг і т.д.

Уважність і люб'язність обслуговуючого персоналу – це фактор, що не вимагає додаткових витрат, але зобов'язує вітчизняних транспортників змінювати психологію й удосконалювати економічне мислення [7].

Висновки. Отже, на залізницях України проблема якості обслуговування пасажирів має стати основою для перевізного процесу, причому якістю послуг і системою їх реалізації необхідно вміло керувати. Пояснюється це тим, що проблема якості займає особливе місце серед багатьох економічних і соціальних питань і є одним з основних факторів, що враховують у процесі вирішення задачі про підвищення економічної ефективності результатів діяльності пасажирського комплексу.

Література

1. Аксенов И.М. Концепция сервиса в сфере пассажирских перевозок. *Залізничний транспорт України*. 2002. № 1. С. 11–15.
2. Иванкова Л.Н. Сервис на транспорте: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / Л.Н. Иванкова, А.Н. Иванов, А.В. Комаров. Москва : Маршрут, 2005. 75 с.
3. Илловайский Н.Д. Сервис на транспорте (железнодорожном) / Н.Д. Илловайский, Н.С. Киселев. Москва : Изд-во «Маршрут». 2003. 585 с.
4. Бараш Ю.С. Методика проведения исследований стосовно підвищення ефективності управлінських рішень організації пасажирських перевезень. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури* : збірник наук. праць. Київ : НАУ. 2009. С. 9–13.
5. Рудяченко І.Ф. Підвищення якості транспортних послуг на основі комплексу маркетинг-логістики. *Матеріали Першої Міжнародної науково-практичної конференції «Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті»*. Київ : ДАЗТУ. 2009. С. 34–44.
6. Шерепа К.М. Сервіс-центри з обслуговування пасажирів на залізничному транспорті. URL: http://www/nbuv.gov.ua/port/soc_gum/rpei/2011_29/Sherepa.pdf

7. Наумова О.Е., Антонова О.І. Сервіс як фактор підвищення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень. УКРДАЗТ, 2012. С. 62–69.
8. Стратегія сталої логістики для України на період до 2030 року. URL: <http://publications.chamber.ua/2018/Infrastructure/Стратегія.docx>.
9. Маркетинг транспортних послуг : навчальний посібник / О.І. Зоріна, В.А. Волохов, І.В. Волохова та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 305 с.

References

1. Aksenov I.M. (2002). The concept of service in the field of passenger transportation [Kontseptsiya servisa v sfere passazhirskikh perevozk]. Railway transport of Ukraine, 1, 11–15. [in Ukrainian].
2. Ivankova L.N. (2005). Servis na transporte [Service on transport]. M. : Marshrut, 75. [in Ukrainian].
3. Illovayskiy N.D. (2003). Servis na transporte (zheleznodorozhnom) [Service on transport (railway)]. M. : Izd-vo «Marshrut», 585 [in Ukrainian].
4. Barash YU.S. (2009). Methods of conducting research to improve the efficiency of management decisions for the organization of passenger traffic. [Metodyka provedennya doslidzhen stosovno pidvyshchennya efektyvnosti upravlinskykh rishen orhanizatsiyi pasazhyrskykh perevezen]. Problemy pidvyshchennya efektyvnosti infrastruktury. K. : NAU. 9–13 [in Ukrainian].
5. Rudyachenko I.F. (2009). Improving the quality of transport services on the basis of marketing and logistics. [Pidvyshchennya yakosti transportnykh posluh na osnovi kompleksu marketynh-lohistyky]. Materialy Pershoyi Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Marketynh i lohistyka v systemi menedzhmentu pasazhyrskykh perevezen na zaliznychnomu transporti». K. : DAZTU. 34–44 [in Ukrainian].
6. Sherepa K.M. (2011), “Railway Passenger Service Centers”, *Servis-tseny z obsluhovuvannya pasazhyriv na zaliznychnomu transporti*. URL: http://www/nbuv.gov.ua/port/soc_gum/ppei/2011_29/Sherepa.pdf [in Ukrainian].
7. Naumova O.E., Antonova O.I. (2012) Servis yak faktor pidvyshchennya konkurento-spromozhnosti zaliznychnykh pasazhyrskykh perevezen. UKRDAZT, 62–69 [in Ukrainian].
8. Sustainable logistics strategy for Ukraine until 2030 [Stratehiya staloyi lohistyky dlya Ukrayiny na period do 2030 roku]. URL: <http://publications.chamber.ua/2018/Infrastructure/Стратегія.docx> (Accessed 29 August 2013).
10. Zorina O.I., Volokhov V.A. and Volokhova I.V. (2018). Marketynh transportnykh posluh: navchalnyy posibnyk. Kharkiv. UkrDUZT [in Ukrainian].

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.463

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.04>

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНІВ ІЗ ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЯХ¹

О.В. Фомін¹, А.О. Ловська²

¹д.т.н., професор, професор кафедри вагонів та вагонного господарства,
Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-2387-9946

²к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції,
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

Анотація

Вступ. Транспортна галузь є невід'ємною частиною розвитку національної економіки країни. Для забезпечення її безперебійного функціонування особлива увага має приділятися технічній забезпеченості залізничного парку. Тому важливим є впровадження заходів, які сприятимуть покращенню експлуатації рухомого складу.

Мета. Обґрунтування впровадження пружних елементів у несучі конструкції вантажних вагонів для зменшення їх динамічної навантаженості в експлуатації.

Результати. Для зменшення динамічної навантаженості основних типів вантажних вагонів в експлуатації запропоновано впровадження в їх несучі конструкції пружних елементів. За рахунок опору сил сухого тертя між вертикальними частинами горизонтальних листів, під якими розміщуються пружні елементи, та стінок П-подібного профілю здійснюється зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів. Для обґрунтування запропонованого рішення проведено математичне моделювання. Для цього складено математичну модель, яка враховує вертикальні переміщення вагонів, що рухаються в порожньому стані стиковою нерівністю. Розв'язок математичної моделі здійснений у програмному комплексі MathCad. Дослідження проведені стосовно найбільш поширених типів вантажних вагонів в експлуатації: напіввагон, вагон-платформа, критий вагон. Встановлено, що запропоновані рішення дають змогу зменшити динамічну навантаженість несучих конструкцій вагонів порівняно з вагонами-прототипами: напіввагон – 35%, вагон-платформа – 15%, критий вагон – 20%. Хід руху вагонів оцінюється як «відмінний». **Висновки.** Проведені дослідження сприятимуть зменшенню втомної міцності несучих конструкцій вагонів, створенню відповідних напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій вагонів, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

Ключові слова: транспортна механіка, вантажний вагон, несуча конструкція, динамічна навантаженість, моделювання динаміки.

¹ Ці дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених «Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів», яка виконується коштом державного бюджету України з 2020 р.

**DETERMINATION OF DYNAMIC LOAD OF CARS WITH ELASTIC
ELEMENTS IN SUPPORTING STRUCTURES**

O.V. Fomin¹, A.O. Lovska²

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Cars and Carriage
Facilities,

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0003-2387-9946

²Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department
of Wagon Engineering and Product Quality,

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

Summary

Introduction. *The transport sector is an integral part of the development of the national economy. To ensure its smooth operation, special attention should be paid to the technical security of the railway fleet. Therefore, it is important to implement measures that will improve the operation of rolling stock. Purpose.* Rationale for the introduction of elastic elements in the load-bearing structures of freight cars to reduce their dynamic load in operation. **Results.** *To reduce the dynamic load of the main types of freight cars in operation, it is proposed to introduce elastic elements in their load-bearing structures. Due to the resistance of dry friction forces between the vertical parts of the horizontal sheets, under which the elastic elements are placed, and the walls of the U-shaped profile, the dynamic load of the load-bearing structures of cars is reduced. Mathematical modeling was performed to substantiate the proposed solution. To do this, a mathematical model is developed that takes into account the vertical movements of cars moving in the empty state by the butt roughness. The solution of the mathematical model is made in the MathCad software package. Research has been conducted on the most common types of freight cars in operation: gondola car, platform car, covered car. It is established that the proposed solutions allow to reduce the dynamic load of the load-bearing structures of cars in comparison with prototype cars: gondola – 35%, platform car – 15%, covered car – 20%. The movement of cars is assessed as “excellent”. Conclusions.* The conducted researches will promote reduction of fatigue strength of bearing designs of cars, creation of corresponding developments concerning designing of innovative designs of cars, and also increase of efficiency of operation of railway transport.

Key words: *transport mechanics, freight car, load-bearing structure, dynamic loading, dynamics modeling.*

Постановка проблеми. *Забезпечення ефективної експлуатації транспортної галузі можливе за умови надійної та злагодженої експлуатації окремих її складників. Відомо, що залізничний транспорт є однією з ключових складових частин транспортної галузі. Для утримання лідерських позицій залізничного транспорту важливим є впровадження в експлуатацію інноваційного рухомого складу.*

Дослідження статистичних даних пошкоджень вагонів за останні роки дають змогу зробити висновок, що одним із найбільш пошкоджуваних вузлів є несучі конструкції вагонів. Це зумовлено дією на них значних динамічних навантажень,

що виникають в експлуатації. Періодичність дії таких навантажень сприяє зменшенню втомної міцності несучих конструкцій вагонів, а отже, необхідності проведення позапланових видів ремонту або виключення вагонів з інвентарного парку. У зв'язку з цим виникає необхідність впровадити заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення статичної міцності несучої конструкції вагона серії Zans висвітлюється в роботі [1]. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів у програмі CosmosWorks. Отримані результати сприятимуть створенню більш оптимальних конструкцій вагонів.

Дослідження міцності елементів рухомого складу на прикладі хребтових балок проводиться в роботі [2]. Наведений приклад використання запропонованого підходу засвідчив його працездатність та ефективність, а також правильність спрямування відповідних науково-дослідних робіт.

Однак заходів щодо зменшення динамічної навантаженості рами вагона шляхом застосування принципів мультифункціональності її елементів у цих роботах не запропоновано.

Виявлення причин виникнення тріщин у несучій конструкції рами вагона проводиться в роботі [3], де описується методологія, яка використовується для виявлення причин виникнення тріщин поблизу зварювального з'єднання. Розрахунок проведений стосовно рами вагона типу Sgmns. Однак автори цієї роботи обмежилися виявленням причин виникнення тріщин, а заходів щодо їх попередження в несучих конструкціях шляхом використання мультиматеріального підходу не запропонували.

У роботі [4] висвітлюються особливості проектування, аналізу та проектно розробки залізничних вагонів нового покоління. Дослідження проведені для Індійської залізниці. При цьому використані міжнародні стандарти для різних умов завантаження, дотримання оптимальних габаритів вагонів тощо. Однак у процесі проектування цих конструкцій вагонів не враховано заходів щодо зменшення втомної міцності при експлуатаційних режимах навантаження.

Особливості вдосконалення несучої конструкції вантажного вагона шляхом використання алюмінієвих панелей проводиться в роботі [5]. Характеристична функція пошуку оптимальної комбінації визначена максимальними напруженнями та зміщеннями. Однак у роботі не зазначено, яким чином зменшується динамічна навантаженість вагона з урахуванням використання запропонованих панелей.

Заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів при комбінованих перевезеннях запропоновані в роботах [6; 7]. При цьому пропонується використання пружних, а також зв'язків між одиницями транспортних засобів комбінованих перевезень. Однак впровадження пружних, а також зв'язків зв'язків у несучі конструкції вагонів для зменшення їх динамічної навантаженості в зазначених роботах не проводиться.

На підставі аналізу літературних джерел [1–7] можна зробити висновок, що досі питанням зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів шляхом впровадження пружинних елементів у них не висвітлювалися. Це викликає необхідність проведення відповідних досліджень у цьому напрямі.

Формулювання мети статті. Метою статті є обґрунтування впровадження пружних елементів у несучі конструкції вантажних вагонів для зменшення їх динамічної навантаженості в експлуатації. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- 1) запропонувати концепти основних несучих елементів кузовів (рам) вантажних вагонів;
- 2) провести математичне моделювання динамічної навантаженості вагонів з урахуванням запропонованих заходів;
- 3) проаналізувати результати визначення динамічної навантаженості вагонів із пружними елементами в несучих конструкціях.

Об'єктом дослідження є несучі конструкції вантажних вагонів.

Предмет дослідження – динамічна навантаженість несучих конструкцій вантажних вагонів.

Виклад основного матеріалу. З метою зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів та підвищення втомної міцності при експлуатаційних режимах пропонується впровадження в найбільш навантажені елементи їх рам пружних зв'язків. Підвищення втомної міцності здійснюється шляхом зменшення динамічної навантаженості основних несучих елементів рам за рахунок опору сил сухого тертя між вертикальними частинами горизонтальних листів, під якими розміщуються пружні елементи, та стінок П-подібного профілю. Дослідження проведені стосовно напіввагона, вагона-платформи та критого вагона (рис. 1).

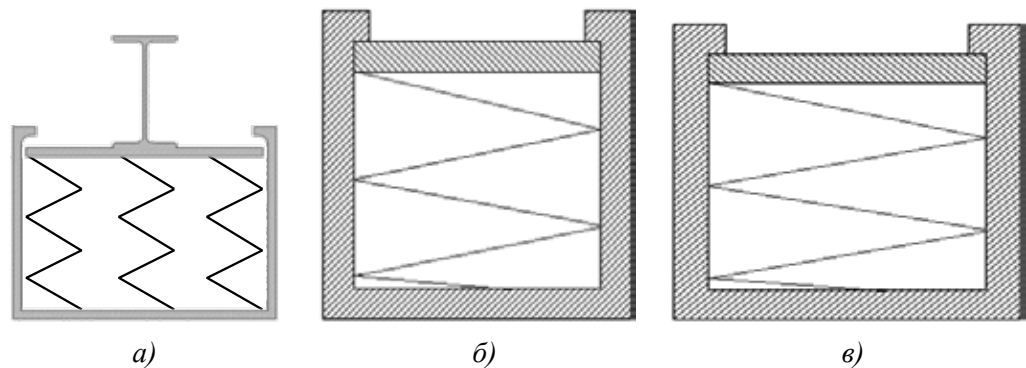


Рис. 1. Розміщення пружних елементів в основних несучих елементах вагонів:
а) хребтова балка напіввагона; б) повздовжня балка довгобазного вагона-платформи; в) хребтова балка критого вагона

Як прототипи вибрані напіввагон моделі 12-757, вагон-платформа моделі 13-7024, а також критий вагон моделі 11-217 (рис. 2).

Розміщення пружних елементів у несучих конструкціях зазначених типів вагонів наведено на рис. 3.

При цьому враховано, що вагони рухаються в порожньому стані стиковою нерівністю. Дослідження проведені в плоскій системі координат.

Рівняння руху, які описують переміщення несучих конструкцій вагонів, при цьому мають вигляд:



а)

б)



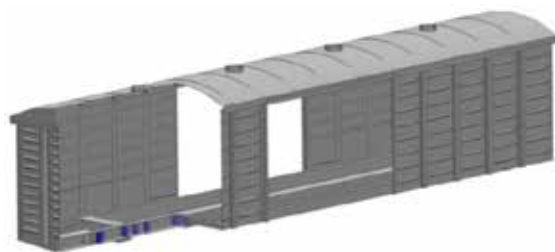
в)

Рис. 2. Досліджувані типи вантажних вагонів:
а) напіввагон; б) вагон-платформа; в) критий вагон



а)

б)



в)

Рис. 3. Просторові моделі вантажних вагонів з пружними елементами в несучих конструкціях: а) напіввагон; б) вагон-платформа; в) критий вагон

$$\begin{aligned}
 M_1 \cdot \ddot{q}_1 + C_{1,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{1,2} \cdot \dot{q}_2 + C_{1,3} \cdot \dot{q}_3 = \\
 = -F_{TP} \cdot \left(\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2) \right),
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 M_2 \cdot \ddot{q}_2 + C_{2,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{2,2} \cdot \dot{q}_2 + B_{2,2} \cdot \dot{q}_2 = \\
 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) + \beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2),
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 M_3 \cdot \ddot{q}_3 + C_{3,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{3,3} \cdot \dot{q}_3 + B_{3,3} \cdot \dot{q}_3 = \\
 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4) + \beta(\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4),
 \end{aligned} \tag{3}$$

де M_i – інерційні коефіцієнти елементів коливальної системи (кузов вагона та дві ходові частини); C_{ij} – характеристика пружності елементів коливальної системи; B_{ij} – функція розсіювання; a – половина бази візка; q_i – узагальнені координати, що відповідають поступальному переміщенню відносно вертикальної осі, відповідно, кузова вагона, першого та другого візка; k – жорсткість колії; β – коефіцієнт демпфірування; F_{TP} – сила абсолютного тертя в ресорному комплекті; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta(t)$ – нерівності колії.

Для обґрунтування запропонованого рішення проведено математичне моделювання. Розрахункова схема наведена на рис. 4.

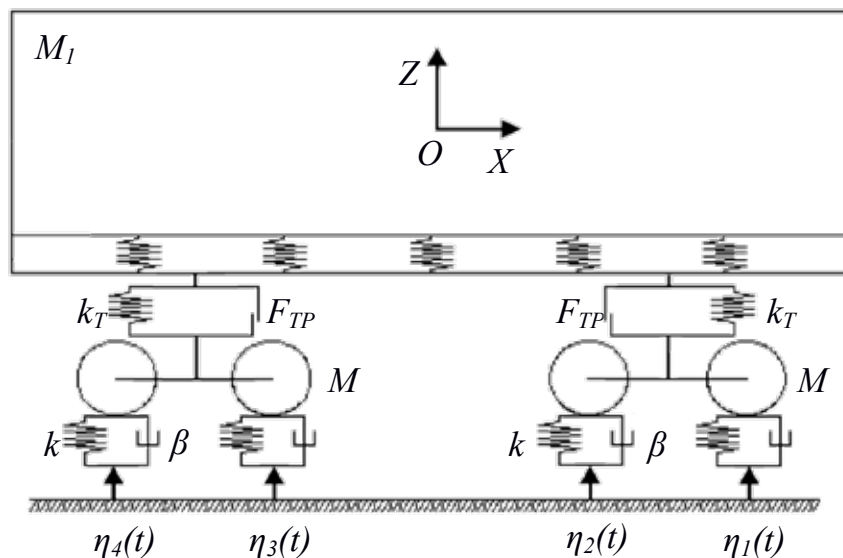


Рис. 4. Розрахункова схема вантажного вагона

Зв'язок кузова з ходовою частиною описувався як послідовне пружне з'єднання:

$$C = \frac{k_b \cdot (k_T + k_T)}{k_b + (k_T + k_T)} \quad (4)$$

Стикова нерівність описувалася періодичною функцією [8]:

$$\eta(t) = \frac{h}{2}(1 - \cos \omega t), \quad (5)$$

де h – глибина нерівності; ω – частота коливань, яка визначається за формулою $\omega = 2\pi V/L$ (V – швидкість руху вагона, L – довжина нерівності).

Розв'язок диференціальних рівнянь руху здійснений у програмному комплексі MathCad [9–11]. Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю [12; 13]

$$Y0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Розв'язок моделі в програмному комплексі MathCad визначався у вигляді

$$F(t, y) = \begin{pmatrix} y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ \frac{-F_{TP} \cdot (\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2)) - C_{1,1} \cdot y_1 - C_{1,2} \cdot y_2 - C_{1,3} \cdot y_3}{M_1} \\ \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) + \beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) - C_{2,1} \cdot y_1 - C_{2,2} \cdot y_2 - B_{2,2} \cdot y_5}{M_2} \\ \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4) + \beta(\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) - C_{3,1} \cdot y_1 - C_{3,3} \cdot y_3 - B_{3,3} \cdot y_6}{M_3} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$Z = \text{rkfixed}(Y0, tn, tk, n, F).$$

При цьому $y_1 = q_1$, $y_2 = q_2$, $y_3 = q_3$, $y_4 = \dot{q}_1$, $y_5 = \dot{q}_2$, $y_6 = \dot{q}_3$.

Результати розрахунку наведені на рис. 5–7.

Максимальне вертикальне прискорення кузова напіввагона в порожньому стані становить близько $1,8 \text{ м/с}^2$ ($0,18 \text{ g}$). Хід вагона оцінюється як «відмінний» [14; 15]. При цьому використання хребтової балки з пружними елементами дає змогу зменшити динамічну навантаженість напіввагона порівняно з вагоном-прототипом майже на 35%.

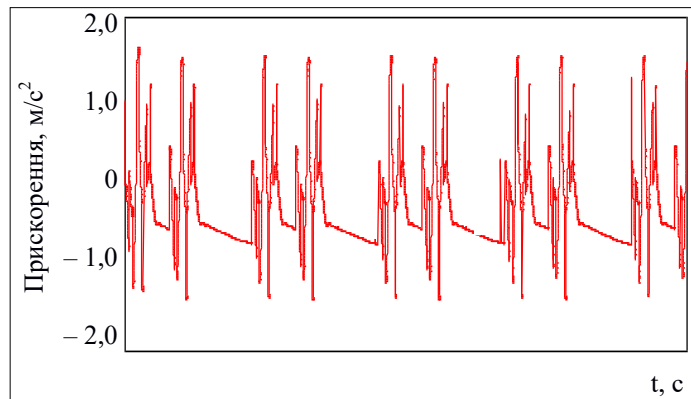


Рис. 5. Прискорення несучої конструкції напіввагона в центрі мас

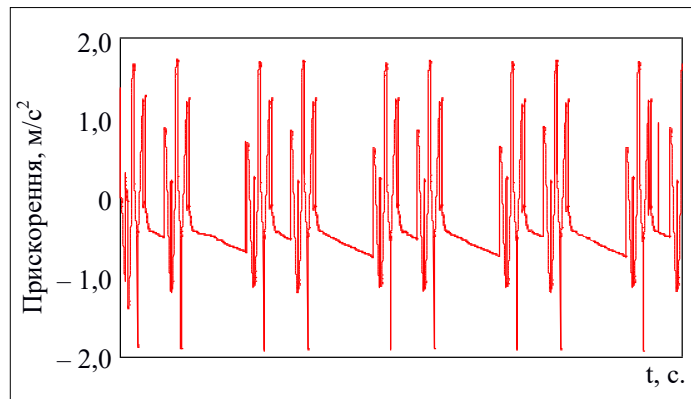


Рис. 6. Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в центрі мас

Максимальне вертикальне прискорення несучої конструкції вагона-платформи в порожньому стані становить близько $2,0 \text{ м/с}^2$ ($0,2 \text{ g}$). З урахуванням запропонованого рішення стає можливим знизити вертикальні прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи на 15% порівняно з вагоном-прототипом. Хід вагона оцінюється як «відмінний».

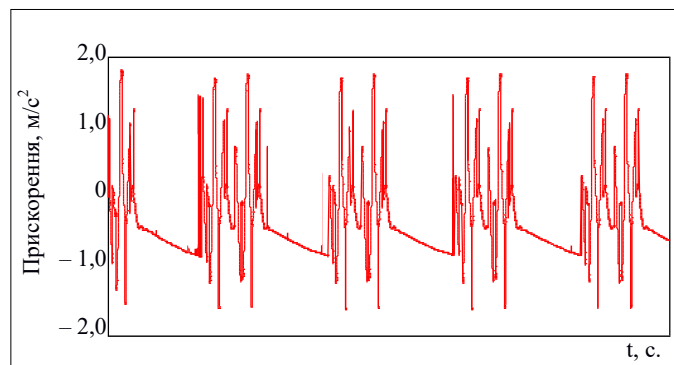


Рис. 7. Прискорення несучої критого вагона в центрі мас

Максимальне вертикальне прискорення несучої конструкції критого вагона в порожньому стані становить близько $1,57 \text{ м/с}^2$ ($0,16 \text{ g}$). З урахуванням запропонованого рішення стає можливим знизити вертикальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона майже на 20%. Хід вагона оцінюється як «відмінний».

Отже, впровадження пружних елементів в несучі конструкції вантажних вагонів сприяє зменшенню їх динамічної навантаженості на 20–35% порівняно з типовими конструкціями вагонів (рис. 8).

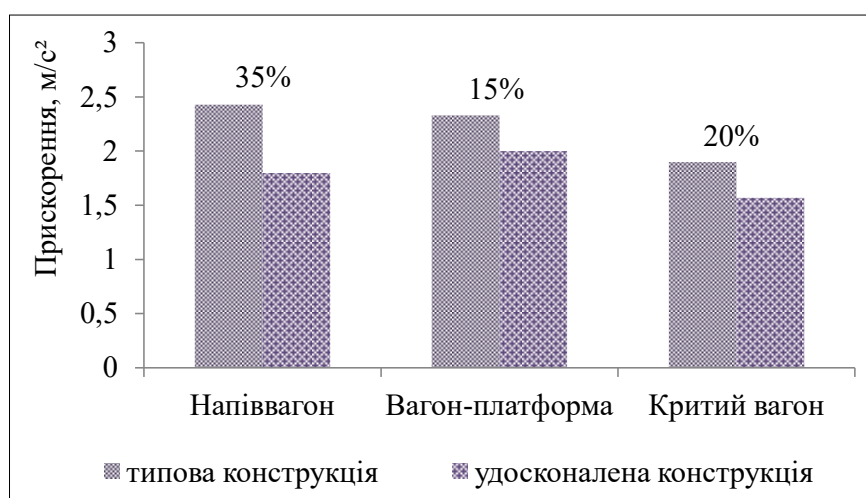


Рис. 8. Порівняльний аналіз прискорень несучих конструкцій вагонів

Це сприятиме зменшенню втомної міцності несучих конструкцій вагонів, подовженню строку їх експлуатації, зменшенню витрат на позапланові види ремонтів, а також створенню відповідних напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу.

Висновки. Запропоновано концепти основних несучих елементів кузовів (рам) вантажних вагонів. Для зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів та підвищення втомної міцності при експлуатаційних режимах пропонується впровадження в найбільш навантажені елементи їх рам пружних зв'язків.

Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості вагонів з урахуванням запропонованих заходів. Дослідження здійснені за умови руху вагонів у порожньому стані стиковою нерівністю. Встановлено, що максимальне вертикальне прискорення кузова напіввагона у порожньому стані становить близько $1,8 \text{ м/с}^2$ ($0,18 \text{ g}$), вагона-платформи – близько $2,0 \text{ м/с}^2$ ($0,2 \text{ g}$), критого вагона – близько $1,57 \text{ м/с}^2$.

Проаналізовано результати визначення динамічної навантаженості вагонів із пружними елементами в несучих конструкціях. Використання хребтової балки з пружними елементами дає змогу зменшити динамічну навантаженість напіввагона порівняно з вагоном-прототипом майже на 35%. Впровадження пружних елементів у несучу конструкцію вагона-платформи дає змогу знизити

вертикальні прискорення, які діють на неї на 15% порівняно з вагоном-прототипом. Використання пружних елементів у несучій конструкції критого вагона дозволяє зменшити вертикальні прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона майже на 20%.

При подальших дослідженнях питань впровадження пружних елементів у несучі конструкції вантажних вагонів важливим є визначення їхньої втомної міцності, а також проведення експериментальних досліджень. Отримані результати сприятимуть створенню інноваційних конструкцій рухомого складу, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Slavchev S., Stoilov V., Purgic S. Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans. *Journal of the Balkan Tribological Association*. 2015. Vol. 21. No 1. P. 38–57.
2. Недужа Л.О., Швець А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. Наука та прогрес транспорту. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 1 (73). P. 131–147. DOI: 10.15802/stp2018/123457
3. Milovanovic V., Dunic V., Rakic D., Zivkovic M. Identification causes of cracking on the underframe of wagon for containers transportation – Fatigue strength assessment of wagon welded joints. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 31. P. 118–131. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.039>
4. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed, Maniraj M. Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. Preprint, 2020, March.
5. Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Journal of Rail and rapid transit*. 2016. Vol. 11.
6. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Radkevych Valentyna, Horban Anatoliy, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 21. P. 3747–3752.
7. Fomin O., Lovska A. Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology an International Journal*. 2020. Vol. 23. Issue 6. P. 1455–1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010>
8. Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. Основи динаміки вагонів. Київ : КУЕТТ, 2003. 269 с.
9. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*. 2020. MARTCH. P. 3728–3733. DOI: 10.17973 / MMSJ.2020_03_2019043

10. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019. Vol. 29. P. 118–123. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>
11. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6. No. 7 (108). P. 21–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217162
12. Vatulia G.L., Lobiak O.V., Deryzemlia S.V., Verevicheva M.A., Orel Ye.F. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 664. 012014. DOI: 10.1088/1757-899X/664/1/012014
13. Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 02037. DOI: 10.1051/mateconf/201823002037
14. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.
15. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.

REFERENCES

1. Slavchev, S., Stoilov, V., Purgic, S. (2015). Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 2015. Vol. 21. No 1. P. 38–57.
2. Neduzha, L.O., Shvec, A.O. (2018). Teoretichni ta eksperimentalni doslidzhennya micnisnih yakостей hrebtovoyi balki vantazhnogo vagona. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu*. 2018. № 1 (73). P. 131–147. DOI: 10.15802/stp2018/123457 [in Ukrainian]
3. Milovanovic, V., Dunic, V., Rakic, D., Zivkovic, M. (2013). Identification causes of cracking on the underframe of wagon for containers transportation – Fatigue strength assessment of wagon welded joints. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 31. P. 118–131. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.039>
4. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed, Maniraj M. (2020). Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. *Preprint*. 2020. March.
5. Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park. (2016). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Journal of Rail and rapid transit*. 2016. Vol. 11.
6. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Radkevych Valentyna, Horban Anatolij, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. (2019). The dynamic loading analysis

- of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 21. P. 3747–3752.
7. Fomin, O., Lovska, A. (2020). Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology an International Journal*. 2020. Vol. 23. Issue 6. P. 1455–1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010>
 8. Domin, Yu. V., Chernyak, G. Yu. (2003). *Osnovi dinamiki vagoniv*. Kiyiv: KUETT, 2003. 269 s. [in Ukrainian]
 9. Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*. 2020. MARTCH. P. 3728–3733. DOI: 10.17973 / MMSJ.2020_03_2019043
 10. Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019. Vol. 29. P. 118–123. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>
 11. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. (2020). Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6. No. 7(108). P. 21–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217162
 12. Vatulia, G.L., Lobiak, O.V., Deryzemlia, S.V., Verevicheva, M.A., Orel, Ye.F. (2019). Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 664. 012014. DOI:10.1088/1757-899X/664/1/012014
 13. Vatulia, G., Komagorova, S., Pavliuchenkov, M. (2018). Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 02037. DOI: 10.1051/mateconf/201823002037
 14. DSTU 7598:2014. *Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih)*. Kiyiv, 2015. 162 s. [in Ukrainian]
 15. GOST 33211-2014. *Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam*. Moskva, 2016. 54 s. [in Russian]

РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.436.13: 519.651

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.05>

АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС ІНДИКАТОРНИХ ДІАГРАМ

Є.В. Білоусов¹, В.П. Савчук², Г.Я. Тулученко³

¹к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-8185-8209

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

³д.т.н., професор, професор кафедри вищої математики і математичного моделювання,
Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6196-540X

Анотація

Вступ. Недоліком представлення індикаторних діаграм у системах моніторингу стану двигунів є подання їх за допомогою сплайнів. Структура поліномів, якими описуються ланки сплайнів, не відбиває закономірностей термодинаміки, механіки, хімічної кінетики та теплопередачі, за якими відбуваються відповідні процеси під час робочого циклу двигуна. **Мета.** Мета роботи – обґрунтувати структуру аналітичного опису індикаторної діаграми для малообертового дизельного двигуна (МОД) на основі кусково-неперервних функцій, розробити алгоритм апроксимації індикаторної діаграми кусково-неперервною функцією за допомогою інструментів пакета DirectSearch. **Результати.** Знаходження числових значень параметрів апроксимуючої функції здійснюється шляхом розв'язання задачі нелінійної умовної оптимізації за допомогою методу спряжених напрямів з ортогональним зсувом. Обробка тестових експериментальних залежностей показала можливість знаходження за індикаторною діаграмою показників фізичних та хімічних процесів робочого циклу двигуна (на прикладі МОД) із задовільною точністю. **Висновки.** Апроксимація індикаторних діаграм кусково-неперервними функціями, до складу яких входять функції, що мають фізичний та хімічний зміст, дає змогу проводити теоретичний аналіз якості робочих циклів двигунів. Запропоновану для апроксимації індикаторної діаграми функцію можна розглядати як напівлокальний апроксимуючий сплайн, ланки якого мають гладкість стикування порядку C_0 . Її окремі ланки описуються лінійними функціями, політропними функціями, функцією, яка є модифікованою похідною від функції Вібе, функцією, що моделює витік газу з резервуара в критичному режимі. Перспективи подальших досліджень пов'язані з підвищенням точності апроксимації за рахунок збільшення кількості ланок кусково-неперервної функції, що відповідає наближенню індикаторної діаграми більшою кількістю політропних кривих.

Це своєю чергою забезпечує більш адекватний опис індикаторної діаграми шляхом виділення ланок, на яких теплоємності робочого тіла можна вважати сталими або такими, що змінюються за поліноміальними залежностями.

Ключові слова: індикаторна діаграма, політропні криві, функція Вібе, апроксимація.

ANALYTICAL DESCRIPTION OF INDICATOR DIAGRAMS

Ie.V. Bilousov¹, V.P. Savchuk², H.Ya. Tuluchenko³

¹Ph.D. in Technology, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Vessel's Power Plants Operation,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-8185-8209

²Ph.D. in Technology, Associate Professor,
Head of the Department of Vessel's Power Plants Operation,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5266-850X

³Doctor of Engineering Science, Professor,
Professor at the Department of Higher Mathematics and Mathematical Modelling,
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6196-540X

Summary

Introduction. *The disadvantage of presenting indicator diagrams in engine condition monitoring systems is their representation using splines. The structure of polynomials, which describe the links of splines, does not reflect the laws of thermodynamics, mechanics, chemical kinetics and heat transfer, which are the corresponding processes during the operating cycle of the engine.* **Purpose.** *To substantiate the structure of the analytical description of the indicator diagram for a two-stroke diesel engine on the basis of piecewise continuous functions. Develop an algorithm for approximating the indicator diagram with a piecewise continuous function using the tools of the DirectSearch package.* **Results.** *Finding the numerical values of the parameters of the approximating function is carried out by solving the problem of nonlinear conditional optimization using the method of conjugate directions with orthogonal shift. Processing of test experimental dependences has shown the possibility of finding the indicators of physical and chemical processes of the engine cycle (on the example of a two-stroke diesel engine) with satisfactory accuracy according to the indicator diagram.* **Conclusions.** *Approximation of indicator diagrams by piecewise continuous functions, which include functions with physical and chemical content, allows for theoretical analysis of the quality of engine cycles. The function proposed for the approximation of the indicator diagram can be considered as a semi-local approximating spline, the links of which have a smooth connection of the order of C_0 . Its individual links are described by linear functions, polytropic functions, a function that is a modified derivative of the Vibe function, a function that simulates gas leakage from the tank in the critical mode. Prospects for further research are related to increasing the accuracy of the approximation by increasing the number of units of the piecewise function, which corresponds to the approximation of the indicator diagram with a larger number of*

polytropic curves. This, in turn, provides a more adequate description of the indicator chart by highlighting the links on which the heat capacity of the working fluid can be considered constant or varying in polynomial dependences.

Key words: *indicator diagram, polytropic curves, Vibe function, approximation.*

Вступ. Індикаторна діаграма наочно відображає основні характеристики робочого циклу двигуна. Візуалізація індикаторних діаграм передбачена в усіх сучасних системах діагностики двигунів внутрішнього згоряння (зокрема, двигунів морських суден) [1; 10; 12; 18; 20]. Наприклад, у системах діагностування: EMOS та Technical Diagnostic Laboratory [11], у спеціалізованому пакеті програм AVL FIRE від компанії AVL (Advanced Simulation Technologies) [22; 25], в програмному модулі WPREMET, який постачається разом системою оптимізації впорскування палива LEMAG PREMET® C [19]. До складу програмного забезпечення морського симулятор Unitest входить Diesel Engine Tester, який також виконує візуалізацію індикаторних діаграм [11; 24].

Постановка проблеми. Спільним недоліком представлення індикаторних діаграм у цих системах є подання їх за допомогою сплайнів. Форма графіку індикаторної діаграми визначається в результаті взаємодії багатьох закономірностей термодинаміки, механіки, хімічної кінетики, теплопередачі [3]. Але коефіцієнти поліномів, що використовуються для опису ланок сплайнів, не несуть інформації про характеристики процесів стискування, розширення, згоряння, теплообміну, які відбуваються під час робочого циклу двигуна. Тому теоретичне дослідження впливу окремих факторів на показники робочого циклу на підставі сплайнової інтерполяції індикаторної діаграми не виявляється можливим.

Отже, актуальним є дослідження можливостей аналітичного опису індикаторної діаграми за допомогою рівнянь складених кривих, ланки яких відповідають фазам робочого циклу двигуна. Структура цих рівнянь має відбивати згадувані вище закономірності термодинаміки, механіки, хімічної кінетики та теплопередачі.

Оскільки ці рівняння є нелінійними і також наперед невідомими, є координати точок стикування ланок складеної кривої, що апроксимує експериментальну індикаторну діаграму, тому задача встановлення числових значень параметрів рівнянь є складною задачею багатопараметричної нелінійної умовної оптимізації. Формування алгоритмів її розв'язання на підставі використання можливостей сучасних систем комп'ютерної математики має велике прикладне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Лінії стискування та розширення індикаторної діаграми найбільш часто моделюють за допомогою рівнянь політроп зі сталими показниками степенів [3, с. 92–93]. Наприклад, політропа стиснення описується рівнянням:

$$p(\alpha) = p_a \left(\frac{v_a}{v(\alpha)} \right)^{n_{Comp}}, \quad (1)$$

де p_a – тиск робочого тіла на початку процесу стиснення; v_a – питомий об'єм робочого тіла в той же момент часу; n_{Comp} – сталий показник політропи; $p(\alpha)$ та $v(\alpha)$ – поточні значення тиску та питомого об'єму робочого тіла залежно від кута повороту колінчастого валу.

Сталий показник ступеня політропи (1) є суттєвим спрощенням реальної залежності тиску від питомого об'єму робочого тіла. Закон зміни показника ступеня політропи стиснення (або розширення) в кожному випадку може бути встановлений експериментально. У літературі зустрічається узагальнення формули (1) в двох напрямках. У роботі [23] використовується політропа з показником ступеня, який виражається поліномом третього степеня.

У роботі [6] запропоновано відкриту індикаторну діаграму робочого циклу двигуна Стірлінга розбивати на 8 ділянок, на кожній з яких для апроксимації використовувати політропну залежність зі сталими показниками степенів. Відносна похибка наближення експериментальної індикаторної діаграми, яка досліджується в роботі [6], становить 2,0%. Апроксимація тієї ж залежності за допомогою шести послідовних політроп підвищує похибку до 3,3%.

Власне процес згоряння палива моделюється за допомогою функції Вібе [13]. У роботі [17] для моделювання процесу згоряння палива в дизельному двигуні використовується подвійна функція Вібе.

У роботі [15] для моделювання залежності тиску на лінії стискування використовується рівняння політропи зі сталим показником ступеня. Тиск у період згоряння палива p_{Comb} пропонується описувати залежністю:

$$p_{Comb} = (1 - f_{Wiebe}) \cdot p_{Comp} + f_{Wiebe} \cdot p_{Exp},$$

де p_{Comp} – тиск на лінії стискування; p_{Exp} – тиск на лінії розширення; f_{Wiebe} – функція Вібе.

На думку авторів статті [15], побудована ними модель добре узгоджується з експериментальними даними. З таким твердженням важко погодитися, оскільки на ділянках, які відповідають періоду відкритого стану випускних органів, відносна похибка наближення сягає 45%.

У великій частині опублікованих робіт має місце апроксимація тільки окремої частини індикаторної діаграми, яка цікавить дослідника [21]. У роботі [7] використовується поліноміальна апроксимація окремих ділянок індикаторної діаграми. У роботі [2] запропоновано для ділянки індикаторної діаграми в околі верхньої мертвої точки використовувати лінійну апроксимацію, а швидкість зміни тиску в околі тієї ж точки – апроксимувати синусоїдальною залежністю.

Інша частина публікацій, на які спирається дане дослідження, стосується реалізацій методів нелінійної умовної оптимізації в системах комп'ютерної математики (СКМ).

Авторами для проведення досліджень використовувалася СКМ Maple та сумісний із нею пакет спеціального призначення DirectSearch. Апроксимація експериментальних залежностей нелінійними функціями в СКМ Maple здійснюється за допомогою команди NLPSolve пакету Optimization або команди NonlinearFit пакету Statistics. Методи умовної нелінійної оптимізації, які використовуються при виконанні цих команд, розроблені фахівцями компанії Numerical Algorithms Group (NAG). Названі методи є ітераційними за своєю природою, і вимагають від користувача вибору початкової точки. Серед цих методів тільки один орієнтований на розв'язання довільних нелінійних задач оптимізації з обмеженнями або без них – метод послідовного квадратичного програмування.

Пакет DirectSearch з'явився у 2011 р. У ньому реалізований універсальний метод оптимізації CDOS (Conjugate Direction with Orthogonal Shift). Метод використовує спряжені напрямки разом з ортогональним зсувом [8].

Функція DataFit пакету DirectSearch призначена для знаходження параметрів функції, за допомогою якої виконується апроксимація експериментальних даних [8]. Апроксимація може бути здійснена одним із восьми методів, які відрізняються функціями для оцінки точності виконуваного наближення. Для розв'язання власне задач мінімізації похибки наближення застосовується метод CDOS.

Формулювання цілей статті. Мета роботи – обґрунтувати структуру аналітичного опису індикаторної діаграми для МОД на основі кусково-неперервних функцій, розробити алгоритм апроксимації індикаторної діаграми кусково-неперервною функцією за допомогою інструментів пакета DirectSearch.

Виклад основного матеріалу. Для апроксимації індикаторної кривої кусково-неперервною функцією розіб'ємо відрізок зміни кута повороту колінчастого валу $\alpha \in [\alpha_0; \alpha_0 + 2\pi]$ на частини, які відповідають фазам робочого циклу двотактного дизельного двигуна: α_0 – кут початку моніторингу тиску; α_1 – кут закриття випускного клапана; α_2 – кут початку видимого горіння палива; α_3 – кут кінця видимого горіння палива; α_4 – кут відкриття випускного клапана; α_5 – кут усталення тиску в циліндрі.

Очевидно, що моніторинг зміни тиску починаються в момент, коли продувне вікно є відкритим та $\alpha_0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 < \alpha_0 + 2\pi$.

На ділянці $[\alpha_0; \alpha_1]$ тиск у камері згоряння наближено будемо вважати постійним:

$$p_1(\alpha) \approx K_1, \quad (2)$$

де $\alpha \in [\alpha_0; \alpha_1]$; $K_1 = const$.

До моменту займання суміші процес зміни тиску в циліндрі вважається політропним [3]. Як вже зазначалося, реальний процес стиснення описується політропною кривою зі змінним показником, який для судових ДВЗ змінюється від значення 1,5 на початку стиснення до значення 1,1 у верхній «мертвій» точці (ВМТ) [4]. У першому наближенні будемо вважати, що показник ступеня політропи стиснення n може бути описаний поліноміальною залежністю відносно питомого об'єму робочого тіла $v(\alpha)$:

$$n(v(\alpha)) = \sum_{i=0}^N n_i (v(\alpha))^i, \quad (3)$$

де $n_i \in R$ – шукані параметри; N – степінь полінома.

Тоді на ділянці $[\alpha_1; \alpha_2]$ залежність тиску робочого тіла від кута повороту колінчастого валу може бути наближена політропною функцією виду:

$$p_2(\alpha) = p_a \left(\frac{v_a}{v(\alpha)} \right)^{n_{Compress}(v(\alpha))}, \quad (4)$$

де p_a та v_a – тиск та питомий об'єм робочого тіла в точці закриття випускного клапана; $v(\alpha) = \frac{v_a}{\varepsilon} \cdot \psi(\alpha)$; $\psi(\alpha) = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \sigma(\alpha)$; ε – ступінь стискування;

$$\sigma(\alpha) = \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) - \left(\cos(\alpha_0 + \pi - \alpha) + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\alpha_0 + \pi - \alpha)}\right); \quad \lambda = r/L \quad - \text{відно-}$$

шення радіусу кривошипа до довжини шатуна L .

Функція $\sigma(\alpha)$ є кінематичною функцією ходу поршня. Вона наведена у скоригованому вигляді, який забезпечує відповідність верхньої «мертвої» точки індикаторної діаграми куту повороту колінчастого валу $\alpha = \alpha_0 + \pi$.

Для збереження загального підходу до позначення шуканих параметрів в апроксимуючій функції залежність (4) перепишемо у вигляді:

$$p_2(\alpha) = K_2 \left(\frac{K_3}{v(\alpha)} \right)^{n_{\text{Compress}}(v(\alpha))}, \quad (5)$$

де $K_2, K_3 \in R$ – шукані параметри; $n_{\text{Compress}}(v(\alpha))$ – поліном відносно функції $v(\alpha)$ з невідомими коефіцієнтами.

У роботі [3, с. 112] виведена залежність тиску робочого тіла в період згоряння палива, в якій задіяні функції залежать від часу згоряння $t \in [0; t_z]$:

$$p_3(t) = \frac{k-1}{A} \cdot \frac{q_z}{v^k(t)} \int \left(v^{k-1}(t) \cdot \frac{dx(t)}{dv(t)} \right) dv(t) + \frac{C_3}{v^k(t)}, \quad (6)$$

де $k = \frac{c_p}{c_v}$ – відношення теплоємностей робочого тіла; $A = \frac{c_p - c_v}{R}$; c_v – теплоємність робочого тіла при постійному об'ємі; c_p – теплоємність робочого тіла при постійному тиску; $R \approx 8.3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – універсальна газова стала; $\frac{dx}{dv(\alpha)}$ – швидкість згоряння палива за об'ємом; q_z – загальна питома використана теплота згоряння палива.

Частка палива x , яка згоріла до моменту часу t , описується залежністю [3, с. 49]

$$x(t) = 1 - \exp \left(C \cdot \left(\frac{t}{t_z} \right)^{m+1} \right), \quad (7)$$

де m – показник характеру згоряння палива; t – час згоряння палива; t_z – умовна тривалість згоряння палива; $C = \ln(1 - x_z)$; x_z – частка палива, яка згоріла до моменту практичного закінчення процесу горіння.

Час може бути перерахований через кут повороту колінчастого валу:

$$t = \frac{\alpha - \alpha_2}{2\pi n}, \quad (7)$$

де n – число обертів колінчастого валу за секунду [3, с. 49].

Після переходу від часової змінної t до змінної кута повороту колінчастого валу α залежність (6) набуває вигляду:

$$p_3(\alpha) = \frac{k-1}{A} \cdot \frac{\varepsilon}{v_a} \cdot \frac{q_z}{\varphi_z} \cdot \frac{1}{\psi^k(\alpha)} \cdot \int_{\alpha_2}^{\alpha} (\psi^{k-1}(\alpha) \cdot w_0(\alpha - \alpha_2)) d\alpha + p_y \left(\frac{v_y}{v(\alpha)} \right)^k, \quad (8)$$

де $w_0(\alpha - \alpha_2) = \frac{dx(t)}{d\left(\frac{t}{t_z}\right)} = \frac{dx(\alpha - \alpha_2)}{d\left(\frac{\alpha - \alpha_2}{\varphi_z}\right)}$; φ_z – кут повороту колінчастого валу за час

горіння палива; p_y та v_y – тиск та питомий об'єм робочого тіла на початку процесу згоряння палива.

Очевидно, що значення тиску в робочому тілі в період згоряння палива складається з двох доданків, які визначаються двома процесами, що відбуваються одночасно. Доданок $p_y \cdot \left(\frac{v_y}{v(\alpha)}\right)^k$ у формулі (8) є політропною залежністю тиску від питомого об'єму робочого тіла, тобто визначається фізичними чинниками робочого циклу.

Перший доданок у формулі (8) описує додатковий тиск, який виникає внаслідок згоряння палива. Записаний у формулі (8) інтеграл не обчислюється аналітично [3, с. 114].

Запропонуємо формулу для його наближення та покажемо її працездатність при обробці експериментальних даних. Оскільки період згоряння палива є нетривалим, застосуємо для наближення досліджуваного інтеграла формулу прямокутників, причому використаємо тільки один прямокутник:

$$\int_{\alpha_2}^{\alpha} (\psi^{k-1}(\alpha) \cdot w_0(\alpha - \alpha_2)) d\alpha \approx (\alpha - \alpha_2) \cdot \psi^{k-1}(\alpha) \cdot w_0(\alpha - \alpha_2). \quad (9)$$

Припустимість такого наближення підтверджується відомим фактом із теорії горіння [3, с. 179], що швидкість зміни тиску пропорційна прискоренню згоряння.

Вираз швидкості згоряння палива з урахуванням формули (7) та зроблених вище позначень має вигляд:

$$w_0(\alpha - \alpha_2) = -C \cdot (m+1) \cdot \varphi_z \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_2}{\varphi_z}\right)^m \cdot \exp\left(C \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_2}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right).$$

Тоді наближене значення інтеграла (9) запишеться так:

$$\begin{aligned} & \int_{\alpha_2}^{\alpha} (\psi^{k-1}(\alpha) \cdot w_0(\alpha - \alpha_2)) d\alpha \approx \\ & \approx -C \cdot (m+1) \cdot \frac{\psi^{k-1}(\alpha)}{\varphi_z^{m-1}} \cdot (\alpha - \alpha_2)^{m+1} \cdot \exp\left(C \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_2}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right). \end{aligned}$$

Тиск у робочому тілі в період згоряння палива наближено дорівнює:

$$p_3(\alpha) \approx -\frac{k-1}{A} \cdot \frac{\varepsilon}{v_a} \cdot \frac{q_z}{\varphi_z^m} \cdot \frac{1}{\psi(\alpha)} \cdot C \cdot (m+1) \cdot (\alpha - \alpha_2)^{m+1} \times \\ \times \exp\left(C \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_2}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right) + p_y \left(\frac{v_y}{v(\alpha)}\right)^k. \quad (10)$$

Оскільки значення окремих множників у добутках, які присутні в аналітичних залежностях, не можуть бути встановлені при апроксимації експериментальних залежностей, тому перепишемо формулу (10) в нових позначеннях:

$$p_3(\alpha) \approx \frac{K_4}{\psi(\alpha)} \cdot (\alpha - \alpha_2)^{m+1} \cdot \exp(K_5 \cdot (\alpha - \alpha_2)^{m+1}) + K_6 \left(\frac{K_7}{v(\alpha)}\right)^{k(v(\alpha))}, \quad (11)$$

$$\text{де } K_4 = -\frac{k-1}{A} \cdot \frac{\varepsilon}{v_a} \cdot \frac{q_z}{\varphi_z^m} \cdot C \cdot (m+1); \quad K_5 = \frac{C}{\varphi_z^{m+1}}; \quad K_6 = p_y; \quad K_7 = v_y.$$

У формулі (11) сталий показник політропи k також замінений поліноміальною залежністю $k(v(\alpha))$ відносно питомого об'єму робочого тіла $v(\alpha)$ аналогічно до формули (2).

Недоліком наближеної формули (11) є те, що перший доданок обертається на нуль, тільки, коли $\alpha \rightarrow \infty$:

$$\lim_{\alpha \rightarrow \infty} \frac{K_4}{\psi(\alpha)} \cdot (\alpha - \alpha_2)^{m+1} \cdot \exp(K_5 \cdot (\alpha - \alpha_2)^{m+1}) = 0,$$

оскільки за хімічним змістом задачі $K_5 < 0$.

Для забезпечення вимоги, що в точці $\alpha = \alpha_3$ процес згоряння палива завершується і його безпосередній вплив на тиск у робочому тілі також, помножимо перший доданок у формулі (11) на вираз $(\alpha_3 - \alpha)^{\beta_2}$, $\beta_2 \in R$. Ця дія не порушує вимог до функції, що описує швидкість хімічної реакції, зокрема, існування в неї максимуму в точці на відрізку $[\alpha_2; \alpha_3]$.

Також для покращення апроксимаційних властивостей функції (11) замінимо показник ступеня множника $(\alpha - \alpha_2)^{m+1}$ на довільний і не пов'язаний із показником аргументу експоненціальної функції $\exp(K_5 \cdot (\alpha - \alpha_2)^{m+1})$.

Таким чином, отримуємо таку модель для опису тиску в робочому тілі під час згоряння палива:

$$p_3(\alpha) \approx \frac{K_4}{\psi(\alpha)} \times (\alpha - \alpha_2)^{\beta_1} \times (\alpha_3 - \alpha)^{\beta_2} \times \\ \times \exp(K_5 \times (\alpha - \alpha_2)^{m+1}) + K_6 \left(\frac{K_7}{v(\alpha)}\right)^{k(v(\alpha))}, \quad (12)$$

де $\beta_1, \beta_2 \in R$.

Аналогічно до процесу «чистого» стиснення (формула (4)) залежність тиску робочого тіла від кута повороту колінчастого валу під час «чистого» розширення $[\alpha_3; \alpha_4]$ може бути наближена політропною функцією виду:

$$p_4(\alpha) = p_z \left(\frac{v_z}{v(\alpha)} \right)^{n_{Expansion}(v(\alpha))},$$

де p_z та v_z – тиск та питомий об'єм робочого тіла в точці завершення горіння палива; $n_{Expansion}(v(\alpha))$ – поліном виду (3).

Відповідна апроксимуюча функція має таку структуру:

$$p_4(\alpha) = K_8 \left(\frac{K_9}{v(\alpha)} \right)^{n_{Expansion}(v(\alpha))}, \quad (13)$$

де $K_8, K_9, \in R$ – шукані параметри; $n_{Expansion}(v(\alpha))$ – поліном відносно функції $v(\alpha)$ з невідомими коефіцієнтами.

Після відкриття випускного клапана зменшення тиску в робочому тілі продовжується за рахунок розширення його об'єму, а також за рахунок витікання газової суміші. Задача розрахунку тиску за таких умов відповідає класичній задачі термодинаміки про витік газу з резервуара з обмеженим змінним об'ємом через отвір змінного перерізу [5, с. 261–262]. Ця задача зводиться до диференціального рівняння, яке може бути розв'язане лише наближеними методами, коли відомі залежності зміни об'єму резервуара та площі перерізу отвору витоку. У той же час попередній аналіз типових індикаторних діаграм дає змогу зробити припущення, що експериментальна залежність може бути наближена функцією виду:

$$p_5(\alpha) = \frac{K_{10}}{(K_{11}(\alpha - \alpha_4) + 1)^{\beta_3}}, \quad (14)$$

де $K_{10}, K_{11}, \beta_3 \in R$ – шукані параметри.

Формула (14) відповідає спрощенням стосовно того, що зменшення тиску в циліндрі внаслідок руху поршня є суттєво меншим порівняно зі зменшенням тиску внаслідок витоку газів, випускний клапан відкривається миттєво, має місце критичний режим витоку газів. За фізичним змістом параметр K_{10} дорівнює тиску робочого тіла в момент відкриття випускного клапану, тобто коли $\alpha = \alpha_4$.

Після усталення тиску в циліндрі на відрізку $[\alpha_5; \alpha_0 + 2\pi]$ функція, що описує його значення, є константою:

$$p_6(\alpha) = K_1, \quad (15)$$

Індикаторну криву будемо наближувати за допомогою кусково-неперервної функції виду:

$$p(\alpha) = \begin{cases} p_1(\alpha), & \alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_1; \\ p_2(\alpha), & \alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2; \\ p_3(\alpha), & \alpha_2 \leq \alpha \leq \alpha_3; \\ p_4(\alpha), & \alpha_3 \leq \alpha \leq \alpha_4; \\ p_5(\alpha), & \alpha_4 \leq \alpha \leq \alpha_5; \\ p_6(\alpha), & \alpha_5 \leq \alpha \leq \alpha_0 + 2\pi; \end{cases} \quad (16)$$

де функції $p_i(\alpha)$, $i = \overline{1;6}$, задаються формулами в порядку зростання індексів: (2), (5), (12), (13), (14), (15).

Передбачається виконання вимоги гладкості стикування ланок кусково-неперервної функції (17) порядку C_0 .

Тестовий приклад. За допомогою функції (16) та всіх її складників виконаємо апроксимацію індикаторної діаграми, яка наведена в монографії [16, с. 17]. Графічне зображення індикаторної діаграми оцифроване за допомогою програми Graph2Digit [14].

Для знаходження числових значень параметрів апроксимуючої функції (16) застосуємо функцію DataFit пакету DirectSearch [8]. Апроксимація може бути виконана одним із восьми методів, які відрізняються функціями для оцінки точності виконаного наближення. Для розв'язання власне задач мінімізації похибки наближення застосовується метод лінійного пошуку CDOS (Conjugate Direction with Orthogonal Shift), який використовує спряжені напрямки з ортогональним зсувом.

Як відомо, розв'язання задачі нелінійної оптимізації вимагає завдання початкових значень шуканих параметрів. Вкажемо рекомендації для їх встановлення.

Для виконання розрахунків геометричні параметри кривошипно-шатунного механізму запозичені з роботи [9]. Їх використання зумовлене збігом моделі двигуна, який досліджується в роботах [16] та [9], а саме досліджується судновий МОД моделі 12K98MC виробництва фірми MAN B&W.

Початкові значення параметрів $K_1, K_2, K_6, K_8, K_{10}$ наближено визначаються за індикаторною діаграмою, оскільки безпосередньо дорівнюють значенню тиску у відповідні моменти робочого циклу.

Початкові значення параметрів α_i , $i = \overline{1;6}$, також наближено визначаються за індикаторною діаграмою, оскільки відповідають кутам повороту колінчастого валу, при яких починаються відповідні фази робочого процесу. Доцільно покласти $\alpha_0 = 0$, тобто вважати, що синхронізація в процесі переходу від експериментальної залежності тиску від часу до залежності тиску від кута повороту колінчастого валу відбулася без похибок.

Початкові значення параметрів при старших степенях у поліномах $n(v(\alpha))$ доцільно покласти рівними нулю, що відповідає умові політропності процесів «чистого» стискування та розширення.

Із міркувань хімічної кінетики та зроблених вище припущень також доцільно покласти $m = 1$, $\beta_1 = m + 1$, $\beta_2 = 1$.

Початкові значення інших параметрів потребують попереднього обчислення за формулами наведеними по тексту статті з урахуванням типових показників для цього двигуна.

На рис. 1 показаний результат апроксимації індикаторної діаграми при оцінці похибки наближення в середньому квадратичному. Похибка апроксимації є меншою за 5%.

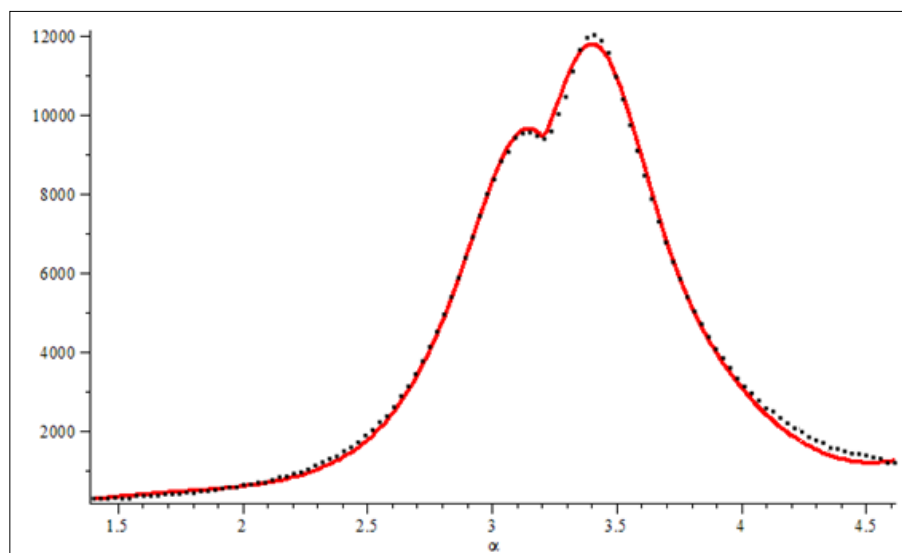


Рис. 1. Апроксимація індикаторної діаграми залежністю (16)

За експериментальними даними з рис. 1 (літературне джерело [16]) отримані такі координати граничних точок фаз робочого циклу двотактного дизельного двигуна: $\alpha_0 \approx 0,01$ (рад); $\alpha_1 \approx 1,11$ (рад); $\alpha_2 \approx 3,24$ (рад); $\alpha_3 \approx 3,69$ (рад); $\alpha_4 \approx 4,51$ (рад); $\alpha_5 \approx 5,40$ (рад).

Враховуючи громіздкість функцій, які входять до складу формули (16), наведемо для прикладу отримані числові значення коефіцієнтів частини з них. Функція фази сталого тиску $p_1(\alpha)$ має коефіцієнт $K_1 \approx 272,81$. Політропа чистого стиснення $p_2(\alpha)$ має коефіцієнти: $K_2 \approx 311,79$; $K_3 \approx 1,42$; $N_1 \approx -0,58$; $N_2 \approx 1,63$. Функція, що описує фазу видимого згоряння палива $p_3(\alpha)$, має коефіцієнти: $K_4 \approx 1,21$; $K_5 \approx -6,59$; $K_6 \approx 9301,76$; $\beta_1 \approx 1,13$; $\beta_2 \approx 0,90$; $m \approx 1,60$; $k \approx 0,29$.

Висновки. Запропонована модель апроксимуючої функції (16), включаючи формули (2), (5), (12), (13), (14), (15), дає змогу за експериментальними даними знаходити частину показників (або їх сполучень) термодинамічних та хімічних процесів робочого циклу двигуна. Зокрема, вона дозволяє знаходити кути повороту колінчастого валу, при яких відбуваються якісні зміни в перебігу процесів робочого циклу двигуна. Функцію (16) можна розглядати як напівлокальний апроксимуючий сплайн, ланки якого мають гладкість стикування порядку C_0 .

Перспективи подальших досліджень пов'язані з підвищенням точності апроксимації за рахунок збільшення кількості ланок кусково-неперервної функції, що відповідає наближенню індикаторної діаграми більшою кількістю політропних кривих. Це своєю чергою забезпечує більш адекватний опис індикаторної діаграми шляхом виділення ланок, на яких теплоємності робочого тіла можна вважати сталими або такими, що змінюються за поліноміальними залежностями.

Запропонована залежність також може використовуватися в задачах визначення положення верхньої мертвої точки поршня при синхронізації експериментальних даних, які отримані під час моніторингу робочого процесу дизельних двигунів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Валишин А. Результаты разработки и тестовых испытаний диагностической системы оценки качества внутрицилиндровых процессов дизеля. *Zeszyty Naukowe*. 2013. № 34 (106). С. 85–90.
2. Варбанец Р.А., Залож В.И., Тарасенко Т.В., Белоусова Т.П., Ерыганов А.В. Метод аналитической синхронизации данных мониторинга рабочего процесса транспортных дизелей в эксплуатации. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2020. № 7(167). С. 118–128. DOI: 10.32620/akt.2020.7.17
3. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателей. Москва : МАШГИЗ, 1962. 270 с.
4. Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Т. 2. Москва : МОРКНИГА, 2008. 470 с.
5. Крутов В.И. Техническая термодинамика. Москва : Высшая школа, 1981. 439 с.
6. Кукис В.С., Романов В.А., Рыбалко А.И., Постол Ю.А. О возможной аппроксимации рабочего цикла двигателя Стирлинга. *Двигатели внутреннего сгорания*. 2010. № 2. С. 18–22.
7. Лозня С.В., Пустовой С.А. Аппаратно-программные средства для разработки и оптимизации управления ДВС с искровым зажиганием. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2014. № 10(117). С. 123–129.
8. Моисеев С.Н. Универсальный метод оптимизации без использования производных с квадратичной сходимостью. Воронеж, 2011. URL: <http://www.twirpx.com/file/1534928/>
9. Савчук В.П., Белоусов Е.В., Самарин А.Е., Симагин А.Ф. Обеспечение надежности головных подшипников судовых малооборотных двигателей, работающих на режимах частичных нагрузок. *Вестник двигателестроения*. 2018. № 2. С. 21–27.
10. Charchalis A. Complex Measurement System for Enhancement of Capability for Marine Engines Diagnostics. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2013. Vol. 7. № 3. P. 415–420. DOI: 10.12716/1001.07.03.14
11. Charchalis A. Diagnostic and Measurement System for Marine Engines. *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS and CONTROL*. 2020. Vol. 15. P. 349–355. DOI: 10.37394/23203.2020.15.36
12. Gerasimos Theotokatos, Cong Guanb, Hui Chenb, Iraklis Lazakisa. Development of an Extended Mean Value Engine Model for Predicting the Marine Two-Stroke Engine Operation at Varying Settings. *Energy*. 2018. Vol. 143. Issue C. P. 533–545. DOI: 10.1016/j.energy.2017.10.138

13. Ghojel J.I. Review of the Development and Applications of the Wiebe Function: a Tribute to the Contribution of Ivan Wiebe to Engine Research. *International Journal Engine Research*. 2010. Vol. 11. Issue 4. P. 297–312. DOI: 10.1243/14680874JER06510
14. Graph2Digit 0.7.1b. URL: <http://plsoft.su/digitizer.html>
15. Haosheng Shen H., Jundong Zhang, Baicheng Yang and Baozhu Jia. Development of a Marine Two-Stroke Diesel Engine MVEM with In-Cylinder Pressure Trace Predictive Capability and a Novel Compressor Model. *Journal of Marine Science Engineering*. 2020. Vol. 8. Issue 204. 33 p. DOI: 10.3390/jmse8030204
16. Johnsson, J.-H.M., Saldh, J. Analysing the Effects Variable Injection and Exhaust Valve Timing Have on a Two-Stroke Diesel Engine. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2018.
17. Kamaltdinov V.G., Lysov I.O., Nikiforov S.S. Diesel Engine Operating Cycle Optimization with Simulation of Combustion Process by Double-Wiebe Function. *Procedia Engineering*. 2015. № 129. P. 873–878.
18. Krakowski R. Diagnosis Modern Systems of Marine Diesel Engine. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2014. Vol. 21. № 3. P. 191–198. DOI: 10.5604/12314005.1133203
19. LEMAG PREMETS® C. URL: <https://www.cmtechnologies.de/en/products-en/performance-and-efficiency-monitoring/premet-c.html>
20. Łosiewicz Zbigniew. Use Assessment of Modern Diagnostic Systems of Internal Marine Combustion Engines at the Support Phase of Exploitation Decisions in the Aspect of Economic Criteria. *Journal of Polish CIMAC*. 2010. Vol. 5. № 2. P. 121–130.
21. Piedrahita C.A.R., Riaza H.F.Q. Prediction of In-Cylinder Pressure, Temperature, and Loads Related to the Crank Slider Mechanism of I. C. Engines: A Computational Model. *SAE Technical Paper*. 2003. Issue 2003-01-0728. DOI: 10.4271/2003-01-0728
22. Pielecha I., Merksiz J. Optimizing the Shape of a Compression-Ignition Engine Combustion Chamber by Using Simulation Tests. *Polish Maritime Research*. 2019. Vol. 26. № 3 (103). P. 138–146. DOI: 10.2478/pomr-2019-0054
23. Polanowski S. Determination of location of Top Dead Centre and Compression Ratio Value on the Basis of Ship Engine Indicator Diagram. *POLISH MARITIME RESEARCH*. 2008. Vol. 15. № 2(56). P. 59–64. DOI: 10.2478/v10012-007-0065-2
24. Unitest Marine Simulators. URL: <https://www.unitest.pl/>
25. Yongming Feng, Haiyan Wang, Ruifeng Gao, Yuanqing Zhu. A Zero-Dimensional Mixing Controlled Combustion Model for Real Time Performance Simulation of Marine Two-Stroke Diesel Engines. *Energies*. 2019. № 12. 19 p. DOI: 10.3390/en12102000

REFERENCES

1. Valishin, A. (2013). Results of the development and test tests of the diagnostic system for assessing the quality of the in-cylinder diesel processes [Rezultaty razrabotki i testovyih ispytaniy diagnosticheskoy sistemyi otsenki kachestva vnutrisilindrovyyih protsessov dizelya]. *Zeszyty Naukowe*. 34 (106), 85–90. [in Russian].
2. Varbanets, R.A., Zalozh, V.I., Tarasenko, T.V., Belousova, T.P., & Eryganov, A.V. (2020). Method of Analytical Synchronization of Monitoring Data of the Working Process of Transport Diesel Engines in Operation [Metod analiticheskoy sinhronizatsii dannyih monitoringa rabocheho protsessa transportnyih dizeley v eksploatacii]. *Aerospace Engineering and Technology*. 7 (167), 118–128. DOI: 10.32620 / akt.2020.7.17 [in Russian].
3. Vibe, I.I. (1962). New about the Working Cycle of Engines [Novoe o rabochem tsikle dvigateley]. Moscow : MASHGIZ. [in Russian].
4. Voznitsky, I.V., & Punda, A.S. (2008). Internal Combustion Engines [Sudovyye dvigateli vnutrennego sgoraniya]. Vol. 2. M. : MORKNIGA [in Russian].
5. Krutov, V.I. (1981). Technical Thermodynamics [Tehnicheskaya termodinamika]. M. : Higher School [in Russian].
6. Kukis, V.S., Romanov, V.A., Rybalko, A.I., & Postol, Yu.A. (2010). On the Possible Approximation of the Operating Cycle of the Stirling Engine [O vozmozhnoy approksimatsii rabocheho tsikla dvigatelya Stirlinga]. *Internal Combustion Engines*. 2, 18–22 [in Russian].
7. Loznya, S.V., & Pustovoy, S.A. (2014). Hardware and Software for Development and Optimization of ICE Control with Spark Ignition [Apparatno-programmnyie sredstva dlya razrabotki i optimizatsii upravleniya DVS s iskrovyim zazhiganiem]. *Aerospace Engineering and Technology*. 10 (117), 123–129 [in Russian].
8. Moiseev, S.N. (2011). Universal Optimization Method without Derivatives with Quadratic Convergence [Universalnyiy metod optimizatsii bez ispolzovaniya proizvodnyih s kvadrachnoy shodimostyu]. Voronezh [in Russian]. URL: <http://www.twirpx.com/file/1534928/>
9. Savchuk, V.P., Belousov, E.V., Samarin, A.E., & Simagin, A.F. (2018). Providing the Reliability of the Crosshead Bearings of Marine Low-Speed Engines Operating on the Partial Load Ranges [Obespecheniye nadezhnosti golovnykh podshipnikov sudovykh malooborotnykh dvigateley, rabotayushchikh na rezhimakh chastichnykh nagruzok]. *Engine Building Bulletin*. 2, 21-27 [in Russian].
10. Charchalis, A. (2013). Complex Measurement System for Enhancement of Capability for Marine Engines Diagnostics. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 7, 3, 415–420. DOI: 10.12716/1001.07.03.14
11. Charchalis, A. (2020). Diagnostic and Measurement System for Marine Engines. *Wseas Transactions on Systems and Control*. 2020. Vol. 15. P. 349–355. DOI: 10.37394/23203.2020.15.36

12. Gerasimos Theotokatos, Cong Guanb, Hui Chenb, & Iraklis Lazakisa. (2018). Development of an extended mean value engine model for predicting 2 the marine two-stroke engine operation at varying settings. *Energy*. 143, C, 533–545. DOI: 10.1016/j.energy.2017.10.138
13. Ghojel, J.I. (2010). Review of the Development and Applications of the Wiebe Function: a Tribute to the Contribution of Ivan Wiebe to Engine Research. *International Journal Engine Research*. 11, 4, 297–312. DOI: 10.1243/14680874JER06510
14. Graph2Digit 0.7.1b. URL: <http://plsoft.su/digitizer.html>
15. Haosheng Shen H., Jundong Zhang, Baicheng Yang & Baozhu Jia. (2020). Development of a Marine Two-Stroke Diesel Engine MVEM with In-Cylinder Pressure Trace Predictive Capability and a Novel Compressor Model. *Journal of Marine Science Engineering*. 8, 204. 33 p. DOI: 10.3390/jmse8030204
16. Johnsson, J.-H.M., & Saldh, J. (2018). Analysing the Effects Variable Injection and Exhaust Valve Timing Have on a Two-Stroke Diesel Engine. Gothenburg: Chalmers University of Technology.
17. Kamaltdinov, V.G., Lysov, I.O., & Nikiforov, S.S. (2015). Diesel Engine Operating Cycle Optimization with Simulation of Combustion Process by Double-Wiebe Function. *Procedia Engineering*. 129, 873–878.
18. Krakowski, R. (2014). Diagnosis Modern Systems of Marine Diesel Engine. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 21, 3, 191–198. DOI: 10.5604/12314005.1133203
19. LEMAG PREMETS® C. URL: <https://www.cmtechnologies.de/en/products-en/performance-and-efficiency-monitoring/premet-c.html>
20. Łosiewicz Zbigniew. (2010). Use Assessment of Modern Diagnostic Systems of Internal Marine Combustion Engines at the Support Phase of Exploitation Decisions in the Aspect of Economic Criteria. *Journal of Polish CIMAC*. 5, 2, 121–130.
21. Piedrahita, C.A.R., & Riaza, H.F.Q. (2003). Prediction of In-Cylinder Pressure, Temperature, and Loads Related to the Crank Slider Mechanism of I. C. Engines: A Computational Model. *SAE Technical Paper*. 2003-01-0728. DOI: 10.4271/2003-01-0728
22. Pielecha, I., & Merkisz, J. (2019). Optimizing the Shape of a Compression-Ignition Engine Combustion Chamber by Using Simulation Tests. *Polish Maritime Research*. 26, 3 (103), 138–146. DOI: 10.2478/pomr-2019-0054
23. Polanowski, S. (2008). Determination of location of Top Dead Centre and Compression Ratio Value on the Basis of Ship Engine Indicator Diagram. *POLISH MARITIME RESEARCH*. 15, 2(56), 59–64. DOI: 10.2478/v10012-007-0065-2
24. Unitest Marine Simulators. URL: <https://www.unitest.pl/>
25. Yongming Feng, Haiyan Wang, & Ruifeng Gao, Yuanqing Zhu. (2019). A Zero-Dimensional Mixing Controlled Combustion Model for Real Time Performance Simulation of Marine Two-Stroke Diesel Engines. *Energies*. 12, 19 p. DOI: 10.3390/en12102000.

**SAFETY OF NAVIGATION AS A FACTOR OF INCREASING
THE EFFICIENCY OF THE COMMERCIAL OPERATION OF THE SHIP**

Y.V. Zagorodnia¹, V.V. Pozdniakova², O.M. Marukhnenko³

¹Ph.D. in Economics, Assistant Professor at the Department of Navigation and Handling Ship,
Azov Maritime Institute

*of the National University "Odessa Maritime Academy",
Mariupol, Donetsk region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0320-540X*

²Senior Lecturer at the Department of Navigation and Handling Ship,
Azov Maritime Institute

*of the National University "Odessa Maritime Academy",
Mariupol, Donetsk region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1968-9915*

³Senior Lecturer at the Department of Navigation and Handling Ship,
Deep Sea Captain,
Azov Maritime Institute

*of the National University "Odessa Maritime Academy",
Mariupol, Donetsk region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0583-3752*

Summary

Introduction. *The article deals with modern problems of the safety of navigation, as well as the reasons for the increased accident rate of ships, taking into account the influence of the human factor, the influence of these processes on the commercial component of sea transportation. **Purpose.** This article is aimed at a comprehensive analysis of the causes of emergencies at sea and finding effective ways to reduce them, minimize the commercial risks of transportation by improving the management of marine resources. A positive trend was revealed in terms of improving the safety of all types of ships, a decrease in the number of lost ships, casualties and wounded crew members in the period from 2014 to 2019. The main causes of emergencies are analyzed on the basis of EMSA statistical data and it is established that the main cause of increased accidents is the human factor. The classification of accidents caused by the human factor is considered. Established international organizations dealing with the safety of navigation and international conventions under which merchant vessels are currently being inspected. **Conclusions.** In this article we show the dependence of the safety of navigation on the competent management of marine resources, since the influence of the human factor is undoubtedly the main reason for the creation of emergency situations in the fleet, which leads to inevitable losses from the commercial operation of ships. Advanced training of ship officers and coastal operators involved in the ship's propulsion operations is a prerequisite for reducing accidents and increasing the financial efficiency of the fleet.*

Key words: *safety of navigation, management of marine resources, human factor, commercial operation of the vessel.*

БЕЗПЕКА СУДНОВОДІННЯ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
КОМЕРЦІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНА

Ю.В. Загородня¹, В.В. Позднякова², О.М. Марухненко³

¹к.е.н., доцент кафедри навігації та управління судном,

Азовський морський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»,

Маріуполь, Донецька область, Україна,

ORCID ID: 0000-0003-0320-540X

²старший викладач кафедри навігації та управління судном,

Азовський морський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»,

Маріуполь, Донецька область, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-1968-9915

³старший викладач кафедри навігації та управління судном,

капітан далекого плавання,

Азовський морський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»,

Маріуполь, Донецька область, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-0583-3752

Анотація

Вступ. Стаття присвячена сучасним проблемам організації безпеки мореплавства, а також основним причинам підвищеної аварійності суден з урахуванням впливу людського фактору та його впливу на комерційну складову частину морських перевезень. **Мета.** Ця стаття націлена на всебічний аналіз причин виникнення аварійних ситуацій на морі і пошук дієвих засобів щодо їх зменшення, мінімізуючи комерційні ризики морських перевезень, шляхом удосконалення менеджменту морських ресурсів. **Результати.** Було виявлено позитивну динаміку стосовно підвищення безпеки усіх видів суден, зменшення кількісних показників зниклих суден, загиблих та поранених членів екіпажу в період із 2014 по 2019 рр. Проаналізовано основні причини виникнення аварійних ситуацій на основі статистичних даних, представлених міжнародним агентством European Maritime Safety Agency, та встановлено, що основною причиною підвищеної аварійності є людський фактор. Розглянуто класифікацію аварій, які спричинені людським фактором, та виявлено їх взаємозв'язок. Установлено міжнародні організації, які займаються питаннями забезпечення безпеки судноплавства та міжнародні конвенції, відповідно до яких нині проводиться інспектування торговельних суден. **Висновки.** У цій статті ми показуємо залежність безпеки судноплавства від грамотного менеджменту морських ресурсів, тому що вплив людського фактору, безумовно, є основною причиною створення аварійних ситуацій на флоті, що призводить до неминучих втрат із боку комерційної експлуатації судна. Підвищення кваліфікації судових офіцерів та берегових операторів, які задіяні в рухомих операціях суден, є необхідною умовою скорочень аварій та підвищення фінансової ефективності роботи флоту.

Ключові слова: безпека судноводіння, менеджмент морських ресурсів, людський фактор, комерційна експлуатація судна.

Introduction. Over the past decade international trade has been incessantly increasing. At the same time the shipping is growing constantly intensifying human activity at sea. Scientific achievement in the development of the shipping industry, in particular the technical operation of modern ships, is aimed at reducing accidents and increasing the commercial operation of the fleet. However, the issue of safety and trouble-free operation of navigators is still actual today, since the number of accidents at sea is practically not reduced, annually taking human lives, causing significant damage to the global economy and harm to the environment.

Formulation of the problem. Every year there is an intensive increase in the tonnage and operating speed of ships in the competition to improve the quality of transport and logistics services. Ship management, primarily navigators, have to work in difficult, sometimes extreme conditions, unquestioningly observing the conditions of the charter, without violating the terms of delivery of the cargo and ensuring the proper quality of the cargo transported on board the ship, and at the same time observing the conditions for ensuring the safety of navigation in difficult meteorological conditions, as well as being in dangerous navigation areas. All this affects the quality of the work carried out by navigators. Fatigue, stress, conditions of deprivation, long-term contracts without the possibility of a timely sign-off and other factors lead to inattention, loss of control and, as a consequence, to emergency situations that affect the efficiency of the commercial operation of the vessel.

Analysis of recent research and publications. Analyzing the information data of Ukrainian and foreign scientists, as well as industry experts regarding the safety of navigation and its influence on the commercial operation of the vessel, it is noted that the main reason for the increased accident rate of ships is the human factor. Such scientists and specialists as V. Topalov, V. Snopkov, V. Prus, A. Malcev [4; 6–9], specialists of international organizations for ensuring the safety of navigation were engaged in the study of this issue in detail [1–3; 5; 10].

Formulation of the purposes of the article. The purpose of the article is to analyze the safety of navigation and its impact on increasing the commercial operation of the vessel, identifying the reasons for the increased accident rate of ships, the influence of the human factor on the safety of navigation, the role of marine resource management in minimizing the accident rate on ships.

Presentation of the main material. EMSA (European Maritime Safety Agency) is dedicated to the prevention of maritime accidents, water pollution from ships and loss of life at sea by promoting the implementation of relevant the European Union (EU) legislation. The main purposes and objectives of the agency are providing scientific and technical support to the Member States and the European Commission for the development of the EU legislation relating to safety at sea, protection, prevention of pollution on ships and maritime transport; monitoring the implementation of the EU legislation through controls and audits; improved cooperation with member states; increasing the control of national competent authorities; rendering operational assistance such as the development, management and maintenance of integrated maritime services related to ships, monitoring and control of ships; performance of tasks of operational readiness, detection and response in relation to pollution caused by ships and pollution of the marine environment by oil and gas installations; at the request of the European Commission, rendering of technical operational assistance to non-EU countries around the corresponding sea basins [1].

The European Marine Casualty Information Platform (EMCIP) is a centralized database for the EU member states to store and analyze information on marine casualties and incidents. EMCIP data is completed by the competent national authorities. It is this data that forms the basis of the annual survey of marine accidents and incidents.

According to EMSA 2019 showed a positive trend in terms of improving the safety of all types of vessels, with a decrease in the number of ships lost, casualties and injured crew members. In 2019 3062 accidents were registered, the number of casualties decreased by 200 people and 21 ships were wrecked. In total, during the period from 2014 to 2019, 320 accidents occurred, as a result of which 496 people died, of which 88.3% of the victims were crew members. Analyzing the issue of the accident rate of cargo ships, it was revealed that during the period of 2019, 1,382 cargo ships were involved in accidents or other incidents, as a result of which only one cargo ship was lost [2].

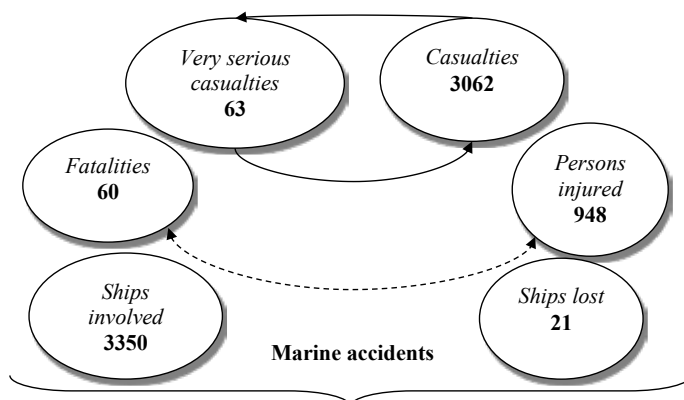


Fig. 1. Number of registered marine casualties and incidents as of 2020

The main causes of emergencies according to investigations by EMSA are erroneous actions of the crew (human factor) (67%), equipment failures (24%), dangerous substances (4%), weather conditions (3%), another ones (3%) (fig. 2).

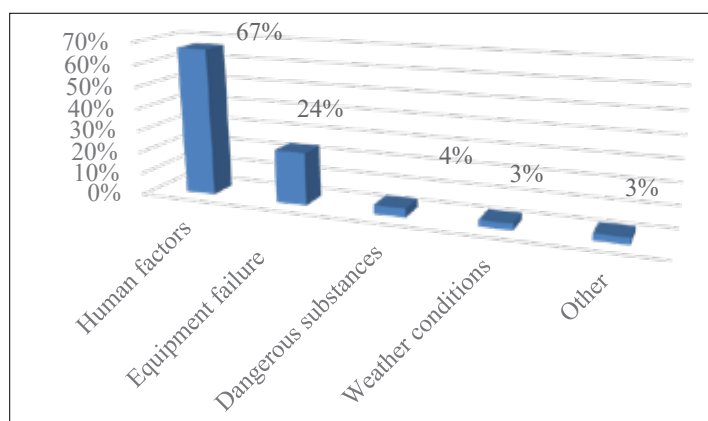


Fig. 2. Reasons for ship accidents according to EMSA data for the period since 2014–2019 [3]

Based on the data in fig. 2, it can be concluded that among the reasons for the accident rate of ships in the prevailing majority, emergencies occur due to the human factor. First of all, this refers to the mistakes of the command staff and port workers involved in organizing the movement of ships, in particular pilot boats, tugs, traffic control services, etc. The P&I Club of mutual insurance record about 73% of accidents due to the human factor due to mistakes of navigators.

The most serious security breaches are considered cases when accidents lead to maritime disasters such as shipwreck, loss of life and environmental problems. Almost security always breaches also affect the commercial component of a vessel's voyage. It causes demurrage, untimely delivery of cargo (as a result the consignee may refuse from the goods), complete or partial loss of the vessel and cargo, damage to cargo, penalties, etc. All these factors, in most cases, are caused by the low qualification of the ship's crew and the inability to quickly and competently make managerial decisions in conditions of increased risks with limited time. Human factor ship accidents can be contingently classified as the following (fig. 3):

- navigational;
- technological;
- technical [4].

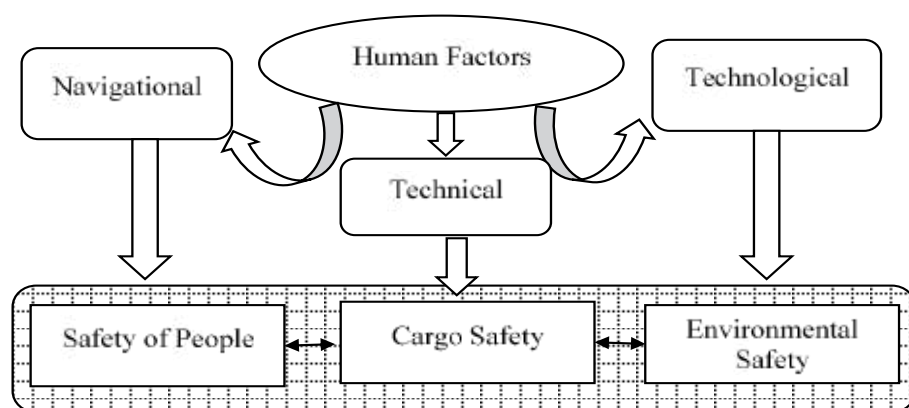


Fig. 3. Classification of factors affecting the accident rate of ships [4]

Navigational accidents occur due to the incompetence of the command staff, lack of appropriate experience and the ability to make quick and correct decisions in difficult situations as the result collisions, groundings, ship hits against underwater obstacles, storm damage are inevitable. All these situations entail large financial losses by shipping companies and inevitably lead to the loss of commercial benefits of transportation. For example, in 2020, a navigators' mistake resulted in a Greek shipowner spending \$ 600,000 due to an error in plotting a Second Mate's course, who did not notice fishing farms on the chart in the area of China.

Technological accidents are associated with the cargo function of the vessel, in particular: violation of the strength of the vessel's hull, her devices, loss of stability, cargo movement, fire, water flooding into the interior spaces, etc.

Technical accidents occur as a result of improper maintenance and operation of the vessel, for example, the breakdown of ship mechanisms.

For increasing the safety of navigation, international organizations are constantly developing a system of measures to improve the safety and minimize the accident rate of ships. In 1982 14 European countries adopted the Paris Memorandum of Understanding on Port State Control (PSC) which was the first agreement on the control and safety of shipping. In addition to the standard issues of ensuring the safety of navigation, the participating countries have adopted a system for monitoring the safety of ships, through the interaction of port authorities and international organizations, so that foreign merchant ships entering the port or being at anchorage without any flag discrimination they sail.

The task of the PSC is to inspect the vessel in order to detect violations in the fulfilment by the shipowners (operators) of the requirements of international conventions and rules. For 2014–2019 PSC officers carried out about 20 thousand checks on ships in ports of call, as a result of which 187 ships were detained to eliminate comments. The dynamics of changes in the number of detentions of ships shows that the measures taken by shipowners (operators) and crews are insufficient to ensure the safe operation of ships. As a result, the number of detained vessels remains high. Statistics indicate that most of the PSC comments are related to a violation of fire safety and amounts to 32%, violation of the requirements for life-saving appliances – 24%, malfunction of auxiliary machinery and ship engines – 17%, other reasons – 27% [5].

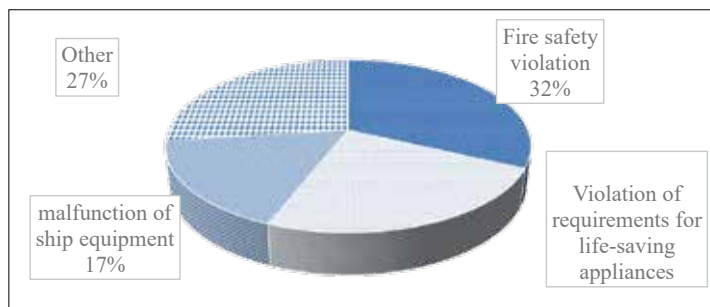


Fig. 4. The main reasons for the detention of ships in ports of call by PSC [5]

The analysis of statistical data made it possible to identify the following causal relationship of factors that led to the detention of ships (fig. 5).

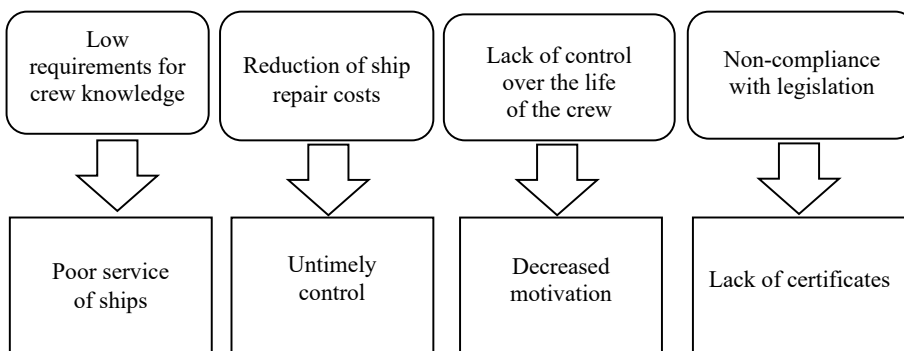


Fig. 5. The causal relationship of factors that led to the detention of ships [6–9]

In order to develop cooperation between countries in the field of technical supervision of ships and to ensure the safety of navigation the International Association of Classification Societies (IACS) was created in 1968. The purpose of the association is to develop standards and rules for ensuring the safety of maritime transport. The Association is the chief technical advisor to the International Maritime Organization (IMO).

Nowadays merchant ships are inspected in accordance with international conventions: the International Convention on Load Lines, 1966 (CLL-66) amended by the 1988 Protocol; the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974 (SOLAS-74); the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978 (MARPOL-73/78); the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978 (STCW-78); Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs -72); the International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969 (TONNAGE- 69); International Labor Organization Convention No. 147 on Minimum norms on merchant ships, 1976 (ILO-147) [10].

Ships operate in difficult meteorological conditions (storms, ice, fog, currents), there are many complex structural elements, devices and instruments on board that can fail for various reasons, the rules and regulations governing the management of ships and their operation are imperfect and have significant limitations. But the most important circumstance is that people work on ships, often not always competent and disciplined enough, who commit rash acts and actions, make mistakes and blunders that entail serious consequences. To eliminate the human factor it is not enough for the ship and crew members to comply with all the norms and rules of international conventions and classification societies. It is necessary that the qualifications of the crew members correspond to the specialization of the vessel; it is advisable to hire a crew on the same vessels all the time that will provide a better knowledge and understanding of the technical condition of the vessel; since in most cases the ship's crew is international, it is necessary to eliminate the language barrier. For all the identified causes of accidents, deeper and more systematic studies should be carried out aimed at reducing the factors causing them.

Reducing emergency situations at sea, therefore, and minimizing the commercial risks of transportation can be achieved with the help of a set of effective measures in relation to the training of marine specialists by improving practical skills on specialized simulators that imitate a workplace on a ship; strict obedience of international and national regulations for the safe navigation of ships and transportation of passengers, prevention and elimination of impacts from direct and concomitant causes of emergencies.

Conclusions. Thus ensuring the safety of navigation directly depends on the competent management of marine resources, since the influence of the human factor is, of course, the main reason for the creation of emergency situations on board that leads to inevitable losses from the commercial operation of ships. Advanced training of ship officers and coastal operators involved in the ship's propulsion operations is a prerequisite for reducing accidents and increasing the financial efficiency of the fleet.

BIBLIOGRAPHY

1. EMSA. URL: <http://www.emsa.europa.eu/>
2. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents. URL: <http://www.emsa.europa.eu/tags/85-annual-overview.html>
3. ABS AnnualReview 2015. URL: <http://ww2.eagle.org/en>.
4. Мальцев А.С. Теория и практика безопасного управления судном при маневрировании : дис. ... докт. техн. наук: 05.22.16. Одеса, 2007. 395 с.
5. EMCIP. URL: <https://portal.emsa.europa.eu/emcip-public/#/dashboard>
6. Топалов В.П. Риски в судоходстве / В.П. Топалов, В.Г. Торский. Одесса : Астропринт, 2007. 368 с.
7. Прусс В.М. Международно-правовые аспекты безопасности мореплавания. Одесса : Латстар, 2001. 132 с.
8. Снопков В.И. Безопасность мореплавания / В.И. Снопков, Г.И. Конопелько, В.Б. Васильева. Москва : Транспорт, 1994. 247 с.
9. Торский В.Г., Топалов В.П. Управление судовыми экипажами. 2-е изд., исправленное и дополненное. Одесса : Астропринт, 2011. 244 с.
10. IMO. URL: https://webaccounts.imo.org/Common/weblogin.aspx?ReturnUrl=%2f&error_message=interaction_required

REFERENCES

1. EMSA. URL: <http://www.emsa.europa.eu/>
2. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents. URL: <http://www.emsa.europa.eu/tags/85-annual-overview.html>
3. ABS AnnualReview 2015. URL: <http://ww2.eagle.org/en>.
4. Mal'cev A. S. Teoriya i praktika bezopasnogo upravleniya sudnom pri manevrirovanii : dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.22.16. Odesa, 2007. 395 s.
5. EMCIP. URL: <https://portal.emsa.europa.eu/emcip-public/#/dashboard>
6. Topalov V.P. Riski v sudohodstve / V.P. Topalov, V.G. Torskij. Odessa : Astroprint, 2007. 368 s.
7. Pruss V.M. Mezhdunarodno-pravovye aspekty bezopasnosti moreplavaniya. Odessa: Latstar, 2001. 132 s.
8. Snopkov V.I. Bezopasnost moreplavaniya / V.I. Snopkov, G.I. Konopelko, V.B. Vasileva. M.: Transport, 1994. 247 s.
9. Torskij V.G., Topalov V.P. Upravlenie sudovymi ekipazhami. 2-e izd., ispravlennoe i dopolnennoe. Odessa : Astroprint, 2011. 244 s.
10. IMO. URL: https://webaccounts.imo.org/Common/weblogin.aspx?ReturnUrl=%2f&error_message=interaction_required

БЕЗПЕКА МОРЕПЛАВСТВА З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛЬОДОВОЇ ОБСТАНОВКИ

О.Ю. Нестеров¹, Ю.В. Загородня², С.М. Перепечасв³

¹к.т.н., доцент кафедри навігації та управління судном,
Азовський морський інститут
Національного університету «Одеська морська академія»,
Маріуполь, Донецька область, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3095-7746

²к.е.н., доцент кафедри навігації та управління судном,
Азовський морський інститут
Національного університету «Одеська морська академія»,
Маріуполь, Донецька область, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0320-540X

³старший викладач кафедри навігації та управління судном,
капітан далекого плавання,
Азовський морський інститут
Національного університету «Одеська морська академія»,
Маріуполь, Донецька область, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0907-6162

Анотація

Вступ. У статті розглядаються сучасні проблеми безпеки судноплавства, а також вирішуються питання безпеки мореплавства, які спрямовані на всебічну підготовку судна та екіпажу для плавання в льодових умовах, особливості гідрометеорологічних умов мореплавства каналами Азовського моря та умови виникнення такого природного явища, як «льодова ріка». **Метою** статті є аналіз безпеки судноводіння; виявлення можливих причин виникнення «льодової ріки», для подальших досліджень і розробки відповідних заходів щодо забезпечення безпеки судноплавства каналами Азовського моря в льодовій обстановці, створення стандарту системи, що забезпечує безпечне плавання суден. Стандарт системи має не тільки забезпечити безпечне плавання, але і полегшити завдання контролю готовності судна до виходу в море. **Результати.** Увага світових морських організацій, включаючи Міжнародну морську організацію (ІМО), Берегову охорону розвинутих морських держав, асоціації фрахтувальників, судновласників, класифікаційні товариства і передові судноплавні компанії, зосереджено на підвищенні контролю за безпекою на морі. Практика мореплавства каналами Азовського моря свідчить про ускладнення судноводіння гідрометеорологічними умовами в цьому районі. Одним із таких факторів є поява «льодової ріки». Авторами допускається припущення щодо причин появи «льодової ріки». **Висновки.** Таким чином, проблеми навігаційної безпеки мають вирішуватися в комплексі; з урахуванням льодових ускладнень, що зустрічаються в районах плавання з метою попередження аварійної небезпеки та підвищення безпеки судноплавства. Розглянуті можливі причини виникнення «льодової річки» в судноплавних каналах мілководного Азов-

ського моря вимагають проведення подальших теоретичних і експериментальних досліджень у напрямі розробки заходів щодо забезпечення безпеки мореплавства в льодову обстановку в цьому регіоні.

Ключові слова: безпека судноплавства, льодові умови, морський транспорт, льодова ріка, Азовське море.

SAFETY OF NAVIGATION ALLOWING FOR THE ICE CONDITIONS

O.Y. Nesterov¹, Y.V. Zagorodnia², S.M. Perepechaev³

¹Ph.D. in Engineering, Assistant Professor at the Department of Navigation and Handling Ship,
Azov Maritime Institute

*of the National University of "Odessa Maritime Academy",
Mariupol, Donetsk region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3095-7746*

²Ph.D. in Economics, Assistant Professor at the Department of Navigation and Handling Ship,
Azov Maritime Institute

*of the National University of "Odessa Maritime Academy",
Mariupol, Donetsk region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0320-540X*

³Senior Lecturer at the Department of Navigation and Handling Ship,
Deep Sea Captain,

*Azov Maritime Institute
of the National University of "Odessa Maritime Academy",
Mariupol, Donetsk region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0907-6162*

Summary

Introduction. The article considers modern problems of navigation safety, and also solves questions of safety of navigation which are directed on comprehensive preparation of the vessel and crew for navigation in ice conditions; features of hydrometeorological conditions of navigation through the channels of the Sea of Azov and conditions of occurrence of such natural phenomenon as "ice river". **Purpose.** The purpose of the article is to analyze the safety of navigation, as well as to identify possible causes of the "ice river", for further research and development of appropriate measures to ensure the safety of navigation in the navigable canals of the Sea of Azov in ice conditions. As well as creating a standard system to ensure safe navigation of ships. The standard of the system should not only ensure safe navigation, but also facilitate the task of monitoring the readiness of the vessel to go to sea. **Results.** The attention of global maritime organizations, including the International Maritime Organization (IMO), the Coast Guard of Developed Maritime States, charterers' associations, shipowners, classification societies and leading shipping companies, is focused on enhancing maritime safety controls. The practice of navigation through the canals of the Sea of Azov indicates the difficulty of navigation by hydrometeorological conditions in this area. One such factor is the emergence of a natural phenomenon called the "ice river". The authors make assumptions about the cause of the "ice river". **Conclusions.** Thus, the problems of navigation safety must be solved in a complex; taking into account the ice complications encountered in the areas of navigation, in order to prevent accidents and improve the safety of navigation. The possible causes of the "ice river" in the

navigable canals of the shallow Sea of Azov require further theoretical and experimental research to develop measures to ensure the safety of navigation in the ice environment in this region.

Key words: *safety of navigation, ice conditions, sea transport, ice river, Sea of Azov.*

Вступ. Світова практика морського судноплавства зазвичай оцінює безпеку залежно від кількісних та якісних чинників, а саме від співвідношення кількості тоннажу з кількістю аварійних ситуацій, які належать до певного району плавання. Прийнято вважати, що стан безпеки мореплавства нормальний, якщо аварійність не перевищує 3% від загального тоннажу. Іноді при перевірках відсутність буя на каналі беруть як відсутність будь-якої безпеки, хоча в льодових умовах половину всіх буїв зазвичай знімають із метою їх збереження в період льодової. При цьому безпека мореплавства не вважається порушеною. Її забезпечення ведеться в умовах льодових проводок, лоцманського і радіолокаційного обслуговування.

Постановка проблеми. На безпеку мореплавства спрямована підготовка судна, екіпажу для плавання в льодових умовах. Як небезпечний розцінюється стан зменшення глибин внаслідок природних заносів. Необхідно зменшувати осадки при зменшенні глибин на підставі промірів, лоцманської проводки, погодження з умовами глибин і швидкості судна задля уникнення великого просідання, рівня моря на заданий момент – все це не є чинником створення аварійної ситуації. Але досі вважається, що вона не забезпечена зі зменшенням глибин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині питанням дослідження льодового режиму Азовського моря присвячено цілу низку робіт [1–4]. Аналіз цих робіт показує, що питанням раптового виникнення течій, пов'язаних з утворенням «льодової ріки», не приділено належної уваги. Відомі дослідження [4] струменевих потоків в Арктичних морях, також названих «льодова ріка», але ці потоки пов'язані з апвелінгом глибинних вод біля берегових припаїв льоду.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз безпеки судноводіння, а також виявлення можливих причин виникнення «льодової ріки», для подальших досліджень і розробки відповідних заходів щодо забезпечення безпеки плавання по судноплавних каналах Азовського моря в льодовій обстановці.

Виклад основного матеріалу. У морському розумінні «безпека» – це стан, за якого ризик загрози виникнення ушкодження екіпажу або збиток обмежений допустимим рівнем і є одним з аспектів якості, яка включає підготовку персоналу (навчальні та тренажерні центри підготовки морських спеціалістів), гідрографічного забезпечення, технічного оснащення, лоцманські та радіолокаційні проводки (лоцманська служба), служба регулювання руху суден, пошук і порятунків, днопоглиблення тощо.

Причини виникнення морських аварій прийнято зараховувати до суб'єктивних факторів, а саме:

- нехтування сучасними заходами безпеки;
- людський фактор;
- недотримання вимог нормативно-правових документів;
- низька професійно-кваліфікаційна підготовка членів судового екіпажу;
- недостатній контроль та слабка організація судовим менеджментом вахтової служби;

– надмірна втома екіпажу, внаслідок нераціонального планування робочого часу та відпочинку;

– відсутність почуття відповідальності у членів екіпажу.

Аналізуючи статистичні дані багаторічних досліджень, можна зробити висновок, що аварійність в 3% зберігаються практично в кожному рейсі. Цей відсоток можна стримувати на такому ж рівні, навіть збільшуючи тоннажність шляхом впровадження сучасних технологій та постійного підвищення рівня підготовки персоналу, що обслуговує судно як із боку екіпажу, так і з боку берегових служб.

Нині основні документи з безпеки судноплавства зазвичай спрямовані на перевірку готовності судна до плавання. Але, як показує практичний досвід, цих заходів замало і необхідно удосконалювати систему документального супроводу перевірки суден. Наприклад, експерти, аналізуючи загибель в 1986 році т/х «Адмірал Нахімов» біля мису Дооб, зробили висновок, що через недбале ставлення до своїх прямих службових обов'язків Служби регулювання руху суден призвело до зіткнення з т/х «Петро Васев».

Приклад т/х «Титанік» свідчить, що аварії виникають через людський фактор та нерозумні комерційні інтереси. З метою підвищення ефективності комерційної експлуатації судна, а саме скорочення часу на перетин Атлантики, як наслідок зменшення вартості, було прийнято рішення проложити свій маршрут небезпечною зоною через можливість появ айсбергів. Таким чином, судовий менеджмент прагнув продемонструвати можливості нового сучасного судна, яке не мало аналогів на той час.

Як свідчать статистичні дані, більшість великомасштабних аварій, як із загибеллю людей, так і з розливом нафтопродуктів, трапляються в акваторії портів, у вузьких проходах або поблизу узбережжя, тобто саме на ділянках, які добре контролюються постами спостереження і службами адміністрації портів. Отже, морським адміністраціям потрібно проводити додаткову підготовку в питанні не тільки готовності судна зустріти достойно аварійну ситуацію, а й вживанні відповідних заходів на березі, щоб не допустити навігаційних аварій. Сучасний аналіз показує, що тільки 20% аварійних подій належить до питань незадовільної організації вахтової служби на судні і його технічного стану, тобто до питань виконання вимог МКУБ – пожежі, загибель людей, вихід із ладу головних двигунів, втрата якоря, розлив нафти. Решта 80% – це випадки, безпосередньо пов'язані з організацією берегового забезпечення безпечного плавання суден: навали, зіткнення, посадки на мілину, незадовільне буксирне забезпечення.

Можна навести характерний приклад аварійних подій. Під час швартування судна і навалі його на причал отримана пробоїна в борту. Швартування забезпечували буксири під керівництвом лоцмана порту. Портова влада, провівши розслідування, поклала провину на капітана судна. Ретельний незалежний аналіз події показав, що буксири, «розігнавши» судно, не змогли погасити його інерцію через недостатню для їх маневру операційної смуги; навалом бортом на кордон причалу на швидкості вище допустимої судно проткнуло свій борт пристроєм кріплення причального крану; пробоїни могло б не бути, якби гідротехніки дотримувалися технічних правил кріплення відбійних пристроїв.

Тому є всі підстави покласти відповідальність за те, що трапилося не тільки на керівника швартовних операцій, але і на гідротехнічну службу порту і капітана

порту. Одні порушили технологію установки відбійних пристроїв, інші «переглянули» умови швартування. Відсутність фактичної інформації про хвилювання на берегових рекомендованих шляхах уздовж західного і східного узбережжя Чорного моря майже щорічно призводить до загибелі суден обмеженого району плавання.

В Україні, захопившись неухильним виконанням СОЛАС-74, МКУБ, «людського фактору», де в основному йдеться про організацію служби на судні, упустили той факт, що країна втратила потужний флот і головним надбанням і джерелом аварійності є порти і прибережна зона плавання, яким необхідно приділяти особливу увагу через концентрацію основних негативних явищ, що впливають на безпеку мореплавства. Так, наприклад, у дослідженнях району підхідного каналу порту Маріуполь зазначається: «<...>надзвичайно важливе з позиції безпеки мореплавства і зовсім не досліджене природне явище, яке спостерігається в Азовському морі, яке отримало назву «льодова ріка». Про це явище немає жодних відомостей у сучасній океанографічній літературі. В умовах обмеження маневреності в каналі «льодова ріка» є реальним джерелом навігаційної небезпеки. Це явище через практичну значущість вимагає подальшого детального дослідження». За відомостями, отриманими від капітанів суден і лоцманів, в акваторії Таганрозької затоки, в районі судноплавного каналу Вугільної гавані, раптово виникають відкриті течії води з льодом шириною до 100 м зі швидкістю сумірною з рухом судна, названими «льодова ріка». Вона як раптово з'являється, так і раптово зникає. Це природне явище являє собою актуальну проблему щодо забезпечення безпеки мореплавства по каналах Азовського моря в льодовій обстановці.

Практика мореплавства каналами Азовського моря показує, що судноводіння в цьому районі ускладнюється гідрометеорологічними умовами, такими як туман, мороз, вітер, дрейф льоду, зміна напрямку течії, швидке намерзання льоду й інші природні фактори. Одним із таких факторів є поява «льодової ріки».

В умовах «льодової ріки» на судно впливає дія поперечної течії, що може призвести до раптової неконтрольованої зміни напрямку руху судна та навіть посадки його на бровку каналу, чим значно знижуються критерії навігаційної небезпеки мореплавства суден каналами Азовського моря. Дані Державного підприємства «Маріупольській морський торгівельний порт» свідчать про випадки посадки суден на мілину в період льодової обстановки на підхідному каналі Вугільної гавані. Судна було видавлено на бровку на 7 км та 11 км. Через якість ґрунту, а саме через те, що він порівняно м'який. Під час знаходження судна на мілині воно дедалі більше занурюється в ґрунт, що призводить до додаткових фізичних та матеріальних труднощів, пов'язаних зі зніманням судна з мілини [9].

На судно, що було видавлено на бровку каналу, діють сили, різні за своїми значеннями і напрямками:

- дія зусилля, яке розвивається плином «льодової річки»;
- тиск ваги судна на ґрунт;
- удари хвилі спільно з льодовою шугою;
- вплив вітра;
- просідання ґрунту, викликане продавлуванням його судном;
- інші сили.

Зазвичай «льодова ріка» формується за таких умов: покриття льодового покриву Таганрозької затоки та його досягання широти $46^{\circ}10'$; наявність міцного припая уздовж усього льодового покриву; тривала дія північно-східних і східних вітрів. Допускається припущення, що причина появи «льодової ріки» залежить від рельєфу дна, а саме від кам'янистих твердих порід. Це спричинено особливістю розташування акваторії Азовського моря на Східно-Європейській платформі, Скіфській плиті і спорудах Альпійського покривно-складчастого поясу [10]. Дослідження показали, що в Азовському морі дно складається в основному з ілу, який переходить в кам'янисті породи, що створює спрямований рух води між виступами цих порід [6]. «Структура породи дна в районі узбережжя Азовського моря не однорідна, спостерігаються численні скиди кам'янистих твердих порід, що також створює умови для виникнення спрямованих підлідних течій розглянутих в роботі» [5]. Льодовий режим мілководного Азовського моря визначається в основному режимом температури повітря, напрямом і силою вітру над акваторією моря. У сукупності всі ці чинники зумовлюють надзвичайно складну картину мінливості льодових умов у часі і просторі [7]. За однією з версій, поява «льодової ріки» пов'язана з наявністю теплого джерела зливних вод міського колектору, закінчення якого знаходиться в межах розглянутої зони [10]. Також причиною виникнення «льодової ріки» служать підземні річки, які впадають в Азовське море в районі Вугільної гавані.

Аналіз всіх чинників показав, що в районі каналу Таганрозька затока покрита льодом і стоїть повний припай, канал повністю забивається шугою до дна, в тому числі і по краях каналу. Під час тривалої дії вітрів північно-східного і східного напрямів виникають згинні течії, рівень моря і льодового покриву значно знижується через згин води з Таганрозької затоки, що викликає появу в Азовському морі так званої «зворотного течії» [8]. Течія, сягаючи 5-метрової ізобати, періодично змінює напрям на захід або північний захід.

Азовський морський інститут Національного університету «Одеської морської академії» в дослідному басейні кафедри «Навігація і управління судном» провів дослідження і довів цю теорію. Як дослідив Азовський морський інститут НУ «ОМА», «льодова ріка», яка раптово зароджується і зникає, ускладнює безпеку мореплавства по судноплавних каналах мілководного Азовського моря. Утворення ополонки з течіями в крижаних масивах, а також раптовий розрив льоду призводять до його роздроблення. Ця обставина також спричиняє швидке утворення «льодової ріки», бо малі криги швидше втягуються до наростаючого руху зажорів [5]. За наявності суцільного крижаного покриву і зі збільшенням параметра його шорсткості збільшується вітровий коефіцієнт дрейфу криги (за рахунок зменшення розмірів криги), збільшуючи його швидкість.

Висновки. Таким чином, проблеми навігаційної безпеки мають вирішуватися в комплексі, з урахуванням льодової обстановки, що зустрічаються в районах плавання, з метою попередження аварійної небезпеки та підвищення безпеки судноплавства. Розглянуті можливі причини виникнення «льодової річки» в судноплавних каналах мілководного Азовського моря вимагають проведення подальших теоретичних і експериментальних досліджень у напрямі розробки заходів щодо забезпечення безпеки мореплавства в льодовій обстановці в цьому регіоні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Боровская Р.В. Океанографические исследования ЮгНИРО в Азово-Черноморском бассейне с использованием информации с ИСЗ / Р.В. Боровская, П.Д. Ломакин, Б.Н. Панов, Е.О. Спиридонова, Б.Г. Троценко. *Труды ЮгНИРО*. Керчь : ЮгНИРО, 2009. С. 41.
2. Боровская Р.В., Лексикова Л.А. Исследование ледового режима Азовского моря и Керченского пролива в зимний период 2005–2006 годов. *Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна* : Мат. II международной конференции, 26–27 июля 2006 г., ЮгНИРО, г. Керчь. Керчь, 2006. С. 60–64.
3. Боровская Р.В. Особенности ледового режима Керченского пролива за последние 20 лет на базе спутниковых наблюдений в сравнении с климатическими данными. *Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интегральных процессов в образовании и науке* : тезисы Докладов международной конференции, Севастополь, МГИ НАН Украины. Севастополь, 2006. С. 13.
4. Трансарктика. URL: <http://www.aari.ru/>
5. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010. 274 с.
6. Берестовой А.М. Состояние и основные проблемы ледовой проводки судов в Азовском море / А.М. Берестовой, С.Н. Перепечаев, А.А. Патлай. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2011. № 5(159). Ч. 1. С. 94–99.
7. Алекшин В.Г. Практическое судовождение / В.Г., Алекшин, В.Т. Долгогуб. Одесская национальная морская академия, 2008. 376 с.
8. Курс лекцій Стендфордського університету / Данные об уровне подземных вод на картах и графиках. URL: <https://geohydrology.ru>
9. Сайт міста Маріуполь. URL: <https://www.0629.com.ua/>
10. Океанография. URL: http://esimo.oceanography.ru/espl/index.php?sea_code=11§ion=18

REFERENCES

1. Borovskaja, R. V. (2009) Oceanographic research of YugNIRO in the Azov-Black Sea basin using information from satellites [Okeanograficheskie issledovanija JugNIRO v Azovo-Chernomorskom bassejne s ispolzovaniem informacii s ISZ]. *Trudy JugNIRO*. Kerch : JugNIRO, 2009. S. 41.
2. Borovskaja, R. V., Leksikova, L. A. (2006) Investigation of the ice regime of the Sea of Azov and the Kerch Strait in the winter period 2005-2006 [Issledovanie ledovogo rezhima Azovskogo morja i Kerchenskogo proliva v zimnij period 2005-2006 godov] *JugNIRO*, g. Kerch. Kerch, 2006. S. 60–64.
3. Borovskaja, R. V. (2006) Features of the ice regime of the Kerch Strait over the past 20 years based on satellite observations in comparison with climatic data [Osobennosti ledovogo rezhima Kerchenskogo proliva za poslednie 20let

- na baze sputnikovyh nabljudenij v sravnenii s klimaticheskimi dannymi]. MGINAN Ukrainy. Sevastopol, 2006. S. 13.
4. Transarctic. URL: <http://www.aari.ru>
 5. Sazonov K.E. (2010) Theoretical foundations of navigation of ships in ice [Teoreticheskie osnovy plavanija sudov vo ldah]. CNII im. Akad. A.N. Krylova, 2010. 274 s.
 6. Berestovoj A.M. (2011) State and main problems of ice escorting of ships in the Sea of Azov [Sostojanie i osnovnye problemy ledovoj provodki sudov v Azovskom more]. Visnik Shidnoukraïnskogo nacionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalja № 5(159) Ch. 1. 2011. S. 94–99.
 7. Alekshin V.G. (2008) Practical navigation [Prakticheskoe sudovozhdenie]. Odesskaja nacionalnaja morskaja akademija. 2008. 376 s.
 8. Lecture course at Stanford University [Kurs lekcij Stendfordskogo universiteta]. URL: <https://geohydrology.ru>
 9. Site of the city of Mariupol [Sajt mista Mariupol]. URL: <https://www.0629.com.ua/>
 10. Oceanography [Okeanografija]. URL: http://esimo.oceanography.ru/esp1/index.php?sea_code=11§ion=18.

ПЕРСПЕКТИВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ РУЛЬОВИХ МАШИН ПЛУНЖЕРНОГО ТИПУ

В.О. Проценко¹, В.О. Настасенко², М.В. Бабій³, А.О. Білоконь⁴

¹д.т.н., доцент, професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-3468-4952

²д.т.н., доцент, професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0330-1138

³к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0560-2081

⁴інженер,
Компанія «Marlow Navigation», Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-7895-5315

Анотація

Вступ. Досконалість конструкції будь-якої машини залежить від здатності зберігати стабільність технічної характеристики протягом усього періоду експлуатації. Особливого значення це набуває для рульових машин, від збережуваності яких залежить, зокрема, безпека мореплавства. **Мета** роботи – аналіз перспектив удосконалення важільних механізмів рульових машин плунжерного типу з точки зору підвищення структурної досконалості та зниження навантажуваності деталей. **Результати.** Показано, що еволюція важільного механізму рульових машин плунжерного типу відбувалась у напрямі зниження кількості надлишкових зв'язків. Механізм машини P-18 має $q = 26$ надлишкових зв'язків, механізм ГРМ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 має $q = 20$, машини НАТЛАРА R4ST-1000 – $q = 16$. Підвищення структурної досконалості механізмів ГРМ відбувалось шляхом зміни призначення, конструкції та згодом відмови від прямої балки. У машині P-18 основним її призначенням є розвантаження плунжера. На несівну спроможність балки значний вплив має величина зазору в її сполученні з опорою плунжерів. За відсутності зазору напрямна сприймає 92,3% поперечного навантаження. У разі його збільшення до 0,25 мм напрямна сприйматиме вже 56,2% поперечного навантаження, а в разі подальшого збільшення зазору до 0,50 мм сприймає тільки 20% поперечного навантаження. Інша конструкція ГРМ – YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 зберегла напрямну як елемент, що унеможливує поворот плунжерів навколо власної осі, її жорсткість достатня для сприяння максимум 7% поперечного навантаження. Машина НАТЛАРА R4ST-1000 зовсім не містить напрямної, тобто 100% поперечного навантаження сприймають плунжери. Показано, що кількість надлишкових зв'язків у механізмі чотириплунжерної рульової машини можна зменшити до 6, що означає досягнення за критерієм мінімізації їх кількості глобального екстремуму параметрів. **Висновки.** За критеріями структурної досконалості та навантажуваності

плунжерів поперечною силою, застосований у всіх сучасних ГРМ плунжерного типу тангенсний механізм досяг екстремуму свого розвитку, тому перспектива підвищення технічного рівня рульових машин плунжерного типу знаходиться в площині застосування іншого типу механізму для перетворення поступального руху плунжерів в обертальний рух румпеля.

Ключові слова: рульова машина, плунжер, механізм, надлишкові зв'язки, навантаження.

RAM-TYPE STEERING GEAR LEVER MECHANISM IMPROVEMENT PERSPECTIVES

V.O. Protsenko¹, V.O. Nastasenko², M.V. Babii³, A.O. Bilokon⁴

¹Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Transport Technologies and Mechanical Engineering Department,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-3468-4952

²Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Transport Technologies and Mechanical Engineering Department,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0330-1138

³Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Ship Power Plants Operation,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0560-2081

⁴Engineer,
Marlow Navigation Company, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-7895-5315

Summary

Introduction. Any-type machine perfection depends on its ability to keep technical characteristic stability during all operation period. It acquires particular importance for steering gears, from which stability depends navigation safety.

Purpose. The article purpose is the analysis of the ram-type steering gears lever mechanism improvement perspectives in the case of increasing structural completeness and decreasing details loading. **Results.** It is shown that ram-type steering gears evolution took place in the direction of reducing the number of redundant connections. Steering gear P-18 mechanism has $q = 26$ redundant connections, YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 steering gear mechanism – $q = 20$, HATLAPA R4ST-1000 steering gear mechanism – $q = 16$. Increasing steering gears lever mechanisms structural completeness took place through changing purpose, construction and than rejection of guide beam. In P-18 steering gear guide beam main purpose was unloading plunger (ram) from transverse force from tiller. Main influence on guide beam load capacity has size of gap between guide beam and ram support. In gap absence guide beam taking 92.3% of transverse force. When gap size is 0.25 mm, guide beam taking already 56.2% of transverse force, and when gap size increasing to 0.5 mm – only 20%. Other steering gear construction YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 save guide beam as element which makes rams rotation around its own axe impossible. The guide beam rigidity

is enough to take only 7% of transverse force. HATLAPA R4ST-1000 steering gear has no guide beam that means that ram taking fully transverse force. It is shown that redundant connections number in four-rams steering gear can be reduced to $q = 6$, that means achievement by criteria of their minimization global parameters extreme. **Conclusions.** By criteria of structural completeness and ram loading by transverse force, using in all modern steering gears tangents-type lever-mechanism reached its development extreme. That's why increasing technical level perspective is in the area of using other type mechanism to transformation rams progressive motion to tiller turn.

Key words: steering gears, ram, mechanism, redundant connections, load.

Вступ. Досконалість конструкції будь-якої машини залежить від здатності зберігати стабільність технічної характеристики та робочих параметрів протягом усього періоду експлуатації (збережуваність – один із критеріїв надійності). Особливого значення це набуває для для рульових машин, від збережуваності яких залежить, зокрема, безпека мореплавства [1].

Аналіз наукових досліджень і публікацій. У машинах, механізми яких містять надлишкові зв'язки, протягом експлуатації відбувається перерозподіл навантажень між деталями, що призводить перевантаження одних і розвантаження інших, це подекуди спричиняє зміну технічної характеристики машини, збільшення в ній механічних втрат. Тому побудова машин з якнайменшою кількістю надлишкових зв'язків та якнайменшими навантаженнями деталей є актуальним завданням. Виконанню досліджень за кожним із вказаних напрямів має передувати оцінка їх перспективності, оскільки кожній технічній системі в межах кожного принципу дії властивий глобальний екстремум параметрів [2], після досягнення якого потрібний перехід до нового принципу дії. Вказаним напрямом присвячена значна кількість робіт, що стосуються металургійних, піднімально-транспортних машин та елементів їх приводів [3–6], удосконаленню конструкції елементів суднових рульових машин присвячено дещо менше уваги [7], що формує умови для виконання подальших досліджень.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є аналіз перспектив удосконалення важільних механізмів рульових машин плунжерного типу з позиції підвищення структурної досконалості та зниження навантаженості деталей.

Завдання роботи:

- оцінити ефективність роботи напрямної балки в рульових машинах плунжерного типу з урахуванням експлуатаційних особливостей та її вплив на структурну досконалість важільного механізму;
- встановити резерви підвищення структурної досконалості механізмів плунжерних ГРМ;
- встановити резерви зниження поперечного навантаження плунжерів у ГРМ із тангенсним механізмом.

Виклад основного матеріалу. На початковому етапі проаналізуємо структуру важільного механізму рульової машини Р-18 (рис. 1), яка є однією з класичних конструкцій і випускаються вже понад 40 років. Покажемо в механізмі цієї ГРМ наявність та місце розташування надлишкових зв'язків.



Рис. 1. Загальний вид механізму рульової машини P-18

Для спрощення розрахунків розглядатимемо половину її механізму, що пов'язана лише з одним із плунжерів (рис. 2). У такому варіанті механізм містить три рухомі ланки ($n = 3$) – плунжер із голівкою та опорою, що ковзає по напрямній, румпель і хрестовину, що сполучає румпель і голівку плунжера. Кількість кінематичних пар п'ятого класу становить $P_5 = 2$ (O_5, F_5), кількість кінематичних пар четвертого класу $P_4 = 5$ (A_4, B_4, C_4, E_4, D_4), кінематичних пар третього, другого та першого класів $P_3 = P_2 = P_1 = 0$.

Загальна кількість кінематичних пар

$$P = P_5 + P_4 + P_3 + P_2 + P_1 = 2 + 5 + 0 + 0 + 0 = 7, \quad (1)$$

Сума рухомостей кінематичних пар

$$f = 1P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1 = 1 \times 2 + 2 \times 5 + 3 \times 0 + 4 \times 0 + 5 \times 0 = 12, \quad (2)$$

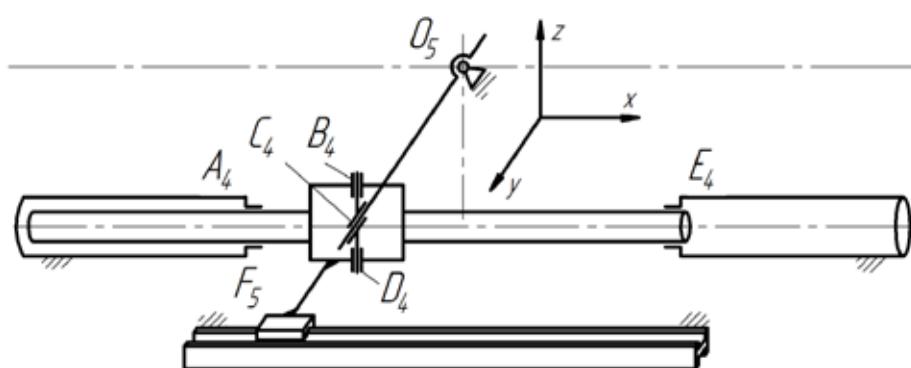


Рис. 2. Структурна схема механізму рульової машини P-18

Кількість незалежних замкнених контурів механізму [8]

$$k = P - n = 7 - 3 = 4, \quad (3)$$

Перший незалежний контур механізму – $O_5C_4B_4A_4O_5$, другий контур – $O_5C_4D_4E_4O_5$, третій контур – $E_4D_4F_5E_4$, четвертий контур – $A_4B_4F_5A_4$.

Ступінь рухомості механізму за формулою Войня і Атанасіу

$$W = N - \sum r_i = 12 - (2 + 3 + 3 + 3) = 1, \quad (4)$$

де $N = 12$ – кількість однорухомих кінематичних пар, що дорівнює сумі рухомостей; $r_1 = 2, r_2 = r_3 = r_4 = 3$ – ранги осей незалежних контурів.

Кількість надлишкових зв'язків механізму машини Р-18 за формулою Сомова-Малишева [11]

$$q_{CM} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = 1 + 5 \times 2 + 4 \times 5 + 3 \times 0 + 2 \times 0 + 0 - 6 \times 3 = 13. \quad (5)$$

Кількість надлишкових зв'язків механізму за формулою Озолса

$$q_{O3} = W + 6k - f = 1 + 6 \times 4 - 12 = 13, \quad (6)$$

Таким чином, кількість надлишкових зв'язків $q = q_{CM} = q_{O3} = 13$. Підтверджує наведені викладки і застосування поконтурного методу (табл. 1). Загалом у механізмі ГРМ Р-18 кількість буде $q = 26$. Така їх кількість зумовлена наявністю кінематичних пар низьких класів. Зазначимо, що надлишкові зв'язки q_2, q_6, q_{12} унеможливають самовстановлення ланок у напрямі осі u , тобто в напрямі дії поперечної сили на плунжер. Більшість надлишкових зв'язків ($q_3 - q_{13}$) знаходиться в третьому та четвертому контурах, відмова від яких адекватна зменшенню кількості цих зв'язків. Наявність цих контурів, згідно з виразом (3), має своїм джерелом застосування напрямної і пари F_5 , що передає поперечне навантаження з плунжера на напрямну, а також шарніра D_4 . З позиції роботи механізму як системи ланок, необхідності в цих кінематичних парах немає, проте вони впливають на передачу навантаження в працюючій машині. Шарнір D_4 потрібен для уникнення виникнення в місці сполучення хрестовини і плунжерної голівки зосередженого згинального моменту, що додатково згинатиме плунжер. Повороту плунжера навколо власної осі перешкоджає сполучення румпеля з ними циліндричною парою C_4 . Напрямна закладалась у конструкцію ГРМ для сприйняття частини повного поперечного навантаження (7) збоку румпеля, тому поступальна пара F_5 виконана з розвиненими плоскими елементами.

Таблиця 1

Застосування поконтурного методу до механізму ГРМ Р-18

| Контур | Плоскі рухомості f_n | Неплоскі рухомості f_n |
|-------------------|--|---|
| $O_5C_4B_4A_4O_5$ | $f'_x \quad f'_y \quad f''_z$ | $f''_x \quad f''_y \quad f'_z$ |
| $O_5C_4D_4E_4O_5$ | $A \quad C \quad \overbrace{DB}^{W_0}$ | $A \quad C \quad B$ |
| $E_4D_4F_5E_4$ | $E \quad \emptyset \quad D$ | $E \quad \emptyset \quad D$ |
| $A_4B_4F_5A_4$ | $F \quad \emptyset \quad \emptyset$ | $\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset$ |
| | $\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset$ | $\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset$ |
| | $\downarrow q_6 \quad \downarrow q_7 \quad \downarrow q_8$ | $\downarrow q_5 \quad \downarrow q_6 \quad \downarrow q_7$ |
| | | $\downarrow q_{11} \quad \downarrow q_{12} \quad \downarrow q_{13}$ |
| $W = 1, q = 13$ | | |

Оцінку ефективності роботи напрямної як розвантажувального елемента в такій конструкції ГРМ, з урахуванням експлуатаційних особливостей, зробимо висновок шляхом аналізу розподілу навантаження між плунжером та напрямною під час роботи машини.

Для цього розглянемо розрахункову схему, показану на рис. 3. Поперечне зусилля визначається співвідношенням

$$F_l = F_i \sin \alpha = M_i \sin \alpha \cos \alpha / (2H), \quad (7)$$

де F_i – колове зусилля на румпелі; α – кут перекладки стерна; M_i – момент на румпелі (з урахуванням гідродинамічного опору повороту стерна та втрат в опорах балера); H – відстань між осями балера та плунжера.

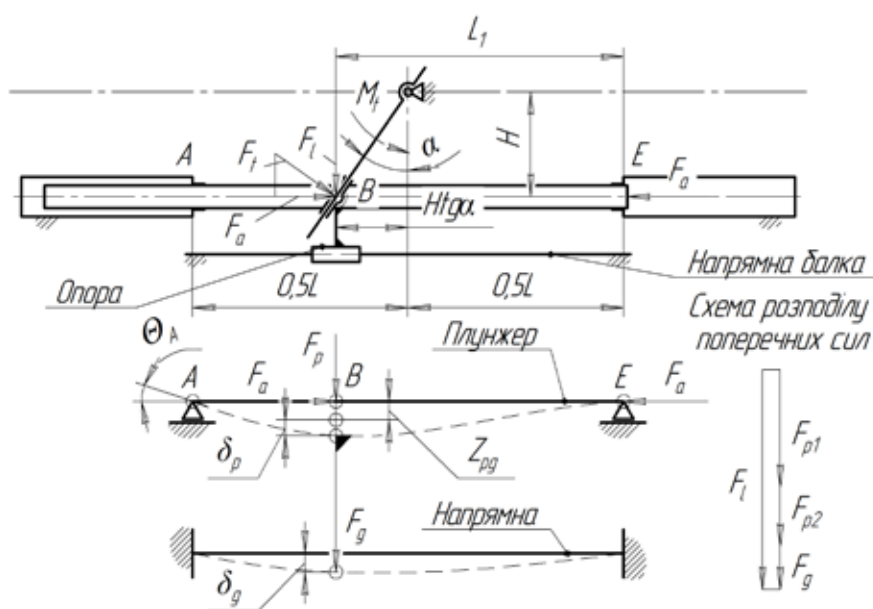


Рис. 3. Розрахункова схема механізму рульової машини P-18

Далі приймаємо такі припущення: деформування плунжерів та напрямних відбувається в межах границі пружності їх матеріалів, між плунжерами та втулками наявні зазори, що дають змогу вважати плунжери балками на шарнірних опорах (зазор вважаємо рівним $2Z = 0,6$ мм, що допускається в експлуатації [9]), напрямна є балкою із жорстко зашкеленими кінцями, плунжери та напрямні мають постійний за довжиною момент інерції перерізу, між опорою плунжерів та напрямною наявний зазор (збільшення якого в експлуатації допускається виробником до величини $Z_{pg} = 0,25$ мм, проте реально в експлуатації він може бути більшим).

За наявності зазора Z_{pg} в парі F_5 поперечне навантаження починатиме сприймати тільки плунжер, після прогину якого на величину цього зазора, поперечне зусилля йому сягатиме величини F_{p1} . Після закриття зазора Z_{pg} напрямна почне сприймати поперечне навантаження сумісно з плунжером, утворюючи статично невизначену балкову систему. При цьому плунжер і напрямна зазнають у результаті

деформації однакових прогинів $\delta_p = \delta_g$, що спричиняться зусиллями, відповідно, F_{p2} та F_g . Усі три згаданих пружних реакцій збоку плунжера та напрямної зрівноважуватимуть зовнішнє поперечне зусилля (7), тоді

$$\begin{cases} F_l = F_{p1} + F_{p2} + F_g; \\ \delta_p = \delta_g. \end{cases} \quad (8)$$

Прогин плунжера як шарнірно опертої балки, що працює в умовах повздовжньо-поперечного згину, становитиме [8]

$$\delta_p = \delta_{p0} / (1 - F_a / F_{Eu}), \quad (10)$$

де δ_{p0} – прогин плунжера як двохопорної балки при поперечному згині від дії тільки сили F_p ; F_a – осьова сила, що стискає плунжер; F_{Eu} – сила Ейлера для плунжера.

$$F_a = F_l \cos \alpha = M_l \cos^2 \alpha / (2H); \quad (11)$$

$$F_{Eu} = \pi^2 EJ_p / L_1^2; \quad (12)$$

$$L_1 = 0,5L + H \operatorname{tg} \alpha, \quad (13)$$

де J_p – момент інерції поперечного перерізу плунжера; E – модуль пружності матеріалу плунжера та напрямної; L – відстань між гідроциліндрами.

Для машини Р-18 максимальний момент становить $M_l = 1000$ кН·м, головні розміри машини такі: $H = 600$ мм, $L = 1600$ мм. Напрягну та плунжер виготовлено зі сталі ($E = 2,1 \times 10^5$ МПа). Плунжер має кільцевий переріз із зовнішнім і внутрішнім діаметрами $d_p = 240$ мм, $d_{p1} = 160$ мм та моментом інерції $J_p = 130690254$ мм⁴. За таких параметрів (для $\alpha = 35^\circ$) урахування повздовжнього згину дає приріст прогину лише 0,31% ($\delta_p = 1,0031\delta_{p0}$). Тому далі враховуємо тільки поперечне навантаження плунжерів, тоді:

$$Z_{pg} = F_{p1} (L - L_1)^2 L_1^2 / (3EJ_p L) = F_{p1} \lambda_p; \quad (14)$$

$$\delta_p = F_{p2} (L - L_1)^2 L_1^2 / (3EJ_p L) = F_{p2} \lambda_p; \quad (15)$$

$$\delta_g = F_g (L - L_1)^3 L_1^3 / (3EJ_g L^3) = F_g \lambda_g, \quad (16)$$

де J_g – момент інерції поперечного перерізу напрямної; λ_p та λ_g – лінійні піддатливості плунжера та напрямної відповідно.

Кутовий зазор в опорі A в разі деформації плунжера завжди буде меншим, ніж в опорі E , і становитиме

$$\Delta\theta_A = \theta_{\max} - \theta_A, \quad (17)$$

де $\theta_{\max} = 2Z/l_s$ ($l_s = 240$ довжина плунжерної втулки) – максимально можливий кут повороту плунжера у втулці в межах діаметрального зазору $2Z$; θ_A – кут повороту кінця плунжера в опорі A .

$$\theta_A = (F_{p1} + F_{p2})L^2(L_1/L - [L_1/L]^3) / (6EJ_p). \quad (18)$$

Після вираження зусилля F_{p2} (15) через F_g (16) із використанням (9), підстановки у (8), та виконання перетворень, отримаємо вираз для обчислення поперечного навантаження напрямної

$$F_g = (F_l \lambda_p - Z_{pg}) / (\lambda_p + \lambda_g). \quad (19)$$

Звідки коефіцієнт навантаження напрямної, що характеризує ефективність її роботи з розвантаження плунжера, становитиме

$$K_{gl} = F_g / F_l = (\lambda_p - Z_{pg} / F_l) / (\lambda_p + \lambda_g). \quad (20)$$

Напрямна балка в машині Р-18 має двотавровий переріз із вирізом посередині стінки (рис. 1) $J_g = 284981668 \text{ мм}^4$. Наведені викладки дали змогу побудувати графіки (рис. 4) залежності поперечних зусиль, що діють на плунжер та напрямну (рис. 4, а), та коефіцієнта (20) навантаження напрямної (рис. 4, б) від величини зазору Z_{pg} . Графіки побудовано для кута перекладки стерна $\alpha = 35^\circ$ при дії максимального моменту на румпелі.

Таким чином, зі збільшенням зазору Z_{pg} між опорою плунжера та напрямною ефективність функціонування останньої зменшується. За відсутності зазору ($Z_{pg} = 0$) (рис. 4, а) напрямна сприймає 362 кН поперечного навантаження, а плунжер – лише 30 кН, або 7,7% ($K_{gl} = 0,923$). У разі збільшення зазору до $Z_{pg} = 0,125 \text{ мм}$ навантаження плунжера збільшується в 3,4 рази до 101 кН, а напрямної – зменшується до 291 кН, тобто напрямна сприйматиме 74,3% навантаження ($K_{gl} = 0,743$). У разі подальшого збільшення зазору до величини $Z_{pg} = 0,250 \text{ мм}$, напрямна сприйматиме 56,2% поперечного навантаження ($K_{gl} = 0,562$), або 220 кН, а плунжер – відповідно, 172 кН, чи 43,8%. Наявність додатнього кутового зазора $\Delta\theta_A$ в опорі А (рис. 4, б) свідчить про правомірність припущення про плунжер як балку на шарнірних опорах.

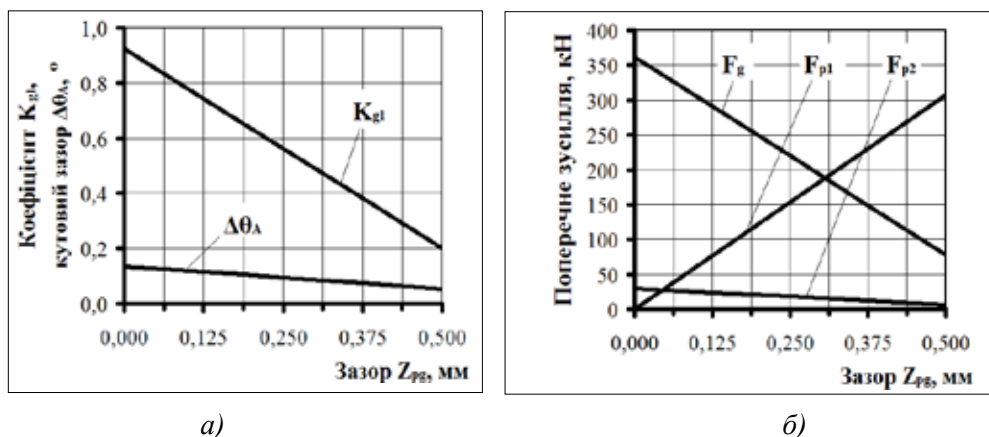


Рис. 4. Графік залежності поперечних зусиль (а), коефіцієнта навантаження напрямної та кутового зазора в опорі А (б) від величини зазору Z_{pg}

Отже, в експлуатації ефективність функціонування прямої з розвантаження плунжера від поперечного зусилля залежить від стану елементів кінематичної пари F_3 (рис. 2), зокрема, величини зазору Z_{pg} між ними, що підтверджує структурну недосконалість механізму ГРМ Р-18. Зменшення кількості надлишкових зв'язків можна досягти підвищенням класу застосованих пар, але ефективніше зменшенням кількості контурів.

У більш пізніх ГРМ пряма позбулась функції сприйняття більшої частини поперечного навантаження на плунжер. Так, у машині YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 [10] пряма здатна нести лише 5–7% навантаження, решту сприймає плунжер. Натомість пряма набула функції убезпечення повороту плунжерів навколо власної осі. Загалом механізм ГРМ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 має $q = 20$ надлишкових зв'язків.

З метою зниження кількості надлишкових зв'язків у наступній аналізованій машині НАТЛАРА R4ST-1000 (рис. 5) пряма відсутня (повздовжня балка ϵ , але на ній закріплено вказівник кута перекладки) і застосовані циліндричні повзуни, що утворюють пари B_4 та D_4 (рис. 6), які виключають поворот плунжера навколо власної осі.



Рис. 5. Загальний вид механізму рульової машини НАТЛАРА R4ST-1000

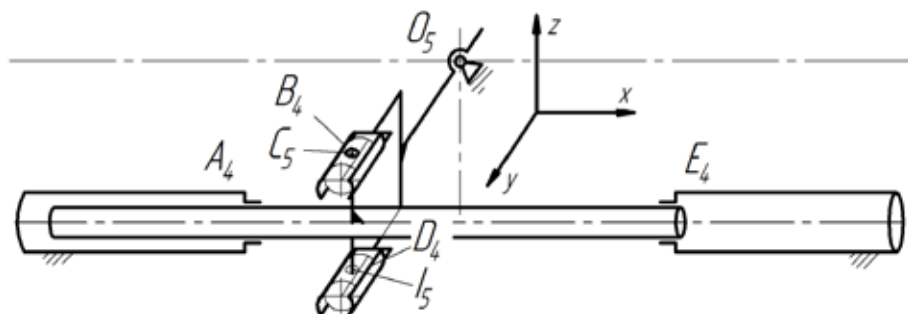


Рис. 6. Структурна схема механізму рульової машини НАТЛАРА R4ST-1000

Кількість кінематичних пар тут становить: $P_5 = 3$ (O_5, C_5, I_5), $P_4 = 4$ (A_4, B_4, E_4, D_4), $P_3 = P_2 = P_1 = 0$, механізм містить чотири рухомі ланки ($n = 4$). Структурний аналіз демонструє, що незалежних контурів три – $O_5B_4C_5A_4O_5$, $O_5D_4I_5E_4O_5$, $C_5B_4D_4I_5C_5$, ступінь рухомості механізму $W = 1$, кількість надлишкових зв'язків в аналізованому механізмі $q_{CM} = q_{O3} = 8$, а у всьому механізмі ГРМ $q = 16$. Поконтурний метод (табл. 2), демонструє, що абсолютна більшість надлишкових зв'язків ($q_3 - q_8$) знаходиться в четвертому контурі, наявність якого зумовлена наявністю пар D_4 та I_5 , про необхідність застосування яких сказано вище.

Знизити кількість надлишкових зв'язків можна зменшити застосуванням плунжерів, які встановлені з ексцентриситетом e (може бути у вертикальній чи горизонтальній площині) для виключення їх повороту навколо власної осі, одного призматичного повзуна (утворює з пазом румпеля кінематичну пару третього класу) встановленого між плунжерами на сферичній опорі. Таким чином, механізм матиме $n = 3$, $P_5 = 1$, $P_4 = 2$, $P_3 = 2$, $P_2 = P_1 = 0$, дві рухомості ($W = 2$) – основну рухомість механізму і місцеву рухомість – поворот повзуна навколо осі x . Неважко обчислити, що такий механізм матиме $q = 3$, а чотириплунжерна машина із двох таких механізмів матиме $q = 6$ (у машині Р-18 $q = 26!$). Подальше зниження кількості надлишкових зв'язків без введення додаткових ланок та кінематичних пар є доволі складним.

Таблиця 2

Застосування поконтурного методу до механізму ГРМ НАТЛАРА R4ST-1000

| Контур | Плоскі рухомості f_n | Неплоскі рухомості f_n |
|-------------------|--|--|
| $O_5B_4C_5A_4O_5$ | $f'_x \quad f'_y \quad f''_z$ | $f''_x \quad f''_y \quad f'_z$ |
| $O_5D_4I_5E_4O_5$ | $A \quad B \quad \begin{matrix} OC \\ \uparrow W_0 \end{matrix}$ | $A \quad B \quad \emptyset$ |
| $C_5B_4D_4I_5C_5$ | $E \quad D \quad I$ | $E \quad D \quad \emptyset$ |
| | $\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset$ | $\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset$ |
| | $\downarrow q_3 \quad \downarrow q_4 \quad \downarrow q_5$ | $\downarrow q_6 \quad \downarrow q_7 \quad \downarrow q_8$ |
| $W = 1, q = 8$ | | |

Переходячи від структури механізмів ГРМ до навантаженості їх деталей, зазначимо, що у всіх конструкціях забезпечене значне поперечне навантаження плунжерів, яке можна оцінити коефіцієнтом їх навантаження коловою силою. Для машин із напрямною вираз (21) для його обчислення неважко отримати з використанням співвідношень (7), (8) та (19), а для машин, що не містять напрямної, $F_p = F_t$, і тому $K_{pt} = \sin \alpha$.

$$K_{pt} = F_p / F_t = (\lambda_g \sin \alpha + Z_{pg} / F_t) / (\lambda_p + \lambda_g). \quad (21)$$

Тобто для $\alpha = 35^\circ$ в машині НАТЛАРА R4ST-1000 та інших ГРМ без напрямної, на плунжер передається 57% колової сили F_t ($K_{pt} = 0,573$). Наявність напрямної здатне зменшити цей відсоток – у машині Р-18 при $Z_{pg} = 0$ плунжер навантажується зусиллям, що становить близько 4% від колового ($K_{pt} = 0,044$), а при гранично допустимому

зазорі $Z_{pg} = 0,25\text{--}25\%$ від колового зусилля ($K_{pt} = 0,251$), у разі збільшення зазору до величини $Z_{pg} = 0,50$ мм (що цілком реально в експлуатації), плунжер сприйматиме вже 46% колового зусилля ($K_{pt} = 0,459$). Різниця між навантаженням плунжерів поперечною силою в 57% колового зусилля в машинах без напямної і 46% в машинах із напямною за наявності зазора також свідчить на користь відмови від останньої. Крім цього, питання зниження поперечного навантаження плунжерів шляхом збільшення жорсткості напямної є малоперспективним, оскільки основний вплив на поперечне навантаження (7) мають особливості силової взаємодії ланок застосованого в сучасних ГРМ тангенсного важільного механізму. Це означає, що за критерієм навантаженості плунжерів поперечним зусиллям конструкція механізму тангенсного типу досягла глобального екстремуму, тому резерв зниження навантаженості плунжерів знаходиться у площині застосування іншого типу механізму для перетворення поступального руху плунжерів в обертовий рух румпеля.

Висновки. За рахунок виконання представлених у роботі теоретичних досліджень:

- показано, що еволюція важільних механізмів рульових машин плунжерного типу відбувалась у напрямі зниження кількості надлишкових зв'язків. Механізм машини P-18 має $q = 26$ надлишкових зв'язків, механізм більш сучасної ГРМ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 має $q = 20$, машини НАТЛАРА R4ST-1000 – $q = 16$;

- підвищення структурної досконалості механізмів ГРМ відбувалось шляхом зміни призначення, конструкції та згодом відмови від напямної балки. Так, у машині P-18 основним її призначенням є розвантаження плунжера. На несівну спроможність напямної значний вплив має величина зазору в сполученні балки та опори плунжерів. У разі відсутності зазору напямна сприймає 92,3% поперечного навантаження. У разі його збільшення до 0,25 мм напямна сприйматиме вже 56,2% поперечного навантаження, а в разі подальшого збільшення зазору до 0,50 мм напямна сприймає тільки 20% поперечного навантаження. Інша конструкція ГРМ – YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 зберегла напямну як елемент, що лише унеможливило поворот плунжерів навколо власної осі, її жорсткість достатня для сприяння максимум 7% поперечного навантаження. Машина НАТЛАРА R4ST-1000 зовсім не містить напямної, тобто 100% поперечного навантаження сприймають плунжери;

- показано, що кількість надлишкових зв'язків у механізмі чотириплунжерної рульової машини можна зменшити до 6, що означає досягнення за критерієм мінімізації їх кількості глобального екстремуму параметрів;

- з огляду на низьку ефективність роботи та, зрештою, відмову від напямної за критерієм навантаженості плунжерів поперечною силою, застосований у сучасних ГРМ тангенсний механізм досяг екстремуму свого розвитку, тому перспектива зниження навантаженості плунжерів знаходиться в площині застосування іншого типу механізму для перетворення поступального руху плунжерів в обертальний рух румпеля.

Напрями подальших досліджень:

- оцінка енергетичної ефективності механізму ГРМ плунжерного типу та встановлення напрямів її підвищення;

- розроблення конструктивних схем ГРМ із підвищеними техніко-економічними та експлуатаційними показниками;

- розроблення основ структурно-параметричного синтезу ГРМ плунжерного типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Харин В.М. Судовые гидравлические рулевые машины. Одесса : Фенікс, 2005. 280 с.
2. Кузнецов Ю.М., Скляр Р.А. Прогнозування розвитку технічних систем. Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. 323 с.
3. Погребняк Р.П., Погребняк М.Р. Пошук й усунення повторюваних зв'язків у схемі напрямного кривошипно-повзункового механізму захоплювального пристрою. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту*. 2020. № 3 (87). С. 129–137. doi.org/10.15802/stp2020/208233
4. Погребняк Р.П. Повторювані зв'язки у схемах стрижньового повзунно-шатунного механізму захоплювального пристрою. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 4 (76). С. 81–88. DOI: 10.15802/stp2018/140547
5. Sydorenko I., Kravtsov E., Prokopovych I., Korolkova M., Dmitrieva S. Reducing the reliability of equipment as a result of the reduction of the culture of production. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2019. № 3(59). С. 5–13. DOI: 10.15276/opu.3.59.2019.01
6. Проценко В.О., Самойленко Л.К., Бабій М.В. Аналіз відмов та напрямки удосконалення відцентрових муфт сепараторів суднових енергетичних установок. *Підйомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал*. 2016. № 3. С. 59–71.
7. Овчарук О.М., Проценко В.О. Обґрунтування параметрів приводу суднової рульової машини з важільною редукцією. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2014. № 2(11). С. 185–196.
8. Иосилевич Г.Б., Лебедев П.А., Стреляев В.С. Прикладная механика. Москва : Машиностроение, 1985. 576 с.
9. Маркитантов В.И., Милованцев П.М., Морозов М.Я. Ремонт судовых гидравлических систем. Москва : Транспорт, 1989. 174 с.
10. Проценко В.О., Настасенко В.О., Бабій М.В., Білоконь А.О. Особливості передавання навантаження деталями суднової рульової машини плунжерного типу. *Судноводіння. Науково-технічний збірник*. 2020. Вип. 30. С. 107–116. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.107-116

REFERENCES

1. Kharin V.M. (2005). Marine hydraulic steering gear [Sudovye gidravlicheskie rulevyie mashiny]. Odessa : Fenix, 280 p. [in Russian].
2. Kuznetsov Yu.M., Sklyarov R.A. (2004) Technical systems development prognosing [Prohnozuvannia rozvytku tekhnichnykh system]. Kyiv : TOV “ZMOK”-PP “GNOZIS”, 323 p [in Ukrainian].
3. Pogrebnyak R.P., Pogrebnyak M.R. (2020) Search and elimination of repeated connections in the scheme of guiding slide-crank mechanism of the gripping device [Poshuk y usunennia povtoriuvaniykh zviazkiv u skhemi napriamnoho kryvoshypno-povzunkovoho mekhanizmu zakhopliuvalnoho

- prystroiu]. *Transport science and progress. Bulletin of Dnipro National University of Railway transport named after Academician V. Lazaryan.* 3 (87). 129–137 [in Ukrainian].
4. Pogrebnyak R.P. (2018) Repeated connections in the schemes of link slider-crank mechanism of gripping device [Povtorivani zviazky u skhemakh stryzhnovoho povzunno-shatunnoho mekhanizmu zakhopliuvalnoho prystroiu]. *Transport science and progress. Bulletin of Dnipro National University of Railway transport named after Academician V. Lazaryan.* 3 (76). 81–88 [in Ukrainian].
 5. Sydorenko I., Kravtsov E., Prokopovych I., Korolkova M., Dmitrieva S. (2019) Reducing the reliability of equipment as a result of the reduction of the culture of production. *Proceedings of Odessa Polytechnic University.* 3 (59). 5–13.
 6. Protsenko V.O., Samojlenko L.K., Babiy M.V. (2016) Refusal analysis and improvement directions of centrifugal couplings ship power plant purifiers [Analiz vidmov ta napriamky udoskonalennia vidtsentrovnykh muft separatoriv sudnovykh enerhetychnykh ustanovok]. *Hoisting and conveying equipment. Research and practice journal.* 3. 59–71 [in Ukrainian].
 7. Ovcharuk O.M., Protsenko V.O. (2016) Justification parameters of steering gear driving with lever reduction [Obgruntuvannia parametriv pryvodu sudnovoi rulovoi mashyny z vazhilnoiu reduktsiieiu]. *Scientific Bulletin Kherson State Maritime Academy.* 2 (11). 185–196 [in Ukrainian].
 8. Iosilevich G.B., Lebedev P.A., Strelyaev V.S. (1985) Applied mechanic [Prikladnaya mehanika]. Moscow: Machinebuilding. 576 p. [in Russian].
 9. Markitantov V.I., Milovantsev P.M., Morozov M.Ya. (1989) Repairing of ship hydraulic systems [Remont sudovyih gidravlicheskih sistem]. Moscow: Transport. 174 p. [in Russian].
 10. Protsenko V.O., Nastasenko V.O., Babiy M.V., Bilokon A.O. (2020) Marine ram-type steering gear details load transfer features [Osobennosti peredachi sborki detaley sudovogo rulevogo mekhanizma plunzhernogo tipa]. *Shipping and navigation. Research journal.* 30. 107–116 [in Ukrainian].

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ МОТИЛЕВИХ
ПІДШИПНИКІВ МАЛООБЕРТОВОГО СУДНОВОГО
ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА WARTSILA RT-FLEX82C**

В.П. Савчук¹, Д.О. Зінченко², О.В. Акімов³

¹к.т.н., доцент, завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5266-850X

²к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-7333-7347

³к.т.н., доцент, декан факультету суднової енергетики,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-8613-2837

Анотація

Вступ. Системне моделювання та аналіз стану підшипників кривошипно-шатунного механізму може значно поліпшити розуміння механізму контактної взаємодії робочих поверхонь, пов'язаного з динамічними характеристиками, і є ефективним методом для визначення граничних значень експлуатаційних показників підшипників колінчастого валу. **Мета.** Ця стаття присвячена моделюванню показників працездатності мотилевого підшипника дизельного двигуна Wartsila RT-flex82C у програмному середовищі GT-Suite при різних значеннях експлуатаційних зазорів, що допоможе вдосконалити теорію аналізу мащення підшипників двигуна і може забезпечити більш повну довідкову базу для проектування шатунів та підшипників. Моделювання виконувалося із застосуванням показників моторного масла класу в'язкості SAE 30, що подається при температурі 318 К, та тиском 0,5 МПа. **Результати.** Отримано результати робочих параметрів чотирьох варіантів радіального зазору в підшипнику 0,3, 0,4, 0,5 та 0,6 мм. Підвищення зносу супроводжується ростом максимального гідродинамічного тиску в масляному прошарку, а саме із 9,44 МПа до 13,02 МПа (40%), зменшення товщини змащувального шару з 65,3 мкм до 63,0 мкм (3,5%). Також збільшення зазору закономірно призводить до зменшення середнього моменту тертя -625,6 Н·м до -468,1 Н·м та зменшуються втрати потужності з 7,8 кВт до 6,3 кВт. Відповідно, температура масла в підшипнику знижується з 323,4 до 318 К. **Висновки.** У цій статті ми показуємо, що збільшення радіального зазору призводить до підвищення витрати масла через підшипник, що своєю чергою призводить до падіння тиску. Оскільки математична модель базується на умові постійного тиску циркуляційного масла, розрахована середня витрата становить 21,3, 28,6, 64,8 та 102,8 л/хв для досліджуваних варіантів радіальних зазорів. Можна сказати, що працездатність підшипника з радіальним зазором 0,6 мм буде складно забезпечити внаслідок падіння в ньому тиску.

Ключові слова: моделювання, кривошипно-шатунний механізм, підшипник, колінчастий вал, мащення.

**SIMULATION OF CRANKPIN BEARINGS OPERATING PARAMETERS
OF A LOW-SPEED MARINE DIESEL ENGINE WARTSILA RT-FLEX82C**

V.P. Savchuk¹, D.O. Zinchenko², O.V. Akimov³

¹Candidate 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

²Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor at the Department of Vessel's Power Plants Operation,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-7333-7347

³Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Dean of the Marine Engineering Faculty,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-8613-2837

Summary

Introduction. Systematic modeling and analysis of the crankshaft bearings condition can significantly improve the understanding of the mechanism of contact interaction of the bearing surfaces and the crankshaft, related to dynamic characteristics and is an effective method for determining performance limits for crankshaft bearings. **Purpose.** This article is devoted to modeling the performance of the crank bearing of a diesel engine Wartsila RT-flex82C in the software environment GT-Suite at different values of operating clearances, which will help improve the theory of lubrication of engine bearings and can provide a more complete reference base for constructional design of connecting rods and bearings. The simulation was performed using SAE 30 viscosity engine oil values supplied at a temperature of 318 K and a pressure of 0,5 MPa. **Results.** The results of operating parameters for four variants of radial clearance 0.3, 0.4, 0.5 and 0.6 mm in the bearing are obtained. The increase in wear is accompanied by an increase in the maximum hydrodynamic pressure in the oil layer; namely from 9.44 MPa to 13.02 MPa (40%), a decrease in the thickness of the lubricating layer from 65.3 μm to 63.0 μm (3.5%). In addition, the increase of the clearance naturally leads to a decrease in the average friction moment of -625.6 N m to -468.1 N m and reduces power losses from 7.8 kW to 6.3 kW. Accordingly, the oil temperature in the bearing decreases from 323.4 to 318 K. **Conclusions.** In this paper, we show that increasing the radial clearance leads to an increase in oil flow through the bearing, which in turn leads to a drop in pressure. Since the mathematical model is based on the condition of constant pressure of circulating oil, the calculated average flow is 21.3, 28.6, 64.8 and 102.8 l/min for the studied variants of radial clearances. We can say that the performance of a bearing with a radial clearance of 0.6 mm will be difficult to ensure due to the pressure drop in it.

Key words: modeling, crank mechanism, bearing, crankshaft, lubrication.

Вступ та постановка проблеми. Сучасні суднові МОД характеризуються широким діапазоном експлуатаційних навантажень, які залежать від економічної ситуації на ринку морських перевезень, типу судна, кліматичних умов. Зміна режиму навантаження впливає на умови експлуатації деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ), зокрема підшипників колінчастого валу.

Деталі КШМ є ресурсовизначними, що здійснюють вплив на довговічність, економічність і безпеку судна загалом. Заміна колінчастого валу і підшипників становить 20–25% вартості двигуна, а здебільшого заміна є економічно недоцільною. Зусилля зі зниження втрат на тертя при одночасному підвищенні безвідмовності стають дедалі важливішими для двигунобудування. Тому системне моделювання та аналіз стану підшипників КШМ може значно поліпшити розуміння механізму контактної взаємодії робочих поверхонь, пов'язаного з динамічними характеристиками, і є ефективним методом для визначення граничних значень експлуатаційних показників підшипників колінчастого валу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню трибологічних характеристик КШМ присвячено безліч публікацій, в яких в основному висвітлюють такі питання: дослідження мащення підшипників системи колінчастий вал – корінний підшипник при запуску двигуна [2]; дослідження мащення підшипників колінчастого валу при прогріванні двигуна [3]; дослідження факторів впливу на мащення підшипників колінчастого валу [4]; оптимізація мащення підшипників колінчастого валу [5]; порівняння різних видів імітаційних моделей мащення шатунного підшипника [6]; мащення корінного підшипника двигуна з турбонаддувом [7]; дослідження термоеластогідродинамічного змішаного мащення корінного підшипника суднового двигуна [8]; аналіз мащення корінного підшипника суднового двигуна в типових умовах експлуатації [9–10]. Однак у поточних розробках і дослідженнях загалом аналізувалися тільки характеристики мащення шатуна і корінного підшипника в номінальних робочих умовах. При фактичному використанні двигуна його робочий стан постійно змінюється. Отже, пропонується вивчити показники працездатності мотилевого підшипника дизельного двигуна Wartsila RT-flex82C в програмному середовищі GT-Suite при різних значеннях експлуатаційних зазорів, що допоможе вдосконалити теорію аналізу мащення підшипників двигуна і може забезпечити більш повну довідкову базу для проектування шатунів та підшипників.

Формулювання цілей статті. Ціллю роботи є дослідження показників працездатності мотилевих підшипників суднових малообертових двигунів при різних значеннях експлуатаційних зазорів. Такими показниками є мінімальна товщина змащувального шару, розподіл величини тиску масла на поверхні підшипника; температура масла в підшипнику. Додатковими показниками, що уможлиблює здійснення оцінки ефективності роботи підшипника є момент тертя та втрата потужності в підшипнику.

Вклад основного матеріалу. Для моделювання динамічних сил та навантажень на підшипники колінчастого валу використовується шаблон EngineCrankTrain. Для цього використовуючи вкладку Cylinder Geometry задаємо параметри показника Crank-Slider Inertia Object, використовуючи шаблон EngineCrankSlider (рис. 1).

При цьому маса вузлів КШМ така:

- маса поршня в зборі та штоком поршня 3543 кг;
- маса крейцкопфного вузла із черевиками 4919 кг;
- маса шатуна в зборі із вкладишами становить 6161 кг.

Показники центру мас та моменту інерції щодо центру мас у площині руху шатуна знаходимо, використовуючи твердотільну модель шатуна, що виконано

в програмному комплексі SolidWorks (рис. 2). Отримані результати моделювання масових властивостей шатуна:

- відстань від осі нижньої головки шатуна до центру маси 1475,54 мм;
- момент інерції в площині обертання шатуна відносно центру маси $I_{xx} = 9292985020,88 \text{ кг/мм}^2$.

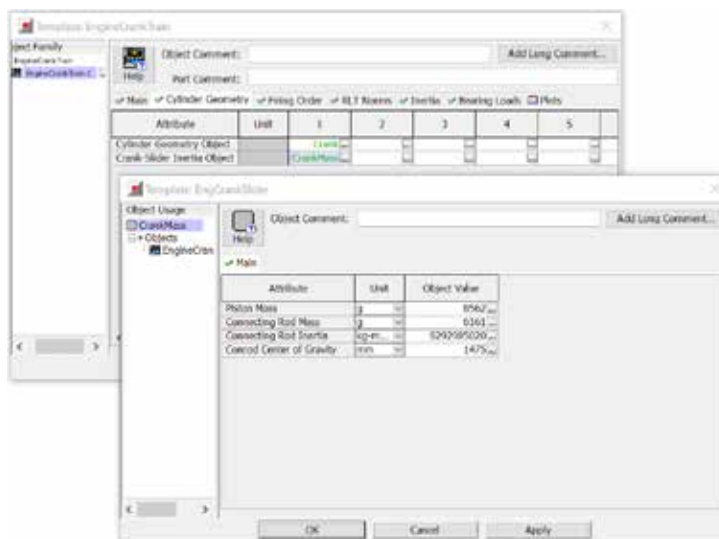


Рис. 1. Призначення параметрів рухомих деталей КШМ двигуна через шаблон EngineCrankSlider

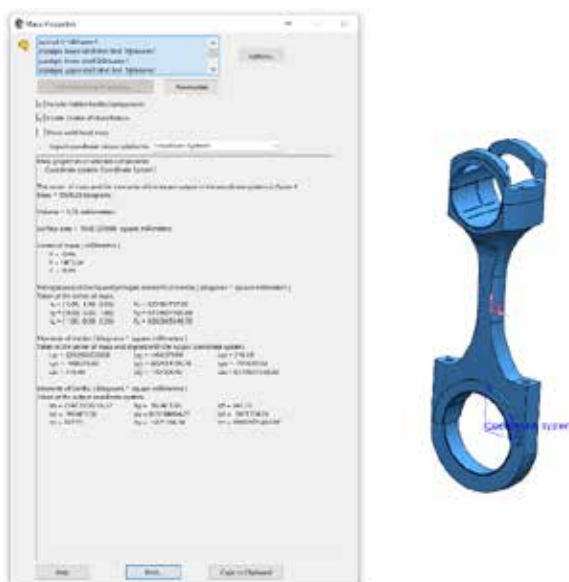


Рис. 2. Моделювання масових показників шатуна в програмному комплексі SolidWorks

Загальні показники моделі мотилевого підшипника

Розрахункова модель підшипника представлена на рис. 3.

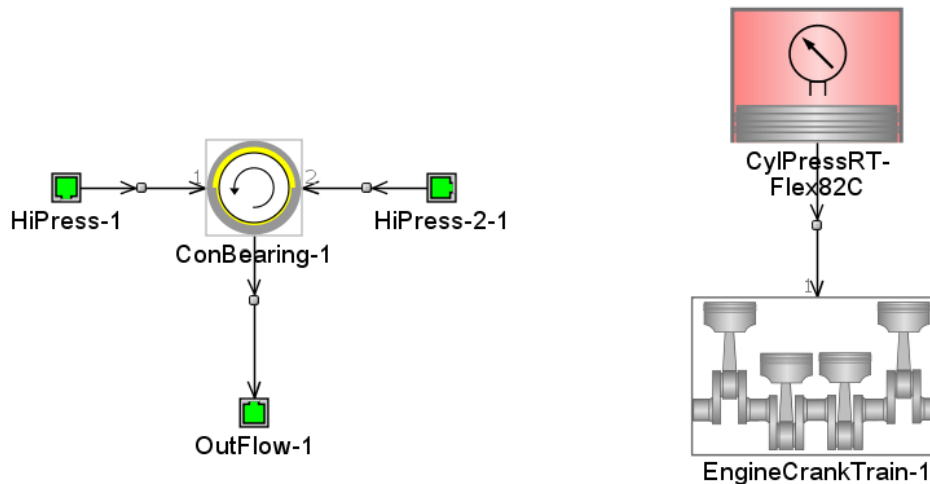


Рис. 3. Розрахункова модель мотилевого підшипника

У процесі моделювання використовувались показники системи мащення:

- циркуляційне масло з індексом в'язкості SAE 30;
- температура масла на вході в підшипник 318 К;
- тиск масла на вході в підшипник 0,5 МПа.

Ці показник змодельовано елементами HiPress-1 та HiPress-2. Зливну магістраль представлено елементом OutFlow-1.

Також розрахунки проведемо для трьох варіантів експлуатаційних радіальних зазорів (рис. 4).

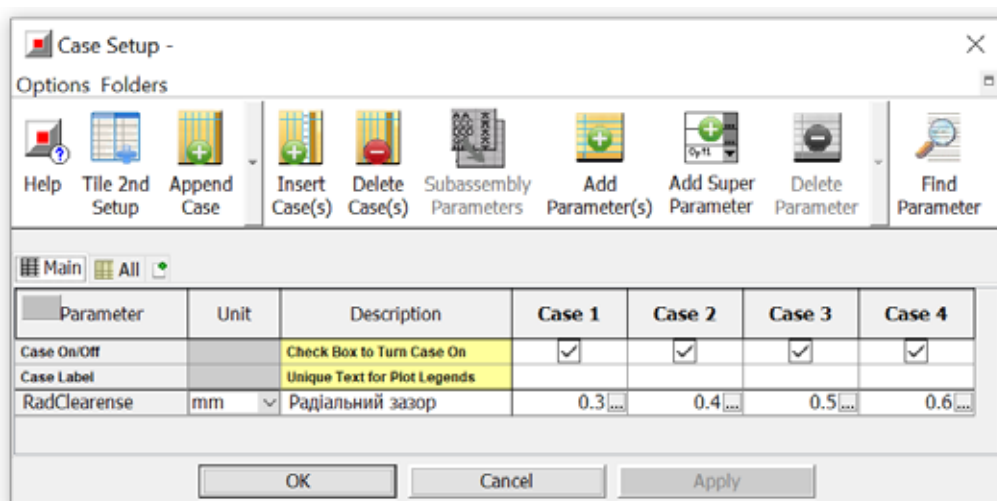


Рис. 4. Проект розрахунку

Результати моделювання робочих параметрів мотилевого підшипника

Проведене моделювання на номінальному режимі навантаження мотилевого підшипника, що має величини радіальних зазорів 0,3, 0,4, 0,5, та критичний 0,6 мм, демонструє такі результати:

- максимальне значення тиску, що діє у вертикальній площині (вздовж вісі циліндра), становить 808,6 кН (рис. 5);
- максимальне значення тиску, що діє в горизонтальній площині (перпендикулярно вісі циліндра), становить 273,9 кН;
- графічні залежності розподілу тиску змащувального шару за кутом повороту колінчастого валу демонструють максимальне його значення в роботі з підшипником, що має максимальний розрахунковий радіальний зазор 0,6 мм та становить 13,02 МПа (рис. 6);
- головний показник працездатності – мінімальна товщина змащувального шару може бути визначена за отриманими графічними залежностями розподілу товщини змащувального шару від кута повороту колінчастого валу (рис. 7). Очікувано найменше значення цього показника має підшипник із найбільшим радіальним зазором (0,6 мм) 63 мкм, а найбільше значення має підшипник із радіальним зазором 0,4 мм – 66,2 мкм;

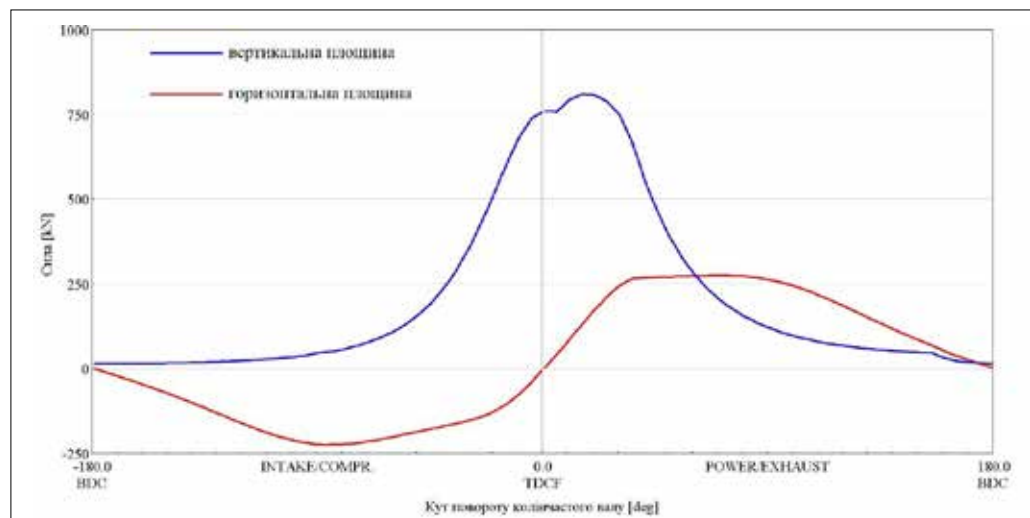


Рис. 5. Розподіл сил, що діють на мотилевий підшипник у вертикальній та горизонтальній площинах

- максимальне та мінімальне значення температури масла в підшипнику мають варіанти з радіальним зносом 0,3 мм – 324 К та 0,6 мм – 319,4 К відповідно (рис. 8);
- максимальний момент опору в підшипнику становить -920,8 Н·м для підшипника з радіальним зазором 0,3 мм, а його найменше значення становить 760,4 Н·м для підшипника з радіальним зазором 0,6 мм (рис. 9);
- значення максимальних втрат потужності в підшипнику становить 15,3 кВт для підшипника із радіальним зазором 0,3 мм, а найменші втрати потужності становлять 13,3 кВт для підшипника з радіальним зазором 0,6 мм (рис. 10).

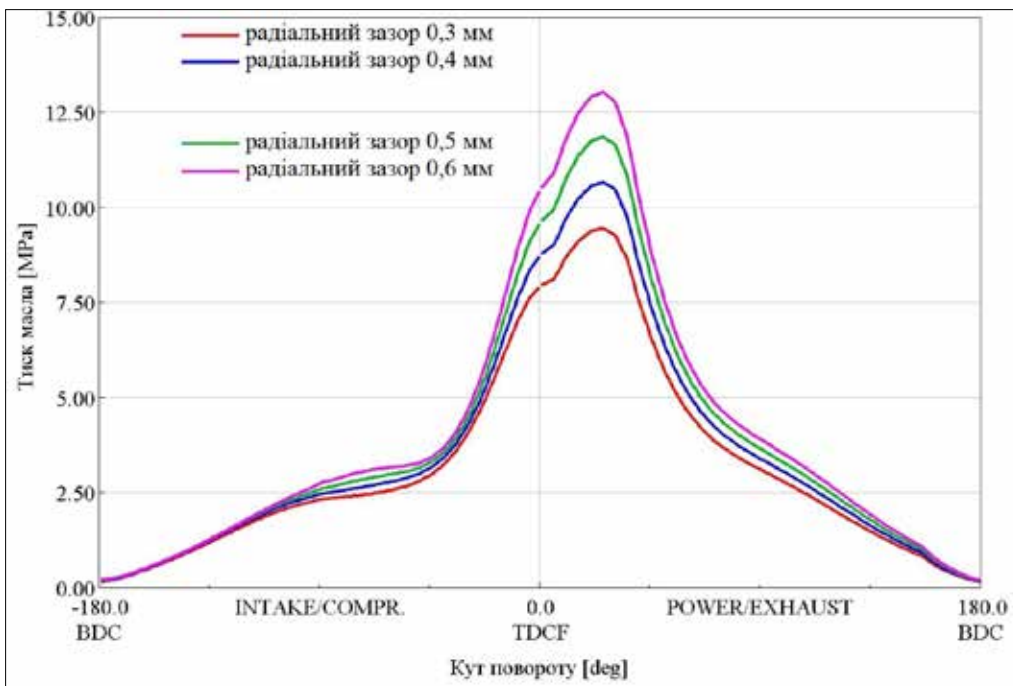


Рис. 6. Розподіл тиску в змащувальному шару за кутом повороту колінчастого валу

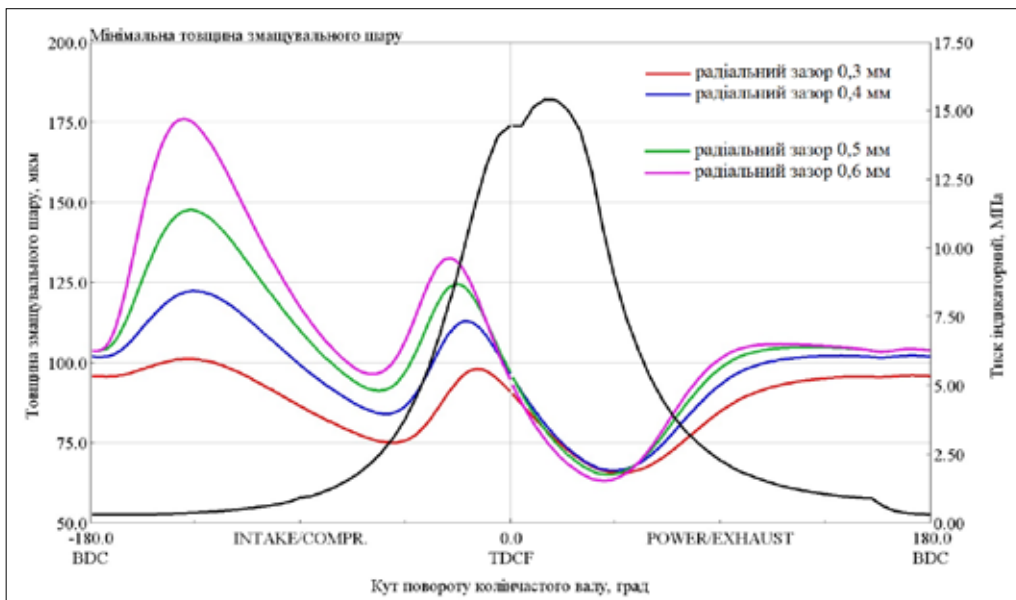


Рис. 7. Розподіл товщини змащувального шару від кута повороту колінчастого валу

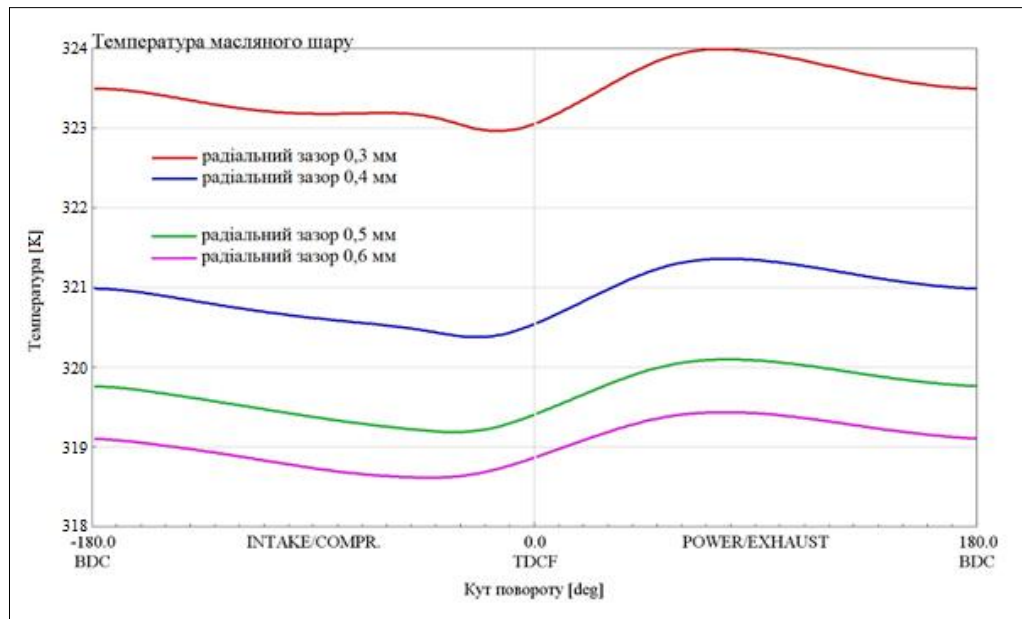


Рис. 8. Розподіл температури масла в підшипнику

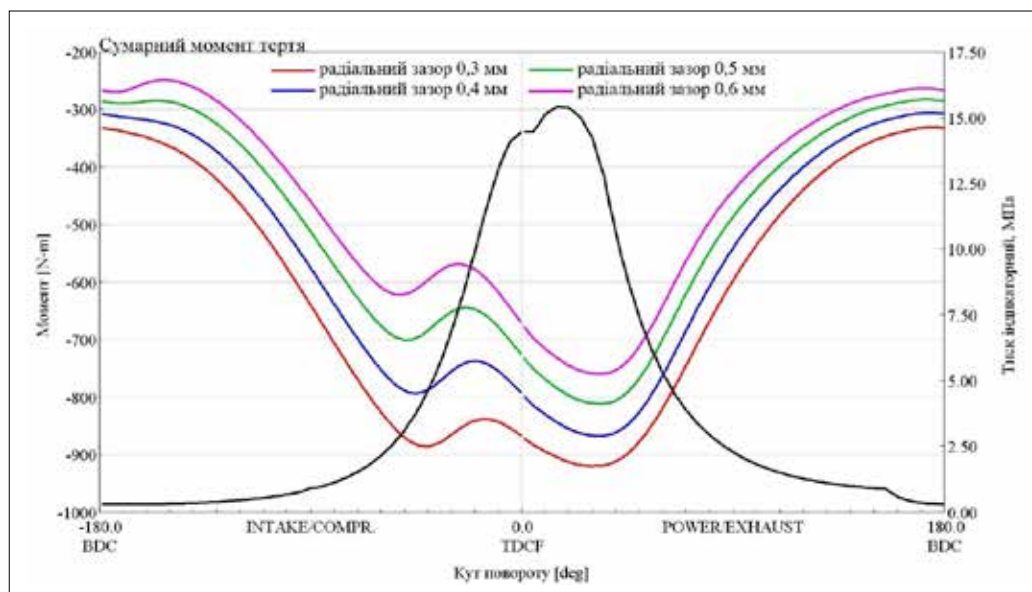


Рис. 9. Залежність моменту тертя в підшипнику від кута повороту колінчастого вала

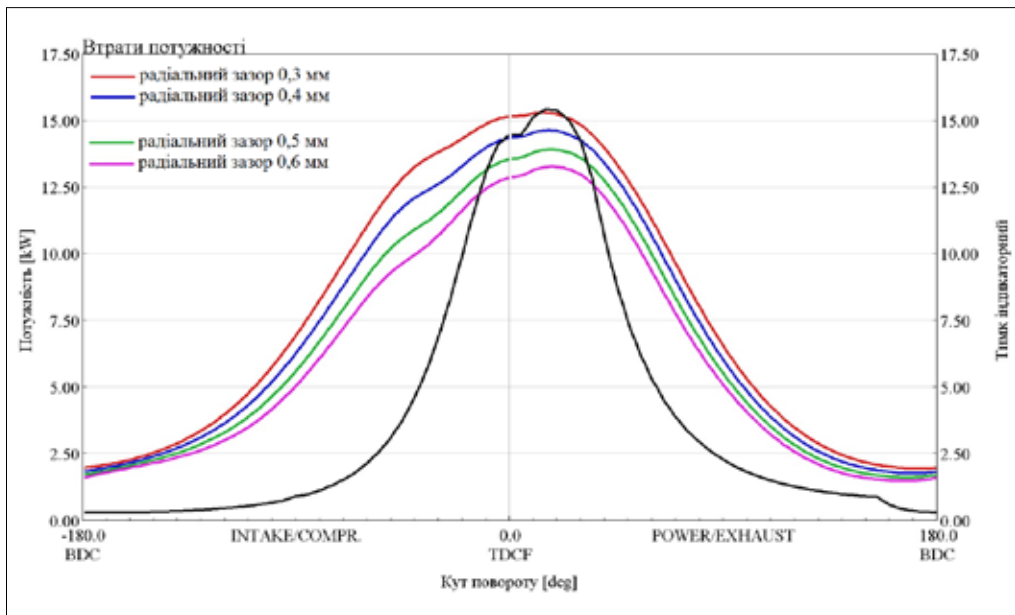


Рис. 10. Залежність втрати потужності в підшипнику від кута ПКВ

Залежність витрати циркуляційного масла через підшипник залежно від кута повороту колінчастого валу наведено на рис. 11.

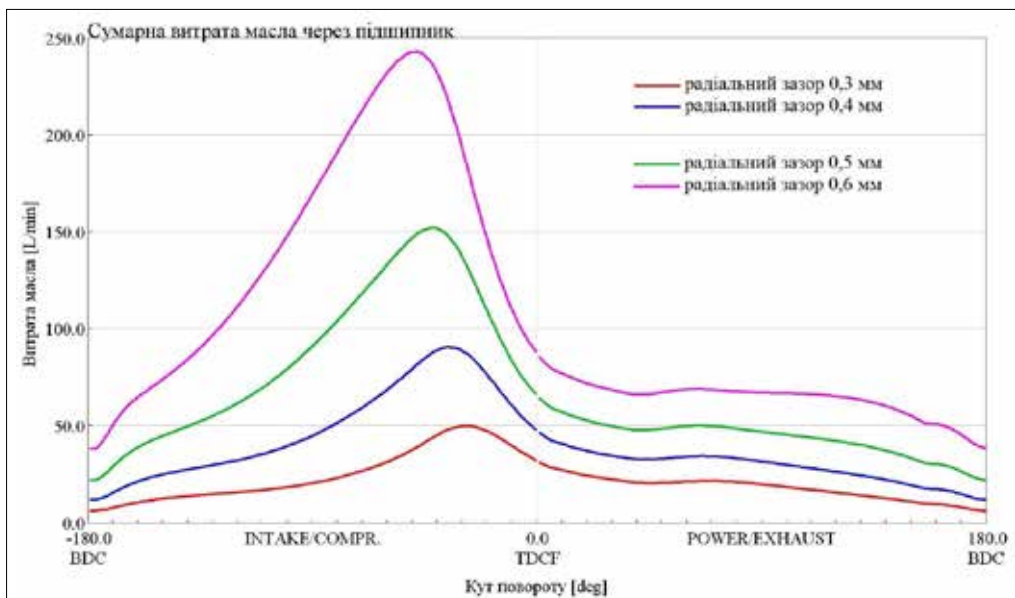


Рис. 11. Залежність витрати циркуляційного масла через підшипник залежно від кута повороту колінчастого валу

Результати цих параметрів для всіх варіантів розрахунку наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку робочих показників мотилевого підшипника

| Показник | Значення радіального зносу | | | |
|---|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Максимальне/середнє значення сили, що діє на підшипник у вертикальній площині, кН | 808,6 / 214,6 | | | |
| Максимальне/середнє значення сили, що діє на підшипник у горизонтальній площині, кН | 273,9 / 17,9 | | | |
| Максимальне/середнє значення середнього тиску в змащувальному шарі, МПа | 2,63 / 0,96 | | | |
| Максимальне/середнє значення максимального гідродинамічного тиску на підшипник, МПа | 9,44 / 3,27 | 10,65 / 3,59 | 11,85 / 3,85 | 13,02 / 4,17 |
| Максимальне/мінімальне значення моменту тертя в підшипнику, Н·м | -920,8 / -625,6 | -868,2 / -569,8 | -812,3 / -515,0 | -760,4 / -468,1 |
| Максимальне/середнє значення втрати потужності в підшипнику, кВт | 15,3 / 7,8 | 14,6 / 7,3 | 13,9 / 6,7 | 13,3 / 6,3 |
| Мінімальна товщина змащувального шару, мкм | 65,3 | 66,1 | 64,9 | 63,0 |
| Максимальна/середня температура змащувального шару, К | 324 / 232,4 | 321,4 / 320,9 | 320,1 / 319,7 | 319,4 / 319 |
| Максимальна/середня витрата масла, л/хв | 49,7 / 21,3 | 90,4 / 28,6 | 152,1 / 64,8 | 242,9 / 102,8 |

Висновки. Проведено моделювання робочих параметрів шатунних підшипників MOD Wartsila Sulzer RT-flex82C на режимі 100% N_{en} для чотирьох варіантів радіального зазору в підшипнику 0,3, 0,4, 0,5 та 0,6 мм.

Підвищення зносу супроводжується ростом максимального гідродинамічного тиску в масляному прошарку, а саме з 9,44 МПа до 13,02 МПа (40%), зменшенням товщини змащувального шару з 65,3 мкм до 63,0 мкм (3,5%). Також збільшення зазору закономірно призводить до зменшення середнього моменту тертя -625,6 Н·м до -468,1 Н·м та зменшуються втрати потужності із 7,8 кВт до 6,3 кВт. Відповідно, температура масла в підшипнику знижується із 323,4 до 319,0 К.

Збільшення радіального зазору призводить до підвищення витрати масла через підшипник, що своєю чергою призводить до падіння тиску. Оскільки математична модель базується на умові постійного тиску циркуляційного масла, розрахована середня витрата становить 21,3, 28,6, 64,8 та 102,8 л/хв для досліджуваних варіантів радіальних зазорів, що говорить про неможливість забезпечення працездатності підшипника із радіальним зазором 0,6 мм, у роботі двигуна на часткових режимах навантаження за гвинтовими характеристиками важкого гвинта, внаслідок падіння в ньому тиску.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhenpeng He, Junhong Zhang, Guichang Zhang, Zhouyu Li, Weisong Xie. Crankshaft-bearing evolution indexes investigation and asperity contact identification based on neural network. *Applied Mathematical Modelling*. 2014. Volume 38, Issue 2. Pp. 506–523.
2. Liu R.C., Meng X.H., Li P. Transient tribodynamic analysis of crankshaft-main bearing system during engines starting up. *Proc IMechE Part J: J Engineering Tribology*. 2018. 232(5). Pp. 535–549.

3. Zammit J.P., Shayler P.J., Gardiner R. Investigating the Potential to Reduce Crankshaft Main Bearing Friction During Engine Warm-up by Raising Oil Feed Temperature. *SAE International Journal of Engines*. 2012. 5(3). Pp. 1312–1319.
4. Inui M., Kobayashi M., Oowaki K., Furukawa T. et al. Analysis of Oil Film Generation on the Main Journal Bearing Using a Thin-Film Sensor and Elasto-Hydrodynamic Lubrication (EHL) Model. *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 2013. 6(1). Pp. 119–125.
5. Francisco A., Lavie T., Fatu A. et al. Metamodel-assisted optimization of connecting rod big-end bearings. *Journal of Tribology*. 2013. № 135. Pp. 0417041- 04170410.
6. Tabrizi A. and Kakaei A. Different Simulation Models of Connecting Rod Hydrodynamic Bearing. *SAE Technical Paper*. 2009. 2009-01-1863.
7. Chen X., Zu B., Xu Y. et al. Influence of high-turbocharged on performance of main bearing in diesel engine. *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*. 2015. 36(3). Pp. 6–11.
8. Wei L., Wei H., Duan S. et al. An EHD-mixed lubrication analysis of main bearings for diesel engine based on coupling between flexible whole engine block and crankshaft. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2015. 67(2). Pp. 150–158.
9. Zhao X., Huang A., Hu Z. et al. Analysis of main bearing lubrication performance of high-power marine diesel engine under typical operating conditions. *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*. 2015. 36(5). Pp. 128–133.
10. Sun J., Li B., Zhu S. et al. Lubrication Performance of Connecting-Rod and Main Bearing in Different Engine Operating Conditions. *Chin. J. Mech. Eng.* 2019. № 32. Pp. 23–34.

REFERENCES

1. Zhenpeng, He, Junhong, Zhang, Guichang, Zhang, Zhouyu, Li, Weisong, Xie (2014). Crankshaft-bearing evolution indexes investigation and asperity contact identification based on neural network. *Applied Mathematical Modelling*, 38(2), 506–523.
2. Liu, R.C., Meng, X.H., Li, P. (2018). Transient tribodynamic analysis of crankshaft-main bearing system during engines starting up. *Proc IMechE Part J: J Engineering Tribology*, 232(5), 535–549.
3. Zammit, J.P., Shayler, P.J., Gardiner, R. (2012). Investigating the Potential to Reduce Crankshaft Main Bearing Friction During Engine Warm-up by Raising Oil Feed Temperature. *SAE International Journal of Engines*, 5(3), 1312–1319.
4. Inui, M., Kobayashi, M., Oowaki, K., Furukawa, T. et al (2013). Analysis of Oil Film Generation on the Main Journal Bearing Using a Thin-Film Sensor and Elasto-Hydrodynamic Lubrication (EHL) Model. *SAE Int. J. Fuels Lubr.*, 6(1), 119–125.

5. Francisco, A., Lavie, T., Fatu, A. et al (2013). Metamodel-assisted optimization of connecting rod big-end bearings. *Journal of Tribology*, 135, 0417041–04170410.
6. Tabrizi, A. and Kakaei, A. (2009). Different Simulation Models of Connecting Rod Hydrodynamic Bearing. *SAE Technical Paper*, 2009-01-1863.
7. Chen, X., Zu B., Xu Y. et al (2015). Influence of high-turbocharged on performance of main bearing in diesel engine. *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 36(3), 6–11.
8. Wei L., Wei, H., Duan, S. et al (2015). An EHD-mixed lubrication analysis of main bearings for diesel engine based on coupling between flexible whole engine block and crankshaft. *Industrial Lubrication and Tribology*, 67(2), 150–158.
9. Zhao, X., Huang, A., Hu, Z. et al (2015). Analysis of main bearing lubrication performance of high-power marine diesel engine under typical operating conditions. *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 36(5), 128–133.
10. Sun, J., Li, B., Zhu, S. et al (2019). Lubrication Performance of Connecting Rod and Main Bearing in Different Engine Operating Conditions. *Chin. J. Mech. Eng.*, 32, 23–34.

НОВІ ЗАСОБИ ПІДЙМАННЯ ЗАТОНУЛИХ ОБ'ЄКТІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РІДКОГО АЗОТУ

С.В. Терлич¹

¹к.т.н., доцент кафедри суднобудування та ремонту суден,
Херсонська філія
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6044-3087

Анотація

Представлені інженерні рішення використання рідкого азоту для заморожування води у відсіках і цистернах затонулих об'єктів, а також інженерних споруд, які були штучно затоплені для їх підйому на поверхню. Технологія може бути частково застосована для докування великих суден або повністю використана для підйому і докування середньотонажних і малотоннажних плавучих споруд. Представлені конструктивні схеми пропонованих установок, а так само функціональні і графічні залежності параметрів льоду в затоплених відсіках від характеристик зовнішнього середовища і потужності холодильної установки.

Для підігріву рідкого азоту при переході його в газоподібний стан розроблені рекомендації розрахунку криогенного газифікатора, який частково використовує внутрішню енергію переходу води з рідкого до твердого фазового стану. Під час комп'ютерного моделювання доведена можливість використання до 47% теплоти фазового перетворення води за відсутності обмерзання тепло передавальних елементів газифікатора.

У процесі дослідження розроблено комп'ютерну модель прогнозування маси льоду при безпосередній подачі рідкого азоту морської води і з'ясовано, що рідкий азот можна подавати у воду об'єкта, який продувається, і якщо виконувати відповідні технічні умови, лід на елементах газифікатора не створюватиме.

Рідкий азот є ефективним, нешкідливим, інертним легко газифікується і одним із найдешевших засобів створення позитивної плавучості для затонулих об'єктів. Можуть бути різні типи установок використання рідкого азоту для суднопідіймальних робіт залежно від конкретних поставлених завдань. Лід, яка утворюється на трубопроводі-газифікаторі, загалом не впливає на хід суднопідіймальної операції. Як ефективний засіб підігріву рідкого азоту в криогенному газифікаторі можна використовувати забортну воду, використовуючи для цих цілей до 47% теплоти фазового переходу води з рідкого у твердий стан.

У відповідних умовах можна безпосередньо подавати рідкий азот у воду об'єкта, який продувається, нехтуючи замерзанням води і створенням на виході трубопроводу пробок із льоду.

Ключові слова: рідкий азот, підйом затонулих об'єктів, криогенні технології.

NEW METHODS OF LIFTING SUBSCRIBED OBJECTS AND STRUCTURES
WITH THE USING OF LIQUID NITROGEN

S.V. Terlych¹

¹Ph.D. in Technology, Associate Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair,
Kherson Branch
of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6044-3087

Summary

Engineering solutions for the use of liquid nitrogen for freezing water in compartments and tanks of sunken objects, as well as engineering structures that were artificially flooded to rise to the surface, are presented. The technology can be partially applied for docking of large ships or fully used for lifting and docking of medium and low-tonnage floating structures. Structural diagrams of the proposed installations, as well as functional and graphic dependences of ice parameters in flooded compartments on the characteristics of the external environment and the capacity of the refrigeration unit are presented. It was found that liquid nitrogen is safer, more efficient and economical compared to similar substances such as hydrazine, air, gunpowder and various fuels. The technologies of using liquid nitrogen using the heat of the environment and gasifying it in the pipeline are considered.

To heat liquid nitrogen during its transition to the gaseous state, recommendations for the calculation of a cryogenic gasifier have been developed, which partially uses the internal energy of the transition of water from the liquid to the solid phase state. Computer simulation has proven the possibility of using up to 47% of the heat of the phase conversion of water in the absence of icing of the heat transfer elements of the gasifier. The study developed a computer model for predicting the mass of ice during the direct supply of liquid nitrogen to seawater and found that liquid nitrogen can be fed into the water of the object being blown and if the appropriate technical conditions, the ice on the gasifier elements is not will be created. Liquid nitrogen is an effective, harmless, inert, easy to gasify and one of the cheapest means of creating positive buoyancy for sunken objects.

There are various types of installations for the use of liquid nitrogen for ship lifting, depending on the specific tasks. Ice, which is formed on the gas pipeline, does not affect the course of the lifting operation. As an effective means of heating liquid nitrogen in a cryogenic gasifier, seawater can be used, using for this purpose up to 47% of the heat of the phase transition of water from liquid to solid state. Under appropriate conditions, liquid nitrogen can be fed directly into the water of the facility, which is purged by ignoring the freezing of water and the creation of ice plugs at the outlet of the pipeline.

Key words: liquid nitrogen, lifting of sunken objects, cryogenic technologies.

Вступ. Висока аварійність суден та технічних засобів освоєння океану висуває актуальні задачі пошуку нових ефективних засобів створення позитивної плавучості на великих глибинах. На дні морів і природних водойм знаходиться велика кількість затонулих і штучно затоплених об'єктів, питання підйому яких дедалі

частіше розглядаються в наші дні. Для України найбільш проблематичними є прибережні ділянки Чорного і меншою мірою Азовського морів, але ще більшою мірою – це водосховища Дніпра та Південного Бугу. *Рідкий азот* є кріопродуктом, тонажне виробництво якого організоване на спеціалізованих установках із розділення повітря та посиленням хладовиробничим циклом на основі відцентрових турбодетандерів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних технічних засобів створення позитивної плавучості підводних об'єктів довів, що передусім вони зорієнтовані на використання стислого повітря. Із метою заміни стислого повітря в різні часи були досліджені та частково рекомендовані до використання порох, рідкі ракетні палива, гідразин та інші газовиділяючі речовини та суміші. При цьому розглянуто праці Б.Т. Маринюка, М.Ф. Руденко, С.І. Бажинова, Ю.В. Шипулиної, О.В. Бараненко, М.В. Угольникової, І.А Скакун та інших авторів. Загалом питання створення сил позитивної плавучості на великих глибинах залишається проблематичним та остаточно не вирішеним [1–3].

Як один із можливих заходів створення позитивної плавучості автор розглядає можливість використання рідкого азоту для підняття суден, інших затонулих (затоплених) інженерних споруд та в судноремонтній промисловості під час докування суден.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є порівняння техніко-економічних властивостей газовиділяючих речовин (альтернативних стислому повітрю), як матеріалів для створення позитивної плавучості; розроблення установки та технології суднопідймальних робіт на прикладі використання рідкого азоту, а також удосконалення технологій суднопідймання із використанням рідкоазотних технологій.

Виклад основного матеріалу. Як варіант засобів створення позитивної плавучості можливе використання в суднопідйманні рідкого азоту. З 1 м³ азоту густиною 808 кг/м³, який знаходиться при температурі мінус 196 °С та барометричному тиску (0,101 МПа), можна отримати 646 м³ газу. Промислова коштовність 1 м³ рідкого азоту становить 6–8 грн. Позитивні та негативні властивості азоту наведено в таблиці.

Із таблиці 1 очевидно, що рідкий азот вигідно відрізняється від інших засобів створення позитивної плавучості тим, що він нешкідливий та не є вибухонебезпечним.

Для вирішення поставлених задач дослідження було проведено порівняльний аналіз мас-габаритних, часових та економічних характеристик можливих установок із використанням повітря, одно- та двокомпонентних ракетних палив, порохів твердопаливних газогенераторів, гідразину та рідкого азоту в процесі продування умовного понтону об'ємом 250 м³ на глибині 500 м.

Із таблиці 2 видно, що установки, які використовують рідкий азот, будуть мати масові показники в 1,5–3,0 раза більше, ніж ті, в яких використовується ракетне паливо, але дешевше їх у 15–30 разів. За рівних характеристик повітряних та азотних установок час продування затонулих (затоплених) об'єктів рідким азотом приблизно у 5 разів менше.

Таблиця 1

Характеристики речовин для створення позитивної плавучості

| Речовина | Позитивні якості | Негативні якості |
|--------------------------------------|---|--|
| Повітря | – нешкідливе та безпечне; – відносно невелика ціна 1 м ³ об'єму, який продувається; | – наявність шлангів для продування; – великі мас-габаритні показники системи при використанні балонів; – час продування об'єкта пропорційний кінцевому тиску повітря в балонах та продуктивності компресорів судна-рятівника |
| Двокомпонентні ракетні палива, порох | – можливість створення автономних газогенераторів високої продуктивності; – відсутність шлангів для продування; – висока газовиділяюча можливість (1 м ³ продукту виділяє 1000–1200 м ³ газу) | – продукти згоряння токсичні; – неможливе широке регулювання часу продувки об'єкта; – висока коштовність 1 м ³ об'єму продування |
| Гідразин | – можливість створення автономних газогенераторів високої продуктивності; – невеликі габарити та висока газогенерація (1 м ³ гідразину – 1800 м ³ газу) | – продукти розпаду вибухонебезпечні (до 54% Н ₂); – швидкість хімічної реакції нерівномірна; – токсичний; – необхідний каталізатор; – висока коштовність 1 м ³ об'єму продування |
| Рідкий азот | – нешкідливий, безпечний та інертний; – невисока коштовність 1 м ³ об'єму продування; – можливість регулювання швидкості підйому, крену, диференту об'єкта; – можливість створення автономного газогенератора в зануреному судні Д'юара | – можливість зледеніння обладнання; – непродуктивні витрати криогену при заходженні та перезарядці обладнання; – відсутність високонапірних криогенних насосів високої продуктивності |

Для створення установок продування затонулих (затоплених) об'єктів із використанням рідкого азоту були проаналізовані створені промисловістю засоби отримання, зберігання, транспортування, перекачування та газифікації рідкого азоту:

- отримання – установка Кж-Аж-Арж-6 виробничістю 72 кг/год рідкого азоту, яка може перероблювати 22 000 м³ повітря;
- зберігання отриманого продукту – резервуари-сховища РС-1400/5, місткістю 1500 м³, при втратах 0,035% продукту за добу;
- транспортування: залізницею – РЦГ-100/5, місткістю 230 м³, при цьому маса рідкого азоту – 1600 кг, а втрати – 0,12% продукту за добу;
- РЦГ-100/5, місткістю 100 м³, при втратах 0,12 продукту за добу;
- газифікації ГХК-25/16-200 місткістю 180 кг за рідким азотом із робочим тиском на виході газу 0,1–1,6 МПа.

Таблиця 2

**Порівняння характеристик речовин для продування понтону об'ємом
250 м³ на глибині 500 м**

| Речовина | Наведена виробничість 1 м ³ речовини, м ³ | Необхідна маса речовини, кг | Ціна 1 м ³ об'єму продування, грн | Коштовність продування понтону, грн | Час продування, год |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| Повітря (балони рятувального судна) | Залежно від кількості балонів | 246/141* без маси трубопроводів | 2,80 | 1400 | 17 |
| Компресор ЭК30А-2 | 8,64 | 246/37* без маси трубопроводів | 1,40 | 700 | 33 |
| Пальне | Т-2 | 142/300* | 35,0 | 17500 | 0,2 |
| | Т-1 | 112/240* | 76,0 | 38000 | 0,2 |
| Порохові твердопаливні газогенератори | 13,40 | 150/160* | 167,0 | 83500 | Залежно від типу устаткування |
| Гідразін | 30,0 | 96,8 | 170,0 | 85000 | - |
| Рідкий азот | 10,60 | 235/450* без маси трубопроводів | 5,40 | 2700 | 2,65 |

*У чисельнику – маса речовини, в знаменнику – маса устаткування

На рисунках 1 та 2 показано, відповідно, залежності газовиділяючі можливості рідкого азоту для діапазону глибин 100–1200 м та 2000–10 000 м.

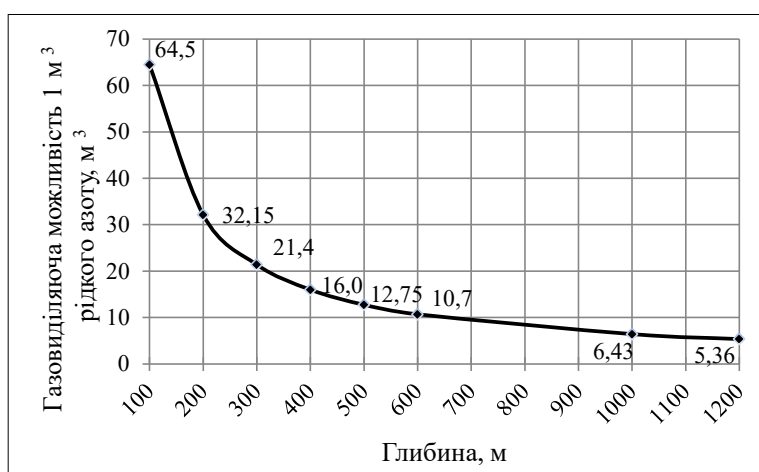


Рис. 1. Газовиділяюча здатність 1 м³ рідкого азоту залежно від глибини його газифікації (100–1200 м)

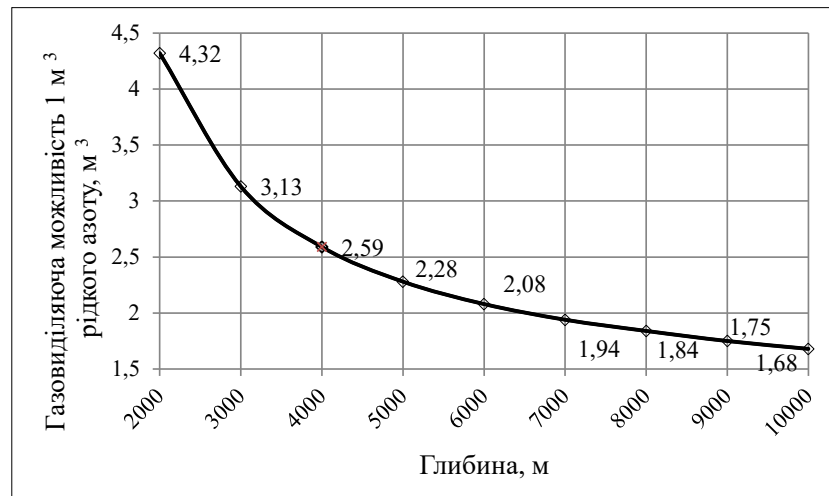


Рис. 2. Газовиділяюча здатність 1 м³ рідкого азоту залежно від глибини його газифікації (2000–10 000 м)

За наведеними даними видно, що вже існують засоби отримання, зберігання та транспортування рідкого азоту. Водночас засоби та пристрої перекачування та газифікації не відповідають науковому завданню: у разі великої масової подачі вони мають малий напір або навпаки [4–5].

У дослідженні розглянуто три можливих варіанти установок для газифікації рідкого азоту з метою судноремонту:

- перший варіант (рис. 3, а) – газифікація рідкого азоту проходить у трубопроводі-газифікаторі за шляхом слідування, теплотою оточуючої води;
- другий варіант (рис. 3, б) – рідкий азот газифікується у спеціальному водяному газифікаторі теплоутриманням води, яка перекачується по газифікатору до трубопроводу в газоподібному стані;
- третій варіант – рідкий азот у посуді Д'юара занурюється до місця ведення робіт та газифікується у продувальному об'ємі теплоутриманням води, яка видаляється.

Робота установок за першим та другим варіантами. Із транспортного посуду (наприклад, РЦГ-100/5) рідкий азот за допомогою криогенного насоса (наприклад, ВК-110-65) або самопливом при піддуванні транспортного посуду подається в теплоізольовану підпиточну ємність 2, при цьому клапан вентиляції відкритий. Процес заохолодження та заповнювання підпиточної ємності контролюється тепловимірними приладами. Після заповнення підпиточної ємності насос зупиняється або підпитування з транспортного посуду припиняється. Криоген до затопленого об'єкта подається по трубопроводу-газифікатору 4 шляхом продукту підпиточної ємності 2 повітрям, яке подається балонами з повітрям високого тиску (ПВТ) 1.

Для виключення утворення в трубопроводі крижаних пробок трубопровод-газифікатор перед подачею до нього криогену продувається повітрям. У точці виходу трубопроводу-газифікатора 4 до об'єму, який продувається, на трубопроводі встановлюється безповоротним клапан 6, який запобігає потраплянню води до трубопроводу.

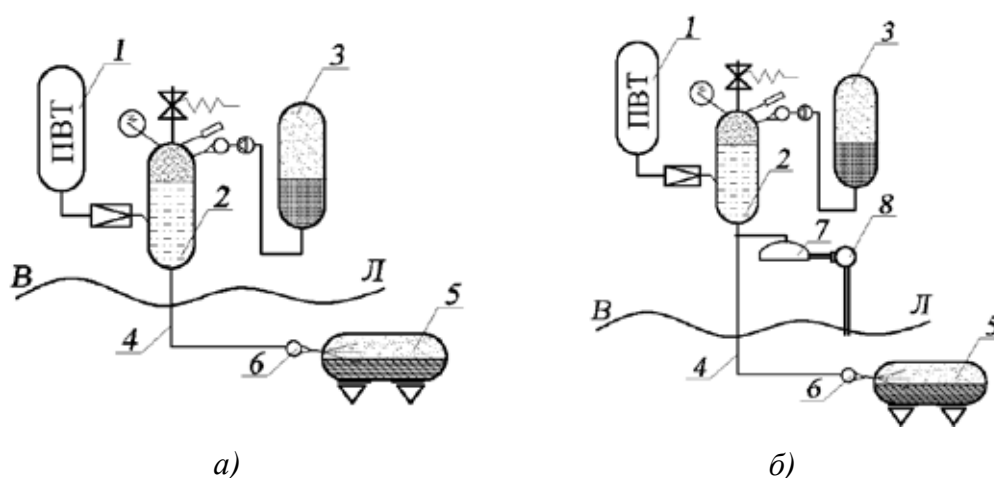


Рис. 3. Установка газифікації рідкого азоту
за першим а) та другим б) варіантами газифікації

1 – балон ТВП; 2 – підпита вальна ємність; 3 – транспортна цистерна; 4 – трубопровід-газифікатор; 5 – понтон; 6 – клапан; 7 – газифікатор; 8 – циркуляційний насос.

Відмінною особливістю установки (рис. 2, б) від установки (рис 2, а) є те, що в ній є криогенний газифікатор 7. У трубопроводах газифікатора криоген підігрівається теплом та частково переохолоджений водою, яка прокачується в міжтрубному просторі циркуляційним насосом 8.

Робота установки за третім варіантом. Для цього випадку використовується ізоляційна система з м'якими стінками та урівноваженням тиску газонаповнення. На глибині криоген із сосуда Д'юара насосом або самотоком (за рахунок підвищення тиску внаслідок його нагрівання) або іншим побудником подається до об'єму, який продувається [6].

Під час розглядання можливих установок газифікаторів **невирішеними проблемами** залишились:

- за першим варіантом – прогнозування маси криги, яка створюється в трубопроводі-газифікаторі 4;
- за другим варіантом – відсутність методики розрахунку криогенно-водяного газифікатора та факт того, що не визначено раціональне значення тепловідбору від води, яка прокачується по газифікатору 7;
- за третім варіантом не визначена методика прогнозування криги, яка утворюється під час безпосередньої подачі рідкого азоту до води об'єму, який продувається залежно від глибини затопленого об'єкта та параметрів азотної установки.

Ці **задачі розв'язані** аналітично та апробовані шляхом комп'ютерного моделювання. Визначено, що крига, яка утворюється на трубопроводі-газифікаторі 4 (рис. 4), не створює істотного впливу на результат суднопідіймальної операції загалом. Так, наприклад, у вибраних параметрах можливої натурної установки з подачею 10 м³/год через 20 годин у морській воді (щільність 1,025 т/м³) із температурою 4^oС створюється 413 кг криги. Позитивна плавучість її становитиме 51 кг. Зусилля, яке необхідне для розриву заданого трубопровода-газифікатора, становитиме 129–247 кН.

Взаємозв'язок температури забортної води та параметрів криги досліджено за залежністю [6]

$$T_c = 273 - T'\beta - T' \left(\frac{\beta}{2a} + \frac{\sqrt{\tau}}{\beta\sqrt{\tau} + r_0} \right) \frac{\beta^2}{2}, \quad (1)$$

$$T' = \frac{\rho L \beta}{2\lambda} + \frac{\alpha_w \sqrt{\tau}}{\lambda} (T_w - T_\Phi),$$

де T_c – температура стінки трубопроводу, °С;

T' – похідна профілю температур за координатою товщини криги, яка наморозується на трубопровід, °С;

T_w – температура забортної води, °С;

T_Φ – температура фазового переходу води у кригу, °С;

λ – коефіцієнт теплопровідності водяної криги при температурі фазового переходу в кригу, Вт / (м·°С);

ρ – густина криги, кг/м³;

L – теплота фазового переходу води в кригу, Дж;

α_w – коефіцієнт тепловіддачі від води, Вт / (м·°С);

a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с;

τ – момент часу, сек;

r_0 – лінійний параметр, м.

Для розрахунку товщини шару криги, яка намерзне з урахуванням залежності температуропровідності від температури, була використана залежність [7]

$$T_c = 273 - T'\beta + \left[\frac{(T')^2}{273} - \frac{T'\sqrt{\tau}}{\beta\sqrt{\tau} + r_0} + 273\rho \frac{C}{2k} T'\beta \right] \frac{\beta^2}{2}, \quad (2)$$

Графічно залежності (1) та (2) наведено на рис. 4.

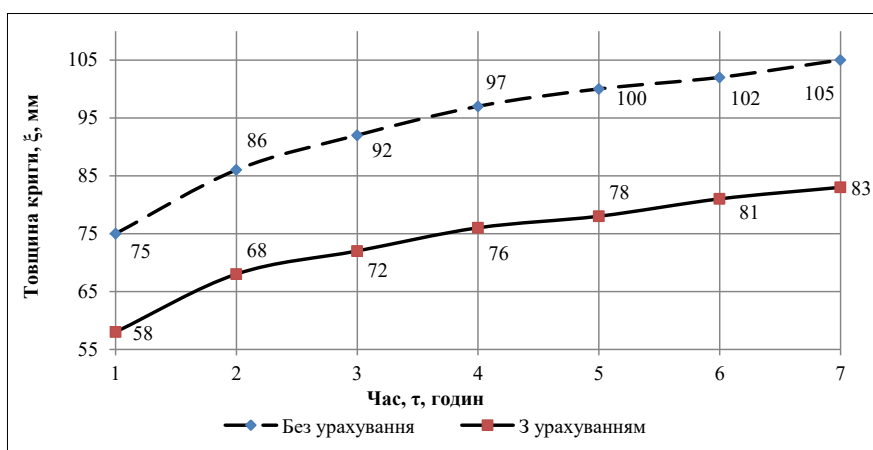


Рис. 4. Залежність заморожування криги на трубопровод-газифікатор із часом з урахуванням та без урахування залежності температуропровідності від температури

Аналіз отриманих результатів. Для підігрівання рідкого азоту в переході його в газоподібний стан розроблено рекомендації розрахунку криогенного газифікатора, який частково використовує внутрішню енергію переходу води з рідкого до твердого фазового стану. Під час комп'ютерного моделювання доведено можливість використання до 47% теплоти фазового перетворення води за відсутності зледеніння тепло передаючих елементів газифікатора.

У процесі дослідження розроблено комп'ютерну модель прогнозування маси криги під час безпосередньої подачі рідкого азоту до морської води та з'ясовано, що рідкий азот можна подавати у воду об'єкту, який продувається, та, якщо виконувати відповідні технічні умови, крига на елементах газифікатора не створюватиметься.

Висновки. Рідкий азот є ефективним, нешкідливим, інертним, легко газифікується та одним із найдешевших засобів створення позитивної плавучості для затонуваних об'єктів. Можливі різноманітні типи установок використання рідкого азоту для суднопідіймання залежно від конкретних поставлених задач. Крига, яка утворюється на трубопроводі-газифікаторі, загалом не впливає на хід суднопідіймальної операції. Як ефективний засіб підігрівання рідкого азоту в криогенному газифікаторі можна використовувати забортну воду, використовуючи для поставлених цілей до 47% теплоти фазового переходу води з рідкого у твердий стан. За відповідних умов можна безпосередньо подавати рідкий азот у воду об'єкту, який продувається, нехтуючи змерзненням води та створенням на виході трубопроводу пробок із криги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маринюк Б.Т., Руденко М.Ф., Угольникова М.А. Сооружение и защита морских буровых платформ методами низкотемпературных технологий. *Мор. интеллектуал. технологии*. 2018. № 4-4 (42). С. 236–241.
2. Руденко М.Ф., Маринюк Б.Т. Криогенные технологии для предотвращения риска возникновения чрезвычайных ситуаций на акватории бассейна Каспийского моря. *Глобальные тенденции рисков и приоритеты международного сотрудничества* : сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 22 сентября 2016 г. Москва : Изд-во ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. С. 19–26.
3. Маринюк Б.Т., Руденко М.Ф., Шипулина Ю.В. Способ подъема металлических оболочковых объектов со дна моря. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. 2011. № 2. С. 39–42.
4. Руденко М.Ф., Маринюк Б.Т., Угольникова М.В. Криогенные технологии в добыче и транспортировке углеводородного сырья. *Нефть и газ*. 2015. № 5 (89). С. 91–100.
5. Маринюк Б.Т. Расчеты теплообмена в аппаратах и системах низкотемпературной техники. Москва : Машиностроение 2015. 272 с.
6. Бараненко А.В., Бухарицын Н.Н., Пекарев В.И., Сакун И.А., Тимофеевский Л.С. Холодильные машин. Санкт-Петербург : Политехника, 1997. 992 с.
7. Маринюк Б.Т., Руденко М.Ф., Бажинов С.И. Низкотемпературные технологии предотвращения аварийных выбросов нефти и газа при подводной добыче сырья на шельфе. *Хим. и нефтегазовое машиностроение*. 2011. № 3. С. 16–17.

REFERENCES

1. Marinyuk B.T., Rudenko M.F., Ugol'nikova M.A. (2018) “Sooruzhenie i zashchita morskikh burovyyh platform metodami nizkotemperaturnyyh tekhnologiy”, *Mor. intellektual. tekhnologii*. Vol. 4-4 (42), p. 236–241.
2. Rudenko M.F., Marinyuk B.T. (2016) “Kriogennyye tekhnologii dlya predotvrashcheniya riska vozniknoveniya chrezvychajnyh situatsiy na akvatorii bassejna Kaspijskogo moray”. *Globalnye tendentsii riskov i priority mezhdunarodnogo sotrudnichestva*. IFGBU VNII GOCHS (FC), p. 19–26.
3. Marinyuk B.T., Rudenko M.F., SHipulina YU.V. (2011) “Sposob pod`ema metallicheskih obolochkovyyh ob`ektov so dna moray”. *Vestn. Astrahan. gos. tekhn. un-ta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. Vol. 2, p. 39–42.
4. Rudenko M.F., Marinyuk B.T., Ugol'nikova M.V. (2015) “Kriogennyye tekhnologii v dobyche i transportirovke uglevodorodnogo syr'ya”. *Neft i gaz*. Vol. 5 (89), p. 91–100.
5. Marinyuk B.T. (2015) “Raschety teploobmena v apparatah i sistemah nizkotemperaturnoy tekhniki”. M.: Mashinostroenie, 272 p.
6. Baranenko A.V., Buharicyn N.N., Pekarev V.I., Sakun I.A., Timofeevskij L.S. (1997) *Holodilnye mashiny*. SPb.: Politekhnik, 992 p.
7. Marinyuk B.T., Rudenko M.F., Bazhinov S.I. (2011) “Nizkotemperaturnyye tekhnologii predotvrashcheniya avariynyh vybrosov nefli i gaza pri podvodnoj dobyche syr'ya na shel'fe”. *Him. i neftegazovoe mashinostroenie*. Vol. № 3. P. 16–17.

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СУДНА

О.М. Шумило¹, О.І. Россомаха², А.В. Шахов³

¹к.т.н., професор, проректор із НОР,
доцент кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації,
Навчально-науковий інститут морського флоту
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

²аспірант, старший викладач кафедри технічного обслуговування і ремонту суден,
Навчально-науковий інститут морського флоту
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

³д.т.н., професор кафедри технічного обслуговування і ремонту суден,
Навчально-науковий інститут морського флоту
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0142-7594

Анотація

Вступ. Як основна модель у процесі вирішення задач підвищення ефективності експлуатації суден зазвичай використовується модель визначення вартості життєвого циклу судна. Використання цієї моделі необхідна в процесі вирішення значного кола задач. Однак у зв'язку із значною тривалістю життєвого циклу невизначеність параметрів моделі дуже висока, що призводить до значних похибок у розрахунку повної вартості. Запроваджене дослідження націлене на вдосконалення моделі вартості життєвого циклу (ЖЦ) судна на основі використання в ній методології управління ризиками. **Метою** дослідження є вдосконалення моделі визначення вартості життєвого циклу судна за рахунок впровадження методів аналізу ризиків. **Результати.** У роботі запропоновано вирішення проблеми, пов'язаної із значними похибками в розрахунку повної вартості ЖЦ шляхом використання теорії ризиків. Основною метою оцінки ризику є уявлення на основі об'єктивних свідчень інформації, необхідної для прийняття обґрунтованого рішення щодо способів обробки ризику. Оцінка ризику може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або кількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані мають бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування. Під час вибору методу оцінки ризику необхідно враховувати, що метод має відповідати багатьом критеріям. У статті розглядаються два підходи використання теорії ризиків: встановлення значення прийняттого сумарного ризику або використання методу Монте-Карло для трансформування невизначеності для звичайних аналітичних моделей та розрахунку ймовірностей, якщо аналітичні методи не можуть бути використані. **Висновки.** У роботі запропонована модель визначення вартості життєвого циклу судна з урахуванням аналізу ризиків, що впливають на її складники.

Ключові слова: модель вартості життєвого циклу, прийнятний ризик, метод Монте-Карло.

IMPROVEMENT OF THE SHIP LIFE CYCLE COSTING MODEL

O.M. Shumylo¹, O.I. Rossomakha², A.V. Shakhov³

¹Ph.D. in Technology, Professor, Vice-Rector,
Associate Professor at the Department of Ship Power Plants and Technical Operation,
*Educational and Scientific Institute of the Navy
of the Odesa National Maritime University, Odessa, Ukraine,*
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

²Postgraduate Student, Senior Lecturer at the Department of Maintenance and Repair of Ships,
*Educational and Scientific Institute of the Navy
of the Odesa National Maritime University, Odessa, Ukraine,*
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

³Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Maintenance and Repair of Ships,
*Educational and Scientific Institute of the Navy
of the Odesa National Maritime University, Odessa, Ukraine,*
ORCID ID: 0000-0003-0142-7594

Summary

Introduction. As a rule, the life cycle model is used for determining ship cost to increase the operation efficiency. This model is necessary in solving a wide range of issues. However, the uncertainty of the model parameters is very high due to the long period of the lifecycle. It leads to significant errors in calculating the total cost. The introduced article is aimed at improving the lifecycle cost (LCC) model of the vessel based on the use of risk management methodology. **The purpose of the research** is to improve the model of determining the lifecycle cost of vessels by means of the risk analysis methods. **Results.** The solution associated with significant errors in calculating the total cost of lifecycle by the risk theory has been highlighted. The risk assessment is based on the objective evidence. This information finds the methods to handle the risk. One or more methods of varying difficulty can be used to provide the detailed risk assessment. The assessment form and its initial data must be compatible with the risk criteria established in determining the scope. When choosing a risk assessment method, keep in mind that the method must meet many criteria. In addition, two approaches of using the risk theory have been analyzed. They are establishing the value of acceptable total risk or using the Monte Carlo method to transform uncertainty for conventional analytical models and calculating probabilities if analytical methods cannot be used. **Conclusions.** The paper proposes the model for determining the cost of the ship lifecycle, taking into account the analysis of risks that affect its components.

Key words: lifecycle cost model, acceptable risk, Monte Carlo method.

Вступ. Сучасний період розвитку цивілізаційного суспільства характеризує процес інформатизації як такий, що кардинально змінює концепцію моделювання в процесі проектування технічних систем. У світі спостерігається постійне зростання складності технічних систем, до яких належить морські та річкові судна. Таке ускладнення в сукупності з постійним зростанням конкуренції на ринку перевезень робить процес прийняття управлінських рішень щодо управління життєвим циклом судна неможливим без розробки адекватної моделі визначення вартості життєвого циклу судна.

Використання цієї моделі необхідна в процесі вирішення значного кола задач:

- проектування та побудова нового судна;
- оптимізація тривалості життєвого циклу до його утилізації;
- розробка стратегії ТОР суднових технічних засобів та суднових конструкцій;
- аналіз доцільності проведення модернізації або переобладнання судна.

Запроваджене дослідження націлене на вдосконалення моделі вартості життєвого циклу (ЖЦ) судна на основі використання в ній методології управління ризиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наведена вище задача знаходиться в центрі уваги фахівців різних галузей знань вже доволі довгий період часу [1–7].

У роботі [1] як концепції запропоновано, що будь-яка система, незалежно від її масштабу і виду, проходить весь свій ЖЦ у суворій послідовності, відповідно до визначеного порядку.

Дефініція стандарту визначає: ЖЦ – це еволюція системи, продукції, послуги, проєкту або іншого об'єкта, створеного руками людини, від її задуму до припинення використання за плановим призначенням.

В основі майже всіх запропонованих моделей і методів розрахунку вартості ЖЦ технічних систем знаходиться принцип Заде, який попереджає про несумісність точності моделі зі складністю системи.

Д.А. Курсінім [3] сформульовані основні вимоги до означених моделей, а саме:

- обмежена кількість змінних і факторів;
- відсутність необхідності постійного збирання великої кількості вихідної інформації;

- використання методів діагностування, тобто зміну вартості грошей у часі.

У загальному вигляді вартість ЖЦ судна Z_{Σ} складається з таких доданків [4]:

- витрати на проектування і побудову судна, його введення до експлуатації Z_B ;
- витрати на паливно-мастильні матеріали Z_T ;
- витрати на ремонт, що містять вартість змінно-запасних частин Z_R ;
- експлуатаційні витрати (утримання екіпажу, забезпечення функціонування окремих елементів системи судна) C_E ;
- витрати на утилізацію на момент виводу судна з експлуатації [4] Z_U .

З урахуванням дисконтування авторами [5] запропонована загальна формула розрахунку Z_{Σ} :

$$Z_{\Sigma} = Z_B + \sum_{t=1}^T \left[\frac{1}{(1+k)^t} \cdot Z_E \right] + \sum_{t=1}^T \left[\frac{(1+I_T)^t}{(1+k)^t} \cdot Z_T \right] + \sum_{t=1}^T \left[\frac{1}{(1+k)^t} \cdot Z_R \right] + \frac{Z_U}{(1+k)^T}, \quad (1)$$

де T – плановий час експлуатації судна (горизонт планування);

k – коефіцієнт дисконтування;

I – коефіцієнт інфляції.

Будь-яка задача оптимізації використання судна і процесі перевезення вантажів (пасажирів) вирішується шляхом мінімізації виразу (1). Однак основна проблема в процесі її вирішення є наслідком тривалого життєвого циклу судна, що призводить до значних похибок при вирішенні вихідних параметрів моделі (зміна вартості паливно-мастильних матеріалів, коливання ринку судноремонтних послуг тощо).

В останні роки такі проблеми вирішуються шляхом застосування в оптимізаційних моделях методології теорії ризиків. Прийняття і впровадження міжнародних стандартів серії ISO 31000 [6; 7] дасть змогу значно збільшити точність при вирішенні задачі оптимізації життєвого циклу складних технічних систем.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є вдосконалення моделі визначення вартості життєвого циклу судна шляхом впровадження методів аналізу ризиків.

Виклад основного матеріалу. У різних літературних джерелах можна знайти більше ста визначень дефініції «ризик» [8–15]. Однак найбільш чітко і точно визначення наведено в Стандарті [6]: «Ризик – це вплив невизначеності на мету». З цього формулювання можна виділити головні ознаки ризику.

По-перше, ризики виникають тільки в разі виконання будь-яких цілеспрямованих дій. Якщо метою судноплавної компанії не є торговельно-економічні операції з деякою державою, то стан фінансової системи цієї країни не можна вважати джерелом ризику. І, навпаки, якщо потенційний портфель замовлень містить сумісні проекти, цей фактор стає одним із найбільш важливих.

По-друге, ризиком варто вважати подію, яка має чітко визначені причини виникнення і негативні наслідки. Тому невірними будуть терміни: виробничий ризик, екологічний ризик тощо. Такі характеристики можуть використовуватись як класифікаційні ознаки, а не ризики конкретної особи.

По-третє, ризик – це подія, яка може відбуватися лише з деякою ймовірністю, яка має не дорівнювати нулю або одиниці.

По-четверте, будь-який ризик варто вважати економічною категорією. Тому під час кількісної оцінки ризик (R) чисельно дорівнює добутку ймовірності настання ризикової події (P) та величині збитків (U), яких зазнає судовласник внаслідок недосягнення тієї чи іншої цілі.

$$R = P \cdot U, \quad (2)$$

Таким чином, якщо будь-яка діяльність націлена на досягнення N цілей, кожна з яких характеризується значеннями P_N та U_N , відповідно, сумарний ризик становитиме:

$$R_{\Sigma} = \sum_{n=1}^N P_N \cdot U_N, \quad (3)$$

По-п'яте, ризик – це кількісний показник процесу, а не об'єкта. Саме тому в моделі оцінки вартості життєвого циклу судна варто враховувати ризики всіх процесів, що будуть реалізовані судном впродовж повного життєвого циклу або частини, що аналізується. З урахуванням тривалості циклу кількість виконаних процесів буде дуже великою, що значно ускладнює задачу визначення сумарного ризику.

У практиці ризик-менеджменту з успіхом використовується концепція прийнятого ризику, яка наведена на рис. 1. Для кожного з виробничих процесів визначаються експертним шляхом (або на базі статистичних даних, якщо такі є) ризики перевищення витрат від планового показника $R_1, R_2, R_3, \dots, R_i$ та порівнюються

з прийнятним ризиком $R_{\text{доп}}$, затвердженим для цього виробничого процесу. Виробничі процеси, для яких величина ризику менше прийнятного, показані на схемі зеленим кольором, а більше – червоним. Довжина стрілки пропорційна величині ризику. Представлена на рис. 1 схема дає змогу наочно визначити найбільш вразливі з погляду мінімізації сумарних витрат.

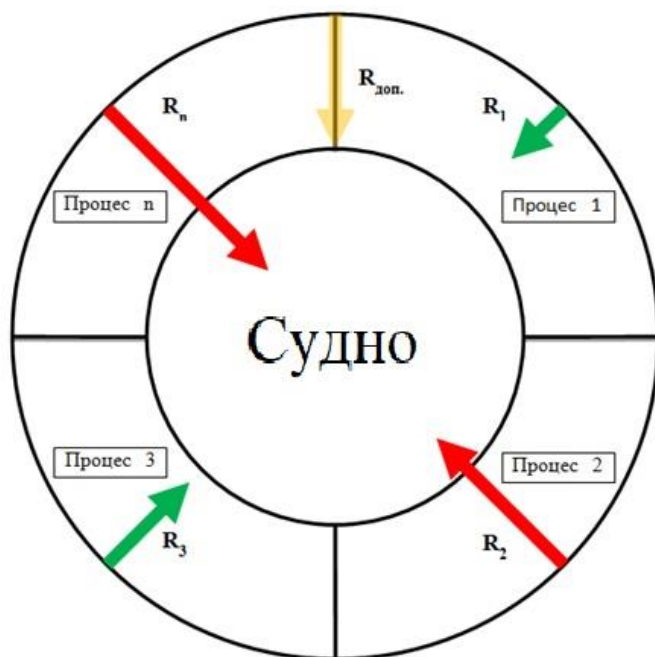


Рис. 1. Ризики окремих процесів експлуатації судна

Джерело: власні розробки авторів

З урахуванням великої кількості процесів за повний період життєвого циклу судна такий метод досить складно впровадити на практиці. Крім того, вплив окремих факторів на величину ризику окремих процесів може бути спрямованим у різні сторони. У деяких процесах це може призвести до зростання витрат, але одночасно зменшити витрати на інші процеси, що нівелює сумарну величину ризику.

Основною метою оцінки ризику є уявлення на основі об'єктивних свідчень інформації, необхідної для прийняття обґрунтованого рішення щодо способів обробки ризику.

Оцінка ризику забезпечує:

- розуміння потенційних небезпек і впливу їхніх наслідків на досягнення встановлених цілей судновласної компанії;
- отримання інформації, необхідної для прийняття рішень;
- розуміння небезпеки і її джерел;
- ідентифікацію ключових чинників, що формують ризик, уразливих місць судна і її систем;

- можливість порівняння ризику з ризиком альтернативних технологій, методів і процесів;
- обмін інформацією про ризик і невизначеності;
- інформацію, необхідну для ранжирування ризиків;
- запобігання нових інцидентів на основі дослідження наслідків інцидентів;
- вибір способів обробки ризику;
- відповідність правовим і обов'язковим вимогам;
- отримання інформації, необхідної для обґрунтованого рішення про прийняття ризику відповідно до встановлених критеріїв;
- оцінку ризику на всіх стадіях життєвого циклу судна.

У роботі [7] наведено понад 30 методів кількісної оцінки ризиків, які можна умовно поділити на чотири типи:

- статистичні;
- ймовірно-статистичні;
- теоретико-ймовірнісні;
- експертні [8–10].

Теоретичною основою ймовірнісних моделей визначення ризиків є теорія ймовірностей та ймовірнісне моделювання. На підставі розроблених математичних моделей елементів системи ME , технологічних процесів $M_{ТП}$, процесів зношування M_3 , сценаріїв виникнення і розвитку аварійних ситуацій з урахуванням ролі людського фактора $M_{ЛФ}$.

$$M = f(M_E; M_{ТП}; M_3; M_{ЛФ}), \quad (4)$$

У цій моделі вносяться ймовірнісні характеристики зовнішніх та внутрішніх факторів:

$$P = f(P_E; P_{ТП}; P_3; P_{ЛФ}), \quad (5)$$

За результатами ймовірнісного моделювання визначаються розподіл ймовірностей виникнення небезпечних подій та математичне очікування збитків у разі настання цих подій U .

Недоліком таких методів є складність реалізації ймовірного аналізу, що робить його впровадження досить обмеженим.

Статистичні методи будуються на аналізі великих масивів статистичних досліджень, що також робить їх не завжди прийнятними.

Найбільше поширення в останні роки отримала модель оцінки ризиків на підставі аналізу небезпек, вразливостей і втрат.

Загальний порядок використання такої моделі аналізу ризиків передбачає послідовний аналіз небезпек, які можуть виникнути в системі, вразливостей системи щодо виявлених небезпек та аналіз втрат від настання небезпек, що реалізувались [11; 12]

$$A_R = A_H \cup A_{BP} \cup A_{BT}, \quad (6)$$

На рис. 2 наведена структурна схема моделі аналізу ризиків, де використовуються такі позначення:

$ПС$ – початковий стан системи;

S_0 – сценарій успішного досягнення системою своїх цілей;

KC_0 – бажаний кінцевий стан системи;

S_0 – сценарій успішного досягнення системою своїх цілей;

KC_0 – бажаний кінцевий стан системи;

E_0 – діапазон відхилення точки KC_0 , в межах якого кінцеві стани можна вважати допустимими;

IC_1, IC_2 – ініціюючі небезпеки події;

GC_1, GC_2 – граничні стани системи;

$S_i (i=1, 2, \dots, N)$ – i -й сценарій, що реалізується після граничного стану;

$KC_i (i=1, 2, \dots, N)$ – недопустимий кінцевий стан системи, який відповідає сценарію S_i ;

$U(KC_i) (i=1, 2, \dots, N)$ – втрати, що відповідають кінцевому стану KC_i .

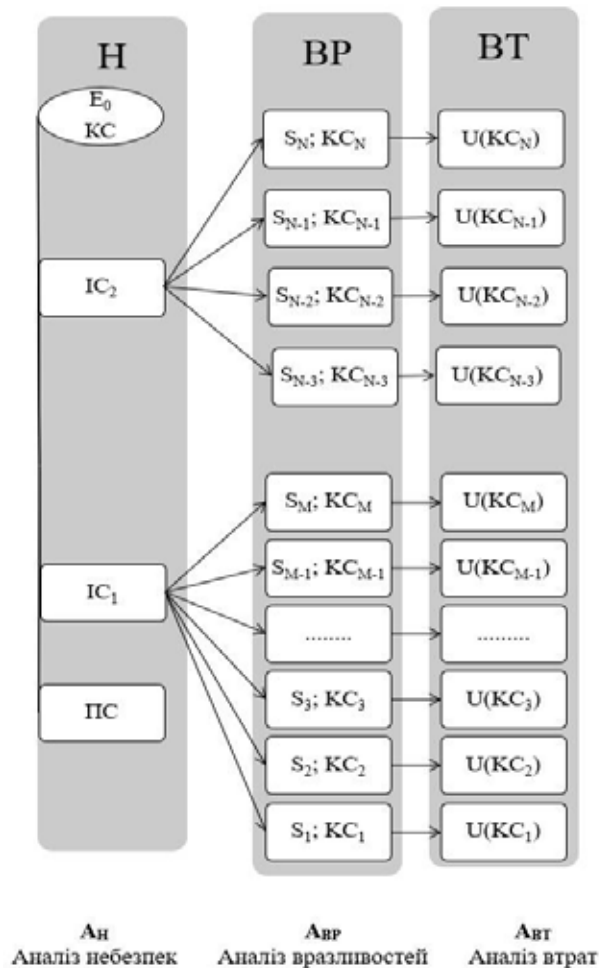


Рис. 2. Модель аналізу ризиків

Джерело: власні розробки авторів

Вразливість системи характеризується сукупністю сценаріїв випадкових подій і причинно-наслідкових зв'язків лише цими подіями, тобто структурою сценарного графа системи [13]. При цьому параметрами вразливості будуть виступати умовні ймовірності реалізації різних кінцевих станів систем, що виникають у полі ініціюючої події того чи іншого типу та інтенсивності. Аналіз вразливостей припускає дослідження послідовності події та причинно-наслідкових зв'язків між ними від ініціюючої до досягнення системою одного з кінцевих станів. Іншими словами, аналіз вразливостей являє собою детальне вивчення дерева сценаріїв системи, що вивчається.

Траєкторія S_0 у просторі станів, що описують функціонування системи від початкового стану ПС до бажаного KC_0 має назву «сценарій успіху». У моменти часу t_1, t_2, \dots, t_N в системі можуть відбутися ініціюючі події $III_1; III_2; \dots; III_N$, які здатні відхилити траєкторію від кривої S_0 , включаючи послідовність подій, що відповідають сценаріям S_1, S_2, \dots, S_N , які дають змогу системі досягнути кінцевих станів KC_1, KC_2, \dots, KC_N . Кожен кінцевий стан, крім бажаного, призводить до втрат $U_N(KC_N)$. Таким чином, втрати – це результат зміни стану системи у бік, який не дозволяє отримати заплановану кінцеву подію.

За наслідками послідовної оцінки небезпек, вразливостей та втрат для системи можна визначити рівень ризику:

$$R = \vec{H} \cdot V \cdot \vec{U}, \quad (7)$$

де: $\vec{H} = \{P[III_1]; P[III_2]; \dots; P[III_N]\}$ – вектор небезпек, компонентами якого є ймовірності реалізації ініціюючих подій;

$V [P(KC_i | III_j)] - N \cdot K$ – матриця вразливостей, компоненти якої виявляють собою ймовірності реалізації невдалих станів KC_i за умови настання ініціюючої події III_j ;

$\vec{U} = \{U[KC_1]; U[KC_2]; \dots; U[KC_N]\}$ – вектор втрат, компонентами якого є величини збитків, що відповідають кінцевим станом KC_1, KC_2, \dots, KC_N .

Оцінка ризику може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або кількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані мають бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування.

У процесі вибору методу оцінки ризику необхідно враховувати, що метод має:

- відповідати ситуації, що розглядається в судовласній компанії та оточуючому середовищі;
- надавати результати в формі, що сприяє підвищенню обізнаності про вид ризику і способи його обробки;
- забезпечувати простежуваність, відтворюваність і верифікацію процесу і результатів.

Досвід у проведенні досліджень з оцінки ризиків під час моделювання вартості життєвого циклу судна показав ефективність використання в цій задачі методу Монте-Карло. Цей метод зазвичай використовують для оцінки діапазону зміни результатів і відносної частоти значень у цьому діапазоні для кількісних величин,

таких як вартість, тривалість, продуктивність, попит та ін. Моделювання методом Монте-Карло може бути використано для двох різних цілей:

- трансформування невизначеності для звичайних аналітичних моделей;
- розрахунку ймовірностей, якщо аналітичні методи не можуть бути використані.

Вхідними даними для моделювання методом Монте-Карло є добре опрацьована модель системи, інформація про тип вхідних даних, джерела невизначеності і необхідних вихідних даних.

Вхідні дані та відповідну їм невизначеність розглядають у вигляді випадкових змінних із відповідними розподілами змінних (нормальний, трикутний, логарифмічний тощо).

Процес включає такі етапи:

- визначення моделі або алгоритму, які найбільш точно описують поведінку досліджуваної системи;
- багаторазове застосування моделі з використанням генератора випадкових чисел для отримання вихідних даних моделі (моделювання системи). За необхідності моделюють вплив невизначеності. Модель записують у формі рівняння, що виражає співвідношення між вхідними та вихідними параметрами. Значення, відібрані як вхідні дані, отримують із відповідних розподілів ймовірностей, що характеризують невизначеності даних;
- за допомогою комп'ютера багаторазово використовують модель (часто до 10 000 разів) із різними вхідними даними і отримують вихідні дані. Вони можуть бути оброблені за допомогою статистичних методів для отримання оцінок середнього, стандартного відхилення, довірчих інтервалів.

Перевагами методу Монте-Карло є такі:

- метод може бути адаптований до будь-якого розподілу вхідних даних, включаючи емпіричні розподіли, побудовані на основі спостережень за відповідними системами;
- моделі порівняно прості для роботи і можуть бути в разі потреби розширені;
- метод дозволяє врахувати будь-які дії, події і взаємозв'язки між ними, включаючи такі, як умовні залежності;
- для ідентифікації сильних і слабких впливів може бути застосований аналіз чутливості;
- моделі є зрозумілими, а взаємозв'язок між входами і виходами – прозорим;
- метод допускає застосування ефективних моделей дослідження багатокомпонентних систем, таких як мережа Петрі.
- метод дає змогу досягти необхідної точності результатів.

Недоліками методу є такі:

- точність рішень залежить від кількості ітерацій, які можуть бути виконані;
- метод передбачає, що невизначеність даних можна описати відомим розподілом;
- великі і складні моделі можуть становити труднощі для фахівців із моделювання й ускладнювати залучення зацікавлених сторін;
- метод не може адекватно моделювати події з дуже високою або дуже низькою ймовірністю появи, що обмежує його застосування в процесі аналізу ризику.

Як програмне забезпечення реалізації методу Монте-Карло в процесі створення і реалізації моделі визначення вартості життєвого циклу судна нами пропонується використання системи імітаційного моделювання AnyLogic, яке має графічне середовище користувача та дає змогу використовувати мову Java для розробки моделей. Крім того, проведення імітаційного моделювання дозволяє визначити очікувану вартість життєвого циклу судна як математичне очікування випадкової величини сумарних витрат. При цьому немає необхідності аналізувати кожен фактор ризику та його вплив на сумарні витрати життєвого циклу окремо. Для вирішення прикладних задач мінімізації витрат на виконання всіх процесів життєвого циклу судна можна як цільову функцію використовувати саме математичне очікування сумарних витрат, а до системи обмежень додати умову максимально допустимого значення середнього квадратичного відхилення або дисперсії.

За результатами імітаційного моделювання було доведено, що величина сумарної вартості життєвого циклу судна Z_{Σ} підпорядковується нормальному закону розподілу з функцією щільності розподілу:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{M_Z^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

де M_L – математичне очікування сумарних витрат;
 σ – середньоквадратичне відхилення (рис. 3).

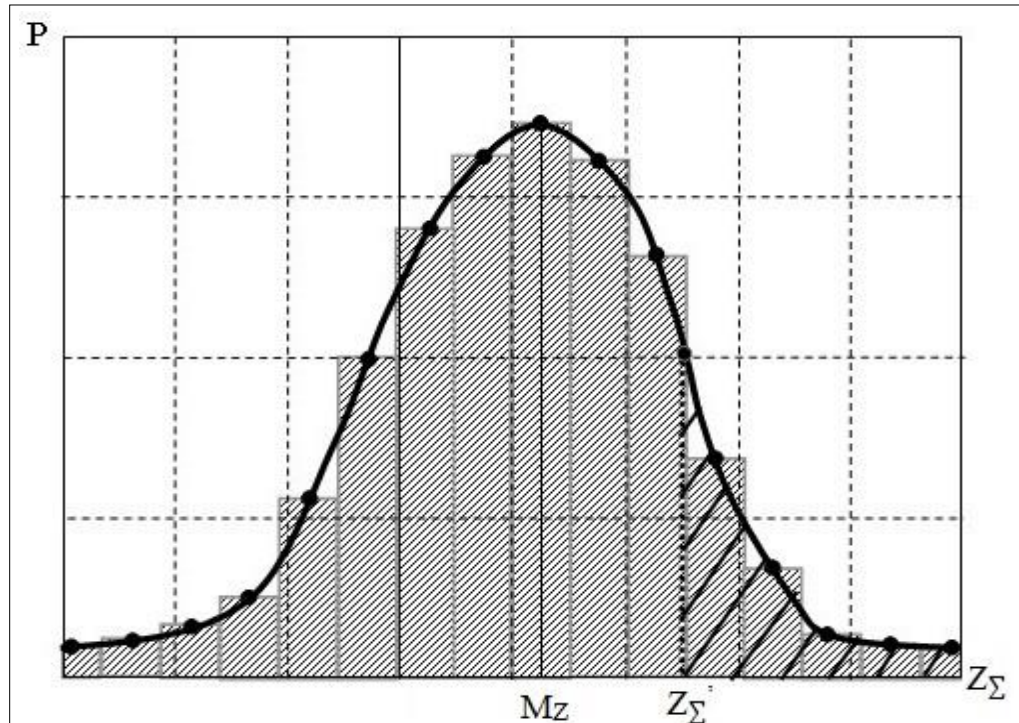


Рис. 3. Розподіл ймовірності вартості життєвого циклу судна
Джерело: власні розробки авторів

Якщо планом передбачається отримання сумарної вартості життєвого циклу на рівні Z_{Σ}' , то ризик недосягнення цілі може бути розрахований за формулою:

$$R = P\left(Z_{\Sigma} \geq Z_{\Sigma}'\right) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{Z_{\Sigma}' - \frac{M_{\Sigma}'}{2\sigma^2}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz, \quad (9)$$

Висновки. У роботі запропонована модель визначення вартості життєвого циклу судна з урахуванням аналізу ризиків, що впливають на її складники.

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering – System life cycle processes. URL: <http://www.Iso.org>.
2. Шахов А.В. Проектирование жизненного цикла ремонтпригодных технических систем : Монография. Одесск. национ. морс. ун-т. Одесса : Феникс, 2005. 164 с.
3. Курсин Д.А. Расчет стоимости жизненного цикла сложного машиностроительного изделия при принятии решения о совершенствовании проекта. *Журнал «Наука и образование»*. 2011. № 10. С. 38–49.
4. Семенов А.И. Моделирование и прогнозирование цен судов отечественной постройки. *Сборник науч. тр. ЦННИМФ*. 1982. Вып. 274. С. 51–61.
5. Шахов А.В., Пизинцали Л.В. Модель управления стоимостью жизненного цикла судна. *Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал*. 2014. Вип. 3. С. 9–16
6. ISO/IEC 31000:2009. Risk-management. Principles and guide. URL: <http://www.Iso.org>.
7. ISO/IEC 31010:2009. Risk-management. Methods of risk assessment. URL: <http://www.Iso.org>.
8. Махутов Н.А., Крышевич О.В., Переездчиков И.В., Петров В.П., Тарташов Н.И. Особенности применения методов анализа опасности систем «Человек-машина-среда» на базе нечетких множеств. *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях*. 2001. Вып. 1. С. 99–110.
9. Ковалевич О.М. Понятие «риск» и его производные. *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях*. 2001. Вып. 1. С. 91–98.
10. Ковалевич О.М. К вопросу об определении «степени риска». *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях*. 2004. Вып. 1. С. 73–80.
11. Акимов В.А., Порфирьев Б.Н. Кризисы и риск: к вопросу взаимосвязи категорий. *Проблемы анализа риска*. 2004. Т. 1, № 1. С. 38–49.
12. Калько Е.В., Дыбач А.М., Севбо А.Е., Кудла Е.П. Концепция оперативного вероятностного анализа безопасности. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. Вып. 3(55). С. 51–56. URL: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Yarb/12_3/3_55_11.pdf
13. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. Санкт-Петербург : Изд. дом «Бизнес-пресса», 2004. 216 с.

REFERENCES

1. ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering – System life cycle processes. URL: <http://www.iso.org>.
2. Shakhov A.V. Designing the life cycle of maintainable technical systems [Proektirovanie zhiznennogo tsikla remontoprigradnykh tekhnicheskikh sistem] : Monografiia. Odessk. natsion. mors.un-t. Odessa : Feniks, 2005. 164 s. [in Russian].
3. Kursin D.A. Calculation of the cost of the life cycle of a complex machine-building product when making a decision to improve the project [Raschet stoimosti zhiznennogo tsikla slozhnogo mashinostroitelnogo izdeliia pri priniatii resheniia o sovershenstvovanii proekta]. *Zhurnal «Nauka i obrazovanie»*. 2011. № 10. S. 38–49. [in Russian].
4. Semenenko A.I. Modeling and forecasting of prices for ships of domestic construction. [Modelirovanie i prognozirovanie tsen sudov otechestvennoi postroiki]. Sb. nauch. tr. TsNNIMF. 1982. Vyp. 274. S. 51–61. [in Russian].
5. Shakhov A.V., Pizintcali L.V. Model of ship life cycle cost management [Model upravleniia stoimosti zhiznennogo tsikla sudna]. *Problemi tekhniki: Naukovo-virobnichii zhurnal*. 2014. Vip. 3. S. 9–16 [in Russian].
6. ISO/IEC 31000:2009. Risk-management. Principles and guide. URL: <http://www.iso.org>.
7. ISO/IEC 31010:2009. Risk-management. Methods of risk assessment. URL: <http://www.iso.org>.
8. Makhutov N.A., Kryshevich O.V., Perezdchikov I.V., Petrov V.P., Tartashov N.I. Peculiarities of application of methods of hazard analysis of systems “Man-machine-environment” based on fuzzy sets [Osobennosti primeneniia metodov analiza opasnosti sistem «Chelovek-mashina-sreda» na baze nechetkikh mnozhestv]. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychainykh situatsiiakh*. Vyp. 1, 2001. S. 99–110. [in Russian].
9. Kovalevich O.M. The concept of “risk” and its derivatives. [Poniatie “risk” i ego proizvodnye.] *Problemy bezopasnosti pri chrezvychainykh situatsiiakh*. 2001, vyp. 1. S. 91–98. [in Russian].
10. Kovalevich O.M. On the question of determining the “degree of risk”. [K voprosu ob opredelenii “stepeni riska”.] *Problemy bezopasnosti pri chrezvychainykh situatsiiakh*. 2004, vyp. 1. S. 73–80. [in Russian].
11. Akimov V.A., Porfirev B.N. Crises and risk: on the issue of the relationship of categories. [Krizisy i risk: k voprosu vzaimosviazi kategorii.] *Problemy analiza riska*. 2004, t. 1, № 1. S. 38–49. [in Russian].
12. Kalko, E.V., Dybach A.M., Sevbo A.E., Kudla E. P. Concept of operational probabilistic safety analysis [Kontseptciia operativnogo veroiatnostnogo analiza bezopasnosti]. *Iaderna ta radiatsiina bezpeka*. 2012. Vyp. 3(55). S. 51–56. URL: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Yarb/12_3/3_55_11.pdf [in Russian].
13. Solozhentsev E.D. cenario logic and probabilistic risk management in business and technology. [Stcenarnoe logiko-veroiatnostnoe upravlenie riskom v biznese i tekhnike]. SPb. : Izd. dom «Biznes-prensa», 2004. 216 s. [in Russian].

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.13

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.12>

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ

М.В. Бабій¹, О.П. Цьонь², І.М. Кучвара³, В.О. Черній⁴

¹к.т.н., старший викладач кафедри автомобілів,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5231-0508

²к.т.н., доцент кафедри автомобілів,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-1056-4697

³к.т.н., старший викладач кафедри автомобілів,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-1384-3448

⁴здобувач вищої освіти,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-9345-1323

Анотація

Вступ. Перетин доріг на одному рівні завжди є зоною підвищеної небезпеки, тому тут частіше трапляються ДТП. У процесі проектування перехрестя не завжди вдається повною мірою спрогнозувати інтенсивність руху на ньому, крім того, величина інтенсивності з часом експлуатації перехрестя змінюється. Це своєю чергою має безпосередній вплив на безпеку руху та пропускну здатність цього перехрестя. **Мета** – підвищення безпеки руху на нерегульованому перехресті доріг одного рівня в процесі зміни організації дорожнього руху. **Результати.** Задачею досліджень було вдосконалення перехрестя доріг Р41 та Р39, де часто спостерігаються дорожньо-транспортні пригоди. Для досягнення поставленої мети виконано спостереження за інтенсивністю руху на перехресті відповідно до стандартних методик. За результатами обробки статистичних даних спостережень побудовано картограми інтенсивності руху транспорту для відповідних періодів пікових інтенсивностей. Визначено коефіцієнт нерівномірності інтенсивності руху протягом доби. Проведено оцінювання порівняної безпеки руху під час переміщення транспорту ділянкою дороги з розглядуваним перехрестям на основі підсумкового коефіцієнта аварійності. Для перетину доріг Р41 та Р39, що знаходяться на одному рівні, побудовано схему конфліктних точок. За коефіцієнтом аварійності, що віднесений до 10^7 автомобілів, які перетинають перехрестя, визначено ступінь небезпеки цього перехрестя.

У роботі запропоновано змінити організацію дорожнього руху на розглядуваному перехресті, застосувавши схему кільцевого руху. Для нової схеми руху на перехресті виконано аналіз ймовірної аварійності, де встановлено значне зниження можливості виникнення ДТП. **Висновки.** За результатами дослідження базової схеми перехрестя встановлено, що підсумковий коефіцієнт аварійності для цієї ділянки дороги (перехрестя) становить 65,3, що відносить її до «дуже небезпечної». Таке значення коефіцієнта для ділянки дороги, що проходить через перехрестя на одному рівні, вказує на зміну організації дорожнього руху. Із розрахунку коефіцієнта аварійності ($K_a = 24,5$), що віднесений до 10^7 автомобілів, які перетинають перехрестя, встановлено ступінь небезпеки цього перехрестя – «дуже небезпечно». Таким чином, результати дослідження вказують на те, що ділянка, де проходить перетин доріг Р41 та Р39 на одному рівні, потребує зміни організації дорожнього руху через її перепланування. Запропонована схема кругового руху на перехресті має позитивний ефект: зменшується кількість конфліктних точок з 32 до 20; коефіцієнт аварійності, що віднесений до 10^7 автомобілів, які перетинають перехрестя, становить $K_a = 5,92$. За таких умов досліджуване перехрестя вважається «мало небезпечним».

Ключові слова: нерегульоване перехрестя, коефіцієнт аварійності, конфліктні точки, інтенсивність руху, безпека руху.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE ROAD ORGANIZATION TRAFFIC AT AN UNREGULATED CROSSROADS

M.V. Babii¹, O.P. Tson², I.M. Kuchvara³, V.O. Chernii⁴

¹Ph.D. in Technology, Senior Lecturer at the Automobiles Department,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5231-0508

²Ph.D. in Technology, Associate Professor at the Automobiles Department,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-1056-4697

³Ph.D. in Technology, Senior Lecturer at the Automobiles Department,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-1384-3448

⁴Student,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-9345-1323

Summary

Introduction. Crossroads at one level always are high risk areas that are why traffic accidents there happen more frequently. During crossroads designing it is not always possible properly predict traffic intensity on it, besides, value of the traffic intensity changes with the time of crossroad exploitation. Therefore it has direct influence on driving safety and bandwidth of this crossroad. **A purpose is** driving safety increasing at unregulated crossroads of equal roads, during traffic organization change. **Results.** The task of researches was existent crossroad of roads P41 and P39 improving, where traffic accidents happen more frequently as usual. To achieve that purpose traffic intensity observation by standard methods was performed. As a result of observation statistic data analysis cartograms of traffic intensity for the corresponding periods of peak intensities were built. Coefficient of traffic intensity non-uniformity during the day was determined. Evaluation of relative traffic

safety during driving on road section with examined crossroad was conducted based on the final accident rate. For crossroad of equal roads of P41 and P39 scheme of conflict points was built. Due to accident rate which is taken to 10^7 vehicles that cross this crossroad, degree of this crossroad danger was determined. In the article it is proposed to change the organization of traffic at this crossroad by applying the scheme of circular driving. For new driving scheme on current crossroad analysis of probable traffic accident was conducted, and we determined that traffic accident occurrence possibility significant reduced.

Conclusions. *Due to results of base scheme crossroad research it is determine that the final accident rate for current road section (crossroad) is 65.3 which mean it is “very dangerous”. Such coefficient value for road section which is passes through crossroad of equal roads indicates to change the traffic organization. From the calculation of the accident rate ($K_a = 24,5$) that taken to 10^7 vehicles that pass this crossroad the degree of this crossroad danger set on “very dangerous”. So results of researches indicate that section where crossroad of roads P41 and P39 is requiring changes in traffic organization through its redevelopment. Proposed scheme with circular driving on crossroad is propose has positive effect: the number of conflict points reduced from 32 to 20; accident rate which is taken to 10^7 vehicles which pass current crossroad is $K_a = 5,92$. With such conditions this crossroad is considered “little dangerous”.*

Key words: *unregulated crossroad, accident rate coefficient, conflict points, traffic intensity, driving safety.*

Вступ. Перетин доріг на одному рівні завжди є зоною підвищеної небезпеки, тому тут частіше трапляються ДТП. У процесі проектування перехресть не завжди вдається повною мірою спрогнозувати інтенсивність руху на ньому. Серед чинників, що впливають на цей процес, –затребуваність напрямів, які проходять через перехрестя, стан дорожнього полотна, розвиток виробничої (торгівельної чи іншої) інфраструктури, примусове спрямування транспортних потоків через це перехрестя, що визначається дорожніми знаками тощо. За таких умов змінюються вихідні дані, порівняно з першопочатковими, на основі яких реалізували проект. Тому в разі переїзду конфліктних точок та припущення водіями помилок і виникають ДТП, а це означає, що постійно потрібно контролювати ситуацію на перехрестях та в разі потреби проводити коригування організації дорожнього руху на них.

Постановка проблеми. Немає нічого ціннішого за людське життя. Як би пафосно це не звучало, але, на жаль, трапляється так, що з різних причин та обставин воно втрачається на «дорозі». У процесі аналізу причин виникнення ДТП регіону було виділено магістральне перехрестя на одному рівні доріг Р41 та Р39, для якого потрібно виконати оцінку умов руху при використанні коефіцієнтів аварійності та за виконаним аналізом провести обґрунтування зміни організації дорожнього руху з метою підвищення безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми підвищення пропускної здатності перехресть та зниження рівня виникнення ДТП залишаються актуальними і нині. Тому дослідники пропонують свої варіанти вирішення проблем [1–5]. У джерелах є багато інформації щодо вдосконалення організації дорожнього руху. Але здебільшого наведені рішення стосуються конкретного перехрестя, яке функціонує за індивідуальних умов та має свою специфіку. Використовуючи одні і ті самі заходи щодо вдосконалення перехресть, в одному випадку можна спостерігати позитивну

тенденцію підвищення пропускної здатності та зниження ДТП, а в іншому – навпаки [6–8]. Тому в процесі виконання таких досліджень їхня автентичність буде відображатися у виконаних спостереженнях інтенсивності транспортних потоків на перехресті, їх напрямів, утворення кількості конфліктних точок і т.д., а також у прийнятті індивідуальних рішень щодо вдосконалення цього перехрестя.

Формулювання цілей статті. Проведені дослідження мають за мету підвищити безпеку руху на нерегульованому перехресті доріг одного рівня за умови зміни організації дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації поставленої мети роботи, перш за все, потрібно мати достовірні вихідні дані. У процесі аналізу руху на перехресті доріг Р41 та Р39, що неподалік м. Тернополя (при виїзді із с. Біла), було виконано спостереження за його інтенсивністю відповідно до стандартних методик [9; 10]. Після обробки отриманих статистичних даних виконаних спостережень побудовано картограми інтенсивності руху транспорту на перехресті для відповідних періодів пікових інтенсивностей, рис. 1.

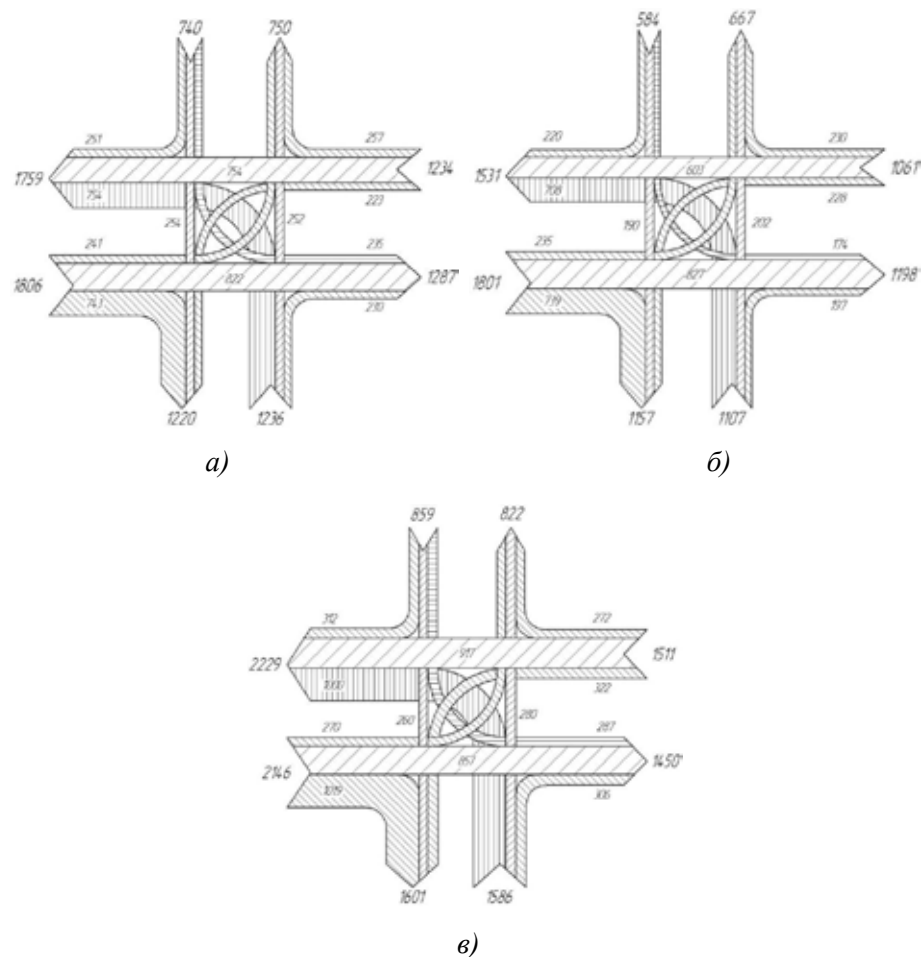


Рис. 1. Картограма інтенсивності руху на перехресті:
а – спостереження ранкові (7:00–10:00); б – денні (11:00–14:00);
в – вечірні (15:00–18:00)

Першим показником, який характеризує завантаженість цього перехрестя, є коефіцієнт нерівномірності інтенсивності руху протягом доби. Він визначається за середніми значеннями інтенсивностей руху, що визначені в ранковий (p), денний (d) та вечірній (e) час.

Запишемо вираз коефіцієнта нерівномірності відповідно до часу доби, у такому вигляді [9]

$$K_{n(p, d, e)} = \frac{3 \cdot N_{(p, d, e)}}{N_p + N_d + N_e}, \quad (1)$$

де N_p – інтенсивність руху транспорту, що спостерігається в ранкові години, $N_p = 5016$ авт./год;

N_d – інтенсивність руху вдень, $N_d = 4553$ авт./год;

N_e – інтенсивність руху у вечірній час, $N_e = 6102$ авт./год.

Підставляючи значення у вираз (1), отримуємо значення коефіцієнта нерівномірності інтенсивності руху протягом доби на перехресті. Результат представимо у вигляді діаграми (рис. 2).

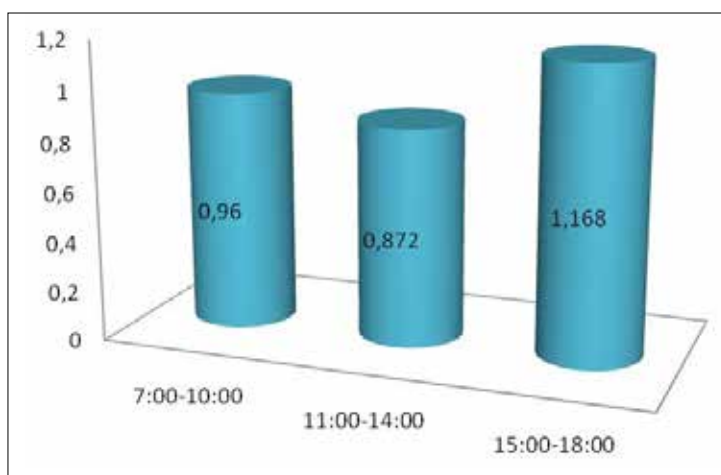


Рис. 2. Значення коефіцієнта нерівномірності інтенсивності руху протягом доби

За отриманими значеннями можна зробити висновок про незначну нерівномірність інтенсивності руху на перехресті протягом робочого дня. Тобто показники інтенсивності руху транспорту, що отримані в ранковий, денний та вечірній час, можна використовувати як параметр інтенсивності руху в конфлікуючих точках на цьому перехресті.

Наступним кроком є оцінювання порівняної безпеки руху в процесі переміщення транспорту ділянкою дороги з розглядуваним перехрестям. Першим показником буде підсумковий коефіцієнт аварійності, що визначається як добуток питомих коефіцієнтів. Запишемо його вираз.

$$K_{\text{ндс}} = \prod_{i=1}^{18} K_i, \quad (2)$$

де K_i – питомі коефіцієнти аварійності віднесені до 10^6 автомобілів на кілометр при пробігові через досліджувану ділянку дороги, де враховано такі параметри впливу [9; 10]: інтенсивність руху; склад потоку; ширина проїжджої частини; швидкісний режим; ОДР; освітлення; тип перехрестя; ОДР перехрестя; інтенсивність пішохідного руху; видимість; наявність зупиночних пунктів; пішоходів на перехресті; пішоходів поза перехрестям; наявність тротуарів; величини ухилів дороги; кривизна дорожнього полотна; трамвайних колій; стан дорожнього покриття. Ці параметри визначаються щодо еталонної ділянки дороги.

Для визначення підсумкового коефіцієнта аварійності перемножуємо значення питомих коефіцієнтів, скориставшись залежністю (2). Причому, якщо якийсь із параметрів впливу відсутній, наприклад немає трамвайних колій, то цей питомий коефіцієнт у розрахунку приймаємо за одиницю. Після розрахунку встановлено, що значення підсумкового коефіцієнта аварійності для цієї ділянки дороги (перехрестя) становить 65,3, тому вона належить до дуже небезпечних. Відповідно до будівельних норм [10], на цій ділянці дороги, що проходить через перехрестя на одному рівні, потрібно змінити організацію дорожнього руху.

Другим базовим показником безпеки руху є оцінювання такої безпеки безпосередньо на перетині доріг Р41 та Р39, що знаходяться на одному рівні.

У цьому випадку важливу роль відіграє інтенсивність руху відповідно до його напрямів, що утворює певну кількість конфліктних точок внаслідок злиття чи розгалуження транспортних потоків.

На основі спостережень та складеної картограми інтенсивності руху (рис. 1) побудуємо схему конфліктних точок на перетині доріг Р41 та Р39 (рис. 3).

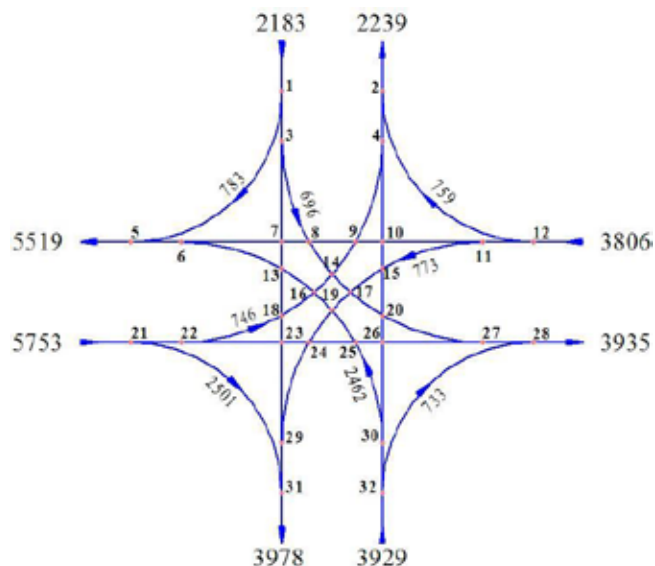


Рис. 3. Схема конфліктних точок на перетині доріг Р41 та Р39

Для оцінки безпеки руху на цьому перехресті скористаємося коефіцієнтом аварійності, що віднесений до 10^7 автомобілів, які перетинають це перехрестя

$$K_a = \frac{G \cdot 10^7 \cdot K_{\text{рік}}}{(M + N) \cdot 25}, \quad (3)$$

де G – річний показник ймовірної кількості виникнення ДТП на даному перехресті;

M – інтенсивність руху, що визначена для головної дороги, $M = 9559$ авт./доба;

N – інтенсивність руху для другорядної дороги, $N = 6112$ авт./доба;

$K_{\text{рік}}$ – коефіцієнт нерівномірності інтенсивності руху протягом року, $K_{\text{рік}} = 0,08$.

Річний показник ймовірної кількості виникнення ДТП будемо визначати як суму питомих показників q_j для конкретної конфліктної точки

$$G = \sum_{j=1}^n q_j, \quad (4)$$

де q_j – питомі показники ймовірного виникнення ДТП в j -тій конфліктній точці; n – кількість конфліктних точок на перехресті, $n = 32$ (рис. 3).

Зрозумілим є те, що підвищена інтенсивність руху в конфліктній точці породжує більшу ймовірність виникнення ДТП.

Показник ймовірного виникнення ДТП в j -тій конфліктній точці протягом години визначаємо за залежністю [9]

$$q_j = K_j \cdot M_j \cdot N_j \frac{25}{K_{\text{рік}}} \cdot 10^{-7}, \quad (5)$$

де K_j – показник, що характеризує порівняну аварійність в j -тій конфліктній точці;

M_j, N_j – величини інтенсивностей руху транспорту, які перетинаються j -тій конфліктній точці головної та другорядної доріг відповідно.

Розраховуємо значення питомих показників q_j за виразом (5) відповідно до умов руху на перехресті. Тоді на їх основі визначаємо величину річного показника ймовірної кількості виникнення ДТП за виразом (4). І в кінцевому результаті встановлюємо коефіцієнт аварійності, який дорівнює $K_a = 24,5$. Відповідно до норм [9; 10] таке значення показника аварійності на перехресті робить його належним до категорії «дуже небезпечні».

Таким чином, результати дослідження вказують на те, що ділянка, де проходить перетин доріг Р41 та Р39 на одному рівні, потребує зміни організації дорожнього руху через її перепланування.

Аналізуючи можливі варіанти зміни схеми руху транспорту на даному перехресті, ми дійшли висновку, що тут доцільно буде використати схему організації кільцевого руху.

Для інтенсивності руху транспорту, що спостерігається на цьому перехресті, рекомендовано вибирати діаметр центрального острівка 30 м та забезпечити дві полоси для кругового руху по 6 м. Крім того, потрібно нанести розмітку

та виконати розділювальні острівці для каналного руху транспорту, забезпечити достатню видимість та штучне освітлення в темну пору доби.

Наведемо схему кільцевого руху на перехресті та проаналізуємо кількість конфліктних точок із відповідною інтенсивністю руху (рис. 4).

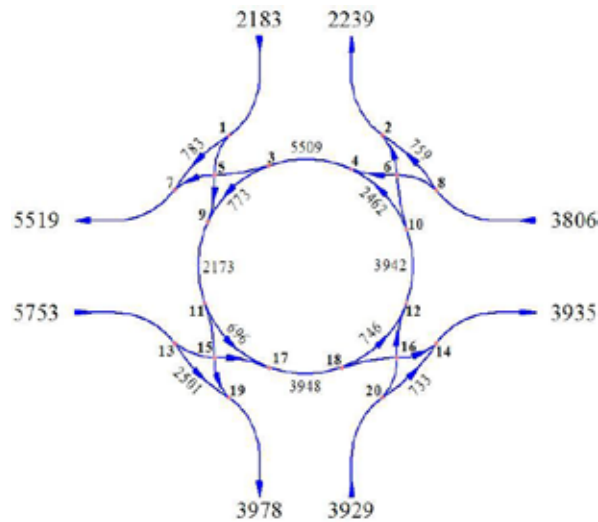


Рис. 4. Схема конфліктних точок, що виникають під час перетину автомобільних доріг із застосуванням кільцевого руху

Виконаємо аналіз аварійності в разі проїзду цього перехрестя з використанням пропонованої схеми кільцевого руху тільки за коефіцієнтом аварійності на перехресті K_a .

У процесі аналізу самої схеми переїзду перехрестя першим позитивним ефектом є те, що кількість конфліктних точок знизилася з 32 до 20.

Тоді, відповідно, отримані зміни матимуть вплив на визначення питомих коефіцієнтів ймовірного виникнення ДТП в j -тій конфліктній точці при круговому русі (рис. 4) протягом години, які визначаємо за залежністю (5). Тоді сумарний річний показник ймовірної кількості виникнення ДТП (4) становитиме $G = 2,9$, а коефіцієнт аварійності (3), що віднесений до 10^7 автомобілів, які перетинають це перехрестя, становитиме $K_a = 5,92$.

Зіставляючи отримане значення коефіцієнта аварійності (3) для пропонованої схеми перехрестя з кільцевим рухом з нормативними значеннями [9], можна констатувати, що організація кільцевого руху на перехресті має забезпечити його порівнянну безпечність. За таких умов це перехрестя вважається «мало небезпечним».

Висновки. За результатами дослідження базової схеми перехрестя встановлено, що підсумковий коефіцієнт аварійності для цієї ділянки дороги (перехрестя) становить 65,3, що робить її «дуже небезпечною». Таке значення коефіцієнта для ділянки дороги, що проходить через перехрестя на одному рівні, вказує на зміну організації дорожнього руху.

Із розрахунку коефіцієнта аварійності ($K_a = 24,5$), що віднесений до 10^7 автомобілів, які перетинають перехрестя, встановлено ступінь небезпеки такого перехрестя – «дуже небезпечне».

Таким чином, результати дослідження вказують на те, що ділянка, де проходить перетин доріг Р41 та Р39 на одному рівні, потребує зміни організації дорожнього руху через її перепланування.

Запропонована схема кругового руху на перехресті має позитивний ефект: зменшується кількість конфліктних точок з 32 до 20; коефіцієнт аварійності, що віднесений до 10^7 автомобілів, які перетинають перехрестя, становить $K_a = 5,92$. За таких умов досліджуване перехрестя вважається «мало небезпечним».

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С., Ширин В.В. Формалізація задачі управління транспортними потоками на улично-дорожній мережі великих міст. *Прикладна радіоелектроніка*. 2009. Т. 8. № 2. С. 188–192.
2. Білоус А.Б., Могила І.А., Крамажевський Я.Р. Прогнозування інтенсивності руху з використанням часових рядів. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2011. № 3. С. 15–25.
3. Формальчик Є.Ю., Гілевич В.В. Порівняльна характеристика деяких показників проїзду регульованих і нерегульованих перехресть. *Вісник ХНАДУ*. 2010. № 50. С. 48–51.
4. Бабій М.В., Кучвара І.М. Ключові проблеми безпеки дорожнього руху в Україні. *Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти* : матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції. Кривий Ріг, 2017. С. 14–16.
5. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
6. Доля В.К., Энглезі І.П. К определению вероятности ДТП участника движения на участках транспортной сети. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2010. № 3. С. 49–54.
7. Бабій М.В. Проблеми транспортної логістики в аграрному секторі України. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2017. № 184 “Технічний сервіс машин для рослинництва”. С. 130–135.
8. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. *Науковий журнал «Інженерія природокористування»*. 2019. № 3 (13). С. 87–91
9. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / За заг. ред. В.П. Поліщука, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. Київ : Знання України, 2012. 467 с.
10. Методика оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України: М 218-03450778-652:2008 Введ. 2008-01-01. Київ : ДерждорНДІ, 2008. 23 с.

REFERENCES

1. Abramova, L.S. Chernobaev, N.S. Shyryn, V.V. Formalization of the task of managing traffic flows on the street and road network of large cities [Formalizatsiya zadachi upravleniya transportnyimi potokami na ulichno-dorozhnoy seti krupnyih gorodov]. *Applied radio electronics*. 2009. Vol. 8. No. 2. P. 188–192.
2. Bilous, A.B. Mohyla, I.A. Kramazhevskiy, Ya.R. (2011) Forecasting the intensity of the flow from the clock rows [Prohnozuvannia intensyvnosti rukhu z vykorystanniam chasovykh riadiv]. *Bulletin of the Donetsk Academy of Road Transport*. № 3. P. 15–25.
3. Fornalchik, E.Yu., Gilevich, V.V. (2010) Comparative characteristics of some indicators of travel of regulated and unregulated intersections [Porivnialna kharakterystyka deiakyykh pokaznykiv proizdu rehulovanykh i nerehulovanykh perekhrest]. *Bulletin of the KhNADU*. № 50. P. 48–51.
4. Babii, M.V., Kuchvara, I.M. (2017) Key issues of road safety in Ukraine [Kliuchovi problemy bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukraini]. Road safety: legal and organizational aspects : materials of the XII International scientific-practical conference. Kryvyi Rih. P. 14–16.
5. Babii, A., Babii, M. (2019) Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
6. Dolya, V.K., Englezi, I.P. (2010) To determine the probability of an accident of a traffic participant on sections of the transport network [K opredeleniyu veroyatnosti DTP uchastnika dvizheniya na uchastkah transportnoy seti]. *Bulletin of the Donetsk Academy of Road Transport*. № 3. P. 49–54.
7. Babii, M.V. (2017) Problems of transport logistics in the agricultural sector of Ukraine [Problemy transportnoi lohistyky v ahrarnomu sektori Ukrainy]. *Bulletin of KhNTUSG*. № 184 “Technical service of machines for crop production”, Kharkiv. P. 130–135.
8. Babii, A., Babii, M. (2019) Toughness research of construction elements of functional-transporting mobile devices [Doslidzhennia mitsnosti elementiv konstruktsii funktsionalno-transportuiuchykh mobilnykh zasobiv]. *Scientific journal “Engineering of nature management”*. № 3 (13) P. 87–91.
9. Organization and regulation of traffic [Orhanizatsiia ta rehulivannia dorozhnoho rukhu] : textbook / V.P. Polishchuka, O.O. Bakulich, O.P. Dziuba, V.I. Yeresov ta in. Kyiv : Knowledge of Ukraine, 2012. 467 p.
10. M 218-03450778-652:2008. Methods of assessing levels of safety on the roads of Ukraine [Metodyka otsinky rivniv bezpeky rukhu na avtomobilnykh dorohakh Ukrainy]. January 01, 2008. Kiyiv : DerzhdorNDI, 2008.

СУТНІСТЬ ТА СПЕЦИФІКА ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЄКТІВ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

О.О. Немчук¹, М.А. Верещака², С.П. Онищенко³

¹к.т.н., проректор із наукової роботи, доцент кафедри підйомно-транспортних машин та інжинірингу портового технологічного обладнання,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-5633-8930

²здобувач кафедри підйомно-транспортних машин та інжинірингу портового технологічного обладнання,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-7115-6630

³д.е.н., професор, директор,
Навчально-науковий інститут морського бізнесу
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

Анотація

Вступ. Успішність інфраструктурних заходів визначається успішністю реалізації відповідних проєктів: навіть дуже своєчасні і необхідні заходи можуть не бути доведені до логічного кінця або не забезпечити отримання необхідного результату, якщо управління відповідними інфраструктурними проєктами здійснюється неналежним чином. Тому для забезпечення успішності та ефективності цієї категорії проєктів необхідна відповідна теоретична база для підтримки процесів управління. Фундаментом цієї теоретичної бази має бути чітка ідентифікована сутність та специфіка інфраструктурних проєктів у сфері водного транспорту, бо саме це визначає специфіку процесів управління цими проєктами. **Метою** дослідження є ідентифікація основних видів інфраструктурних проєктів у сфері водного транспорту і встановлення їх специфіки як основи для розробки моделей і методів ефективного управління цими проєктами. **Результати.** У цьому дослідженні ідентифіковано сутність і специфіка інфраструктурних проєктів на водному транспорті. Визначено логічний ланцюжок впливу стану і параметрів цієї інфраструктури на різні параметри транспортного обслуговування і конкурентоспроможність транспортної системи країни. Отже, стан інфраструктури визначає безпеку судноплавства, формує обмеження на розмір суден (і, відповідно, розмір вантажних партій), а також зумовлює час рейсу судна і доставки вантажу. Таким чином, розвиток інфраструктури водного транспорту є необхідним чинником підвищення конкурентоспроможності портів та ефективності морських і річкових перевезень. Крім того, розвиток технологій і діяльність міжнародних організацій (наприклад, ІМО) зумовлюють більш високі вимоги до забезпечення безпеки судноплавства, що також відбивається на вимогах до інфраструктури. Крім того, інфраструктура водного транспорту піддає не тільки «моральному» старінню, а й природному «зносу», причому більшою мірою, ніж в інших видів транспорту. Це пояснюється «агресивністю» водного

середовища і природними процесами (наприклад, замулюванням дна). Встановлено основні види інфраструктурних проєктів на водному транспорті: модернізація об'єктів; заміна об'єктів; відновлення об'єктів; розвиток існуючих об'єктів; створення нових об'єктів. Визначено продукти інфраструктурних проєктів – це об'єкти інфраструктури, які або створюються, або змінюються (відновлення, заміна, модернізація, розвиток). Встановлено цілі і місію цієї категорії проєктів. **Висновки.** Отримані результати є основою для розробки моделей і методів управління інфраструктурними проєктами на водному транспорті.

Ключові слова: продукт проєкту, розвиток інфраструктури, мета та місія проєкту, модернізація, транспортна система.

ESSENCE AND SPECIFICITY OF INFRASTRUCTURE PROJECTS ON WATER TRANSPORT

O.O. Nemchuk¹, N.A. Vereshchaka², S.P. Onyshchenko³

¹ Ph.D. in Technology, Vice-Rector, Associate Professor at the Department of Lifting and Transport Machines and Engineering of Port Technological Equipment, Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-5633-8930

² Applicant at the Department of Lifting and Transport Machines and Engineering of Port Technological Equipment, Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-7115-6630,

³ Doctor of Economics, Professor, Director, Educational and Scientific Institute of Marine Business of the Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-7528-4939

Summary

Introduction. The success of infrastructure measures is determined by the success of the relevant projects: even extremely timely and necessary measures may not be brought to a logical conclusion or may not ensure the desired result if the management of the relevant infrastructure projects is not carried out properly. Therefore, to ensure the success and effectiveness of this category of projects requires an appropriate theoretical basis to support management processes. The foundation of this theoretical basis should be identified nature and specificity of the infrastructure projects on water transport, as this determines the specifics of the management processes of these projects. **The purpose** of this study is to identify the main types of infrastructure projects on the water transport and establish their specificity as a basis for the models and methods of an effective project management. **Results.** This study identifies the nature and specifics of infrastructure projects on water transport. The logical chain of influence of a condition and parameters of the infrastructure on various parameters of transport service and competitiveness of transport system of the country has been defined. Thus, the state of the infrastructure determines the safety of navigation, forms restrictions on the ships size, as well as sets the time of the ship's voyage and cargo delivery. The development of water transport infrastructure is a necessary factor in increasing the competitiveness of ports and the efficiency of sea and river transport. The development of technology

*and the activities of international organizations lead to higher requirements for the safety of navigation, which also affects the requirements for infrastructure. In addition, water transport infrastructure is subject not only to “moral” aging, but also to natural “wear and tear”, and to a greater extent than in other transports. This is due to the “aggressiveness” of the aquatic environment and natural processes. The main types of infrastructure projects on water transport are established: modernization of facilities; replacement of objects; restoration of objects; development of existing facilities; creation of the new objects. The products of infrastructure projects are defined as infrastructure objects that are either created or changed (restoration, replacement, modernization, development). The goals and mission of this category of projects are set as well. **Conclusions.** The obtained results form the basis for the further development of models and methods of infrastructure project management on water transport.*

Key words: *project product, infrastructure development, project goal and mission, modernization, transport system.*

Вступ. Внутрішньогалузева інфраструктура є обов’язковою умовою переміщення вантажів і пасажирів на водному транспорті і одним з основних факторів розвитку галузі [1]. У разі недостатнього рівня її розвитку відбувається порушення відтворювального процесу і зниження ділової активності в галузях, що обслуговуються транспортом [2]. Навпаки, достатній рівень розвитку інфраструктури є чинником зростання виробництва і технічного прогресу, зниження витрат і зростання продуктивності праці, підвищення інвестиційної активності у виробничій сфері та вирішення низки соціальних проблем.

Інфраструктура транспорту має забезпечувати необхідні умови для ефективного транспортного обслуговування вантажів (пасажирів) як на регіональному, так і на національному рівнях. Крім того, з урахуванням важливості транзитних перевезень для економіки країни, транспортна інфраструктура має забезпечувати сприятливі умови для залучення транзиту. Таким чином, інфраструктура водного транспорту має забезпечувати необхідні умови для відповідного сегмента перевезень на всіх згаданих рівнях.

Реалізація заходів, пов’язаних з інфраструктурою водного транспорту, здійснюється за допомогою відповідних проектів.

Постановка проблеми. Успішність інфраструктурних заходів визначається успішністю реалізації відповідних проектів: навіть дуже своєчасні і необхідні заходи можуть не бути доведені до логічного кінця або не забезпечити отримання необхідного результату, якщо управління відповідними інфраструктурними проектами здійснюється неналежним чином. Тому для забезпечення успішності та ефективності цієї категорії проектів необхідна відповідна теоретична база для підтримки процесів управління. Фундаментом цієї теоретичної бази має бути чітка ідентифікована сутність та специфіка інфраструктурних проектів у сфері водного транспорту, бо саме це визначає специфіку процесів управління цими проектами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія управління проектами досить стрімко розвивається в останнє десятиріччя – з’являються нові концепції, що відповідають специфіці сучасного світу й оточенню компаній, які реалізують різноманітні проекти. Наявна методологія збагачується методами і моделями, які

дають змогу обґрунтовано приймати рішення з тих чи інших питань управління проектами. При цьому кожна сфера діяльності має певну специфіку, що породжує специфічні проекти, для управління якими також розробляється відповідна теоретична база. Так, проводяться дослідження, які пов'язані з транспортними та логістичними проектами [3–6], і, природно, особлива увага приділяється в сучасних роботах інфраструктурним проектам [7–13].

Зокрема, питання цінності інфраструктурних проектів розглядалися в роботі [8], де досліджується внесок інфраструктурного проекту в розвиток сучасних соціоекономічних систем. У роботах [9; 10] пропонувалися методи управління часом інфраструктурних проектів на базі гібридної методології, що поєднує класичний і нові підходи до здійснення етапів життєвого циклу проектів. Управління стейкхолдерами цих проектів досліджувалось у роботі [10].

Проте інфраструктурні проекти у сфері водного транспорту в основному розглядаються з позиції їх важливості для регіону або країни [14–16], але цей розгляд не стосується питань управління цими проектами. В окремих роботах, зокрема, [16], увага приділяється життєвому циклу інфраструктури водного транспорту і необхідності її модернізації. Але при цьому таке поняття, як життєвий цикл інфраструктурного проекту у сфері водного транспорту, не знаходить відображення в сучасних дослідженнях, так само як і класифікація цих проектів.

Таким чином, у результаті аналізу літературних джерел і сучасних публікацій варто зробити висновок про те, що питання управління інфраструктурними проектами у сфері водного транспорту, починаючи з ідентифікації їх сутності та специфіки, є актуальними з урахуванням відсутності теоретичної бази і наявності запитів практики.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є ідентифікація основних видів інфраструктурних проектів у сфері водного транспорту і встановлення їх специфіки як основи для розробки моделей і методів ефективного управління цими проектами.

Виклад основного матеріалу.

1. Вплив інфраструктури водного транспорту на стан транспортної системи

Адекватний стан транспортної інфраструктури забезпечує певний рівень транспортного обслуговування, включаючи вартість, час, якість і безпеку. А це своєю чергою відбивається на транзитному потенціалі країни, конкурентоспроможності транспортної системи (що, до речі, є одним із пріоритетних напрямів у розвитку транспортно-дорожнього комплексу України до 2030 року), ефективності транспортного сектора і конкурентоспроможності вітчизняних товарів (завдяки мінімізації транспортних витрат і можливості встановлення конкурентоспроможних цін).

Конкретизація того, як інфраструктура водного транспорту впливає на характеристики транспортного обслуговування, представлено на рис. 1. Отже, інфраструктура водного транспорту є базою для здійснення морського і річкового судноплавства, в тому числі у складі інтермодальних перевезень. Стан інфраструктури визначає безпеку судноплавства, формує обмеження на розмір суден (і, відповідно, розмір вантажних партій), а також зумовлює час рейсу судна і доставки вантажу.

Таким чином, розвиток інфраструктури водного транспорту є необхідним чинником підвищення конкурентоспроможності портів та ефективності морських і річкових перевезень. Крім того, розвиток технологій і діяльність міжнародних організацій (наприклад, ІМО) зумовлює більш високі вимоги до забезпечення безпеки судноплавства, що також відбивається на вимогах до інфраструктури.

Тут варто зазначити, що морські/річкові перевезення здійснюються в рамках доставки з використанням як мінімум двох видів транспорту. Тобто морське/річкове перевезення передбачає доставку вантажу до/з порту, наприклад, залізничним або автомобільним транспортом. Тому розвиток інфраструктури має відбуватися комплексно, системно охоплюючи інфраструктури суміжних видів транспорту: збільшення пропускної спроможності порту без відповідного збільшення пропускної здатності під'їзних шляхів / естакад не забезпечить необхідні результати за часом і якістю транспортування.



Рис. 1. Вплив стану інфраструктури водного транспорту на транспортне обслуговування

Але не тільки розвиток інфраструктури водного транспорту необхідний для підвищення ефективності судноплавства і доставки вантажів водним транспортом. Так, інфраструктура водного транспорту піддана не тільки «моральному» старінню, а й природному «зносу», причому більшою мірою, ніж в інших видів транспорту. Це пояснюється «агресивністю» водного середовища і природними процесами (наприклад, замулюванням дна).

Своєю чергою основні передумови розвитку інфраструктури водного транспорту: науково-технічний прогрес, нові вимоги щодо забезпечення безпеки судноплавства, необхідність підвищення конкурентоспроможності порту і транзитної привабливості країни і т.п. Ці передумови зумовлюють необхідність або зміни (модернізація) чинної інфраструктури, або її оновлення (тобто заміни), або розширення в частині створення нових об'єктів інфраструктури в місцях, де це стало необхідно і раніше було відсутнє. Ці передумови мають як зовнішній, так і внутрішній характер щодо підприємств, що здійснюють управління об'єктами інфраструктури на водному транспорті.

Як раніше зазначалося, розвиток інфраструктури різних видів транспорту має відбуватися узгоджено, з урахуванням їх суміжності. При цьому саме розвиток перевезень водним транспортом (збільшення їх обсягів) є «початковим» для розвитку «дотичної інфраструктури» суміжних видів транспорту: так, при зростанні обсягів перевезень морським транспортом через конкретний порт, виникає необхідність збільшення не тільки пропускної спроможності порту, а й пропускної здатності прилеглих авто і залізничних шляхів. Саме тому багато питань розвитку інфраструктури транспорту вирішуються й узгоджуються на рівні держави.

2. Сутність інфраструктурних проєктів на водному транспорті

Інфраструктурні проєкти у сфері водного транспорту відповідають складу інфраструктури (об'єктів інфраструктури) і пов'язані або з а) модернізацією об'єктів; б) заміною об'єктів; в) відновленням об'єктів; г) розвитком наявних об'єктів; г) створенням нових об'єктів (рис. 2).

«Модернізація» пов'язана з «осучасненням» об'єктів інфраструктури. Зокрема, це може стосуватися перевантажувального, навігаційного і гідрографічного обладнання, систем сигналізації.

«Заміна» об'єктів передбачає заміщення закінчення їхнього терміну служби (або пошкоджених у результаті стихійних лих, аварій і т.п.) обладнання і систем на аналогічні за своїми параметрами (характеристиками).

«Відновлення» може бути пов'язано з ремонтом обладнання, впорядкуванням водних шляхів, каналів, рейдів і т.д. Наприклад, природне замулювання вимагає чистки шляхів.

«Розвиток наявних об'єктів» спрямований на зміну характеристик об'єктів інфраструктури. Наприклад, поглиблення дна у причалів, у каналах і т.п. дасть змогу портам приймати судна більшого розміру. Поповнення портофлоту також є прикладом розвитку інфраструктури.

Зазначимо, що модернізацію можна розглядати як варіант розвитку інфраструктури, і пропонується поділ не є принциповим. Тим не менше модернізація належить виключно до обладнання та техніки і не застосовується, наприклад, до водних шляхів. Можна сказати, що модернізація є «слабкою формою розвитку», що не міняє принципово параметрів і характеристик об'єктів інфраструктури. Тому її можна розглядати як особливий варіант проєктів, пов'язаних з інфраструктурою.

«Створення нових об'єктів» – це найширший перелік проєктів від створення нових інформаційних, навігаційних, гідрографічних систем до будівництва нового порту або каналу.

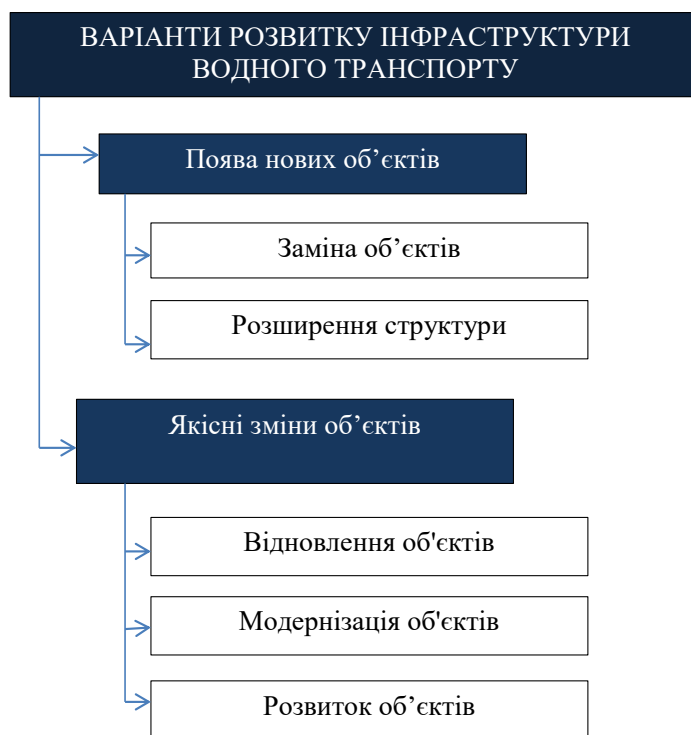


Рис. 2. Сутність проєктів розвитку інфраструктури водного транспорту як реалізація її розвитку

Виділені заходи, які можуть бути класифіковані як інфраструктурні проєкти, відповідають логіці системної методології. Система – в цьому випадку інфраструктура – або *поповнюється новими елементами* (створення нових об'єктів (глобальний аспект), розвиток наявних об'єктів (локальний кількісний аспект – мається на увазі збільшення числа об'єктів наявних підсистем, наприклад, кількість суден портового флоту)), або *знає якісних змін* (модернізація, відновлення, розвиток – якісний аспект). Це все є розвитком інфраструктури загалом.

Зазначимо, що розвиток передбачає якісні зміни системи, які є наслідком, перш за все, якісних змін підсистем або елементів (наприклад, поглиблення дна біля причалів або в підхідних каналах). Крім того, розвиток як набуття системою нових якостей може йти по шляху «нарощування кількості» – появи нових елементів або підсистем. У результаті, наприклад, збільшується пропускна спроможність порту.

«Відновлення» також можна вважати своєрідним розвитком інфраструктури, бо з'являються якості, які були «втрачені» в результаті різних впливів на об'єкти.

Таким чином, усі перераховані заходи є розвитком інфраструктури на водному транспорті.

3. Специфіка інфраструктурних проєктів та їх основне призначення

Відмінною особливістю більшості інфраструктурних проєктів є високий рівень інвестиційних витрат і значний термін окупності (якщо про це доречно говорити). Адже багато інфраструктурних проєктів реалізуються для виконання основної суті будь-якої інфраструктури – поліпшення якості життя в країні, і вони не передбачають економічний ефект у традиційному сенсі. Так, будівництво доріг в Україні нині не тягне за собою окремий проєкт «експлуатація» й отримання доходу у вигляді плати за використання дороги. Хоча концесійні проєкти, пов’язані з інфраструктурою, в тому числі у сфері морського транспорту [3], обговорюються вже не один рік.

Таким чином, при поточних параметрах і характеристиках інфраструктури водного транспорту забезпечується певний рівень транспортного обслуговування у процесі доставки вантажів водним транспортом, а це визначає рівень конкурентоспроможності транспортної системи країни загалом і рівень її транзитного потенціалу. Для досягнення необхідного (бажаного) рівня транзитного потенціалу та конкурентоспроможності транспортної системи стан інфраструктури має бути певного рівня, досягнення якого і є основною метою інфраструктурних проєктів. Своєю чергою забезпечення певного рівня транзитного потенціалу та конкурентоспроможності транспортної системи формує сутність місії інфраструктурних проєктів (рис. 3).



Рис. 3. Місія і цілі інфраструктурних проєктів у сфері водного транспорту

З огляду на вищесказане, розвиток інфраструктури має здійснюватися за допомогою послідовності проектів і/або програм розвитку, спрямованих на кожному етапі на досягнення певного рівня характеристик інфраструктури (рис. 4). Таким чином, розвиток інфраструктури має являти собою «слідування» необхідному рівню її стану [17], виходячи з інтересів держави на різних рівнях і в різних аспектах, що було охарактеризовано раніше. Зазначимо, що на рис. 4 цілі формуються на попередньому етапі розвитку й не обов'язково збігаються з необхідним рівнем стану інфраструктури. Таким чином, фактична траєкторія стану і «цільова» можуть не збігатися. В роботі [17] вказується, що подібні розбіжності в постановці цілей і необхідного рівня визначаються:

- 1) наявністю необхідних ресурсів;
- 2) неможливістю забезпечити встановлений як цільове значення необхідний рівень з огляду, наприклад, негативний вплив зовнішнього середовища і т.п.

На жаль, але навіть за принципової наявності ресурсів, пріоритетність інших проектів формує «залишковий» принцип для необхідних інфраструктурних проектів.

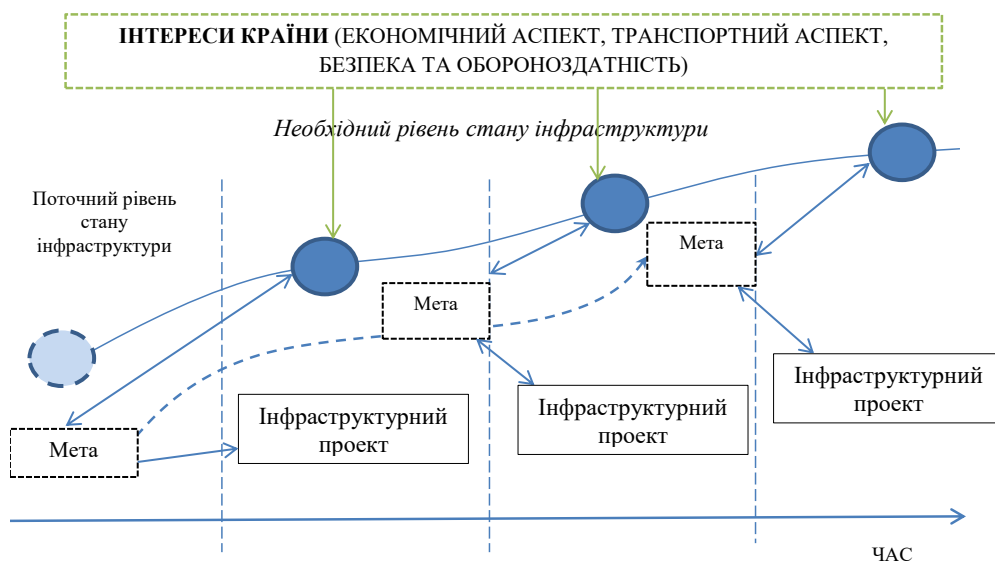


Рис. 4. Концептуальна модель розвитку інфраструктури

Підбиваючи підсумок, узагальнимо специфіку і сутність інфраструктурних проектів у сфері водного транспорту (рис. 5).

Як відомо, продуктом проекту називається виріб, який можна виміряти і який може бути як кінцевою ланкою виробничого ланцюга, так і елементом. Можна сказати, що продукт проекту – це безпосередньо той об'єкт, який створюється або змінюється в проекті [10; 12]. На думку дослідників [12], продукт проекту забезпечує досягнення мети проекту та знаходиться в межах управління командою проекту.

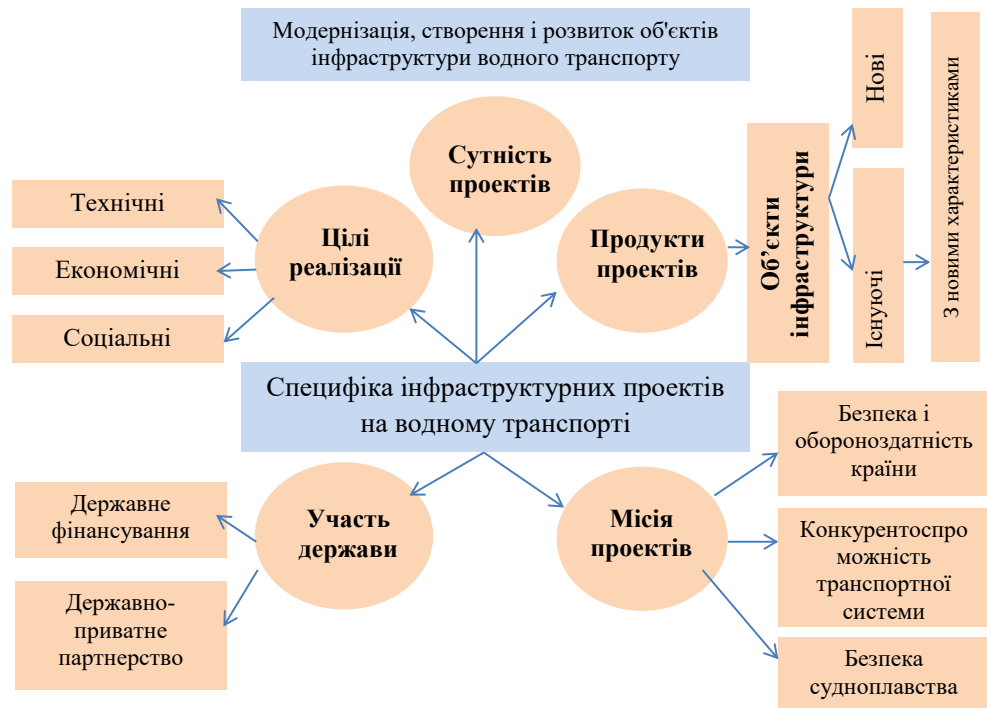


Рис. 5. Місія і цілі інфраструктурних проєктів у сфері водного транспорту

Таким чином, продуктом інфраструктурних проєктів у сфері водного транспорту є об'єкти інфраструктури, які або створюються, або змінюються (відновлення, заміна, модернізація, розвиток).

Висновки. У цьому дослідженні ідентифіковано сутність і специфіка інфраструктурних проєктів на водному транспорті. Визначено логічний ланцюжок впливу стану і параметрів цієї інфраструктури на різні параметри транспортного обслуговування і конкурентоспроможність транспортної системи країни.

Встановлено основні види інфраструктурних проєктів на водному транспорті: модернізація об'єктів; заміна об'єктів; відновлення об'єктів; розвиток наявних об'єктів; створення нових об'єктів. Визначено продукти інфраструктурних проєктів – це об'єкти інфраструктури, які або створюються, або змінюються (відновлення, заміна, модернізація, розвиток). Встановлено цілі і місію цієї категорії проєктів.

Отримані результати є основою для розробки моделей і методів управління інфраструктурними проєктами на водному транспорті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Макаренко М., Слободян О. Сутність транспортної інфраструктури та її місце у ринкових відносинах. *Збірник наукових праць ДЕГУТ. Серія «Економіка і управління»*. 2012. Вип. 21-22, Ч. 1. С. 6–12.
2. Ткаченко Н.Ю. Транспортна інфраструктура: сутність, функції та роль у забезпеченні економічних процесів. *Вісник Донецького*

- національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. *Сер. Екон. науки*. 2006. № 4 (32). С. 56–61.
3. Онищенко С.П., Литвинова Н.Н. Специфика проектов государственно-частного партнерства и перспективы их использования для развития украинских морских портов. *Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі: проблеми теорії та практики*. 2012. № 4 (20). С. 4–17.
 4. 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)). DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198373>
 5. Bondar, A., Andrievska, V., Onyshchenko, S. Identification of creation and development projects of logistic systems. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2019. 69(4), 26–37. DOI: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-4-26-37>
 6. Бондарь А.В., Онищенко С.П. Оптимизация временных параметров проекта. *Управління розвитком складних систем*. 2019. Вип. 39. С. 11–19. DOI: <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.11340629.V1>
 7. Verenich O.V. Management of infrastructure projects and programs as a key element for the development of social and economic systems. *Management of Development of Complex Systems*. 2016. No. 25, 23–31.
 8. Bushuyev S., Bushuyev D., Kozyr B. Paradigm shift in the management of infrastructure projects and programs. *Management of Development of Complex Systems*. 2019. 37. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783149>
 9. Bushuiev, D., Kozyr, B. Hybrid infrastructure project management methodologies. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. No. 1 (11), P. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.035>
 10. Bushuyev, S., Kozyr, B., Zapryvoda, A. Nonlinear strategic management of infrastructure programs. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2020. No. 4 (10). P. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.014>.
 11. Шкуро М.Ю., Бушуев С.Д. Особливості застосування проектного управління в муніципальних інфраструктурних проектах забезпечення енергоефективності. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. № 16. С. 77–83.
 12. Vereshchaka, N. Optimization of infrastructure project product parameters, *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2020. № 4 (14), P. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.031>
 13. Skorobogatova O., Kuzmina-Merlino I. Transport Infrastructure Development Performance. *Procedia Engineering*. 2017. № 178. P. 319–329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.056>
 14. Andrey, Jean & Kertland, Pamela & Warren, Fiona & Mortsch, Linda & Garbo, Adam & Bourque, Julien. *Water and Transportation Infrastructure*, 2014. P. 233–252.

15. Інфраструктурне забезпечення розвитку транспортної системи регіону : колективна монографія / І.В. Заблудська, І.Р. Бузько, О.О. Зеленко, І.О. Хорошилова. Северодонецьк : Вид-во СНУ ім. В. Даля. 2016. 193 с.
16. Larrivée, C. and Simonet, G. Testing the assumptions: assessing infrastructures vulnerability to climate change. *Municipal World*. 2007. V. 117, no. 6, p. 27–28.
17. Онищенко С.П., Леонтьева А.И. Структура и цели программ технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2018. № 1 (1277). С. 39–43. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2018.1277.6>

REFERENCES

1. Makarenko, M. & Slobodyan, O. (2012) The essence of transport infrastructure and its place in market relations. Collection of scientific works DETUT. Economics and Management Series. 21–22, Part 1, 6–12. [Makarenko, M., Slobodyan, O. (2012) Sutnist transportnoyi infrastruktury ta yiyi mistse u rynkovykh vidnosynakh. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriya "Ekonomika i upravlinnya"*, Vyp. 21–22, 6–12] [In Ukrainian].
2. Tkachenko, N. (2006) Transport infrastructure: essence, functions and role in ensuring economic processes. *Bulletin of DonDUET. Ser. Econom. Science*, 4 (32), 56–61. [Tkachenko, N. (2006) Transportna infrastruktura: sutnist, funktsiyi ta rol u zabezpechenni ekonomichnykh protsesiv]. *Visnyk DonDUET. Ser. Ekon. Nauky*, 4 (32), 56–61 [In Ukrainian].
3. Onyshchenko, S. & Litvinova, N. (2012) The specifics of public-private partnership projects and prospects for their use for the development of Ukrainian seaports. Economics and management of machine-building enterprises: problems of theory and practice, 4 (20), 4–17. [Onyshchenko S., Lytvynova N. (2012) Spetsyfyka proektov hosudarstvenno-chastnoho partnerstva y perspektyvy ykh yspolzovanyya dlya razvytyya ukraynskykh morskyykh portov. *Ekonomika ta upravlinnya pidpryyemstvamy mashynobudivnoyi haluzi: problemy teorii ta praktyky*, 4 (20), 4–17 [In Russian].
4. 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)). DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198373>
5. Bondar, A., Andrievska, V. & Onyshchenko, S. (2019) Identification of creation and development projects of logistic systems. *Development of methods of management and administration on transport*. 69(4), 26–37. DOI: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-4-26-37>
6. Bondar, A. & Onyshchenko, S. (2019) Optimization of time parameters of the project. *Management of complex systems development*, 39,

- 11–19. [Bondar, A., Onyshchenko, S. Optymyzatsyya vremennykh parametrov proekta. (2019) Upravlinnya rozvytkom skladnykh system. Kyiv : KNUBA, 39, 11–19.] [In Russian]. DOI: <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.11340629.V1>
7. Verenich, O.V. (2016) Management of infrastructure projects and programs as a key element for the development of social and economic systems. *Management of Development of Complex Systems*. 25, 23–31.
8. Bushuyev, S., Bushuyev, D. & Kozyr, B. (2019) Paradigm shift in the management of infrastructure projects and programs. *Management of Development of Complex Systems*, 37, 6–12. DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783149>
9. Bushuiev, D. & Kozyr, B. Hybrid infrastructure project management methodologies, *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. No. 1 (11), P. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.035>
10. Bushuyev, S., Kozyr, B. & Zapryvoda, A. (2020) Nonlinear strategic management of infrastructure programs, *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4 (10), 14–23. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.014> .
11. Shkuro, M. & Bushuev, S. (2017) Features of application of project management in municipal infrastructure projects of energy efficiency. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. 16, 77–83 [Shkuro M., Bushuev S. (2017) Osoblyvosti zastosuvannya proektnoho upravlinnya v munitsypalnykh infrastrukturykh proektakh zabezpechennya enerhoefektyvnosti]. *Visnyk Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyediyalnosti*. 16, 77–83. [In Ukrainian]
12. Vereshchaka, N. (2020) Optimization of infrastructure project product parameters, *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. № 4 (14), 31–39. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.031>
13. Skorobogatova, O. & Kuzmina-Merlino, I. (2017) Transport Infrastructure Development Performance. *Procedia Engineering*. 178, 319–329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.056>
14. Andrey, Jean & Kertland, Pamela & Warren, Fiona & Mortsch, Linda & Garbo, Adam & Bourque, Julien (2014). *Water and Transportation Infrastructure*, 233–252.
15. Zablodska, V., Buzko, I., Zelenko, O. & Khoroshylova, I. (2016) Infrastructural support for the development of the transport system of the region. Severodonetsk: Publishing house of SNU named after V. Dahl. 193 p. [I.V. Zablodska, I.R. Buzko, O.O. Zelenko, I.O. Khoroshylova. Infrastrukturne zabezpechennya rozvytku transportnoyi systemy rehionu: kolektyvna monohrafiya]. Syeverodonetsk : Vyd-vo SNU im. V. Dalya. 2016. 193 s. [In Ukrainian]
16. Larrivé, C. & Simonet, G. Testing the assumptions: assessing infrastructures vulnerability to climate change. *Municipal World*. 2007. V. 117, no. 6, p. 27–28.

17. Onyschenko, S.P. & Leontieva, A.I. (2018) The structure and objectives of the technical development programs for container terminals of sea trading ports. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic Management, Portfolio Management, Programs and Projects.* Kharkiv : NTU "KhPI", 2018, 1 (1277), 39–43. [Onyshchenko, S.P., Leonteva, A.Y. (2018) Struktura y tsely prohramm tekhnicheskoho razvytyya konteynernykh terminalov morskyykh torhovykh portov. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnya, upravlinnya portfelyamy, prohramamy ta proektamy: zb. nauk. pr.* Kharkiv : NTU "KhPI". 1 (1277). 39–43] DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2018.1277.6> [In Russian].

Наукове видання

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Випуск 1(8), 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. 13,13.
Замов. № 0421/132. 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.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.

Scientific publication

TRANSPORT DEVELOPMENT

Scientific journal

Issue 1(8), 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 13.13.
Order No 0421/132. 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.com.ua
Certificate of publishing entity
ДК № 6424 as of 04.10.2018