

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

ВИПУСК 1(6), 2020

Заснований у жовтні 2016 року



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1(6)
2020

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

д.т.н., 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 № 4 від 25 листопада 2020 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(6), 2020

Founded in October 2016



Publishing House
"Helvetica"
2020

ODESSA
NATIONAL MARITIME UNIVERSITY
TRANSPORT DEVELOPMENT
SCIENTIFIC JOURNAL

№ 1(6)
2020

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 A.R.</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 4 dated November 25, 2020)

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, 2020

З М І С Т

ЕКОНОМІКА

- Д.Г. Круглий**
Взаємозв'язок збільшення товарообігу в портах України
з розвитком транспортної інфраструктури.....7

МЕНЕДЖМЕНТ

- Т.А. Ковтун**
Фреймове моделювання продуктів проекту екологістичної системи.....17
- А.В. Шахов, В.М. Пітерська, О.І. Шерстюк, В.М. Боцанюк**
Механізми ризико-орієнтованого управління концесійними проєктами
в морських портах.....30

РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

- О.Г. Куррату**
Mathematical modeling trajectory of a ship
as a control object in global planning.....40
- О.І. Россомаха**
Концептуальна модель системи технічного обслуговування і ремонту
складних технічних систем.....56

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

- Н.О. Арсеньєва, Г.Р. Фоменко**
Функціональна класифікація автомобільних доріг України.....71
- Х.А. Барвінська, О.М. Грицунь**
Дослідження затримки транспортного потоку
на нерегульованих перехрестях з обмеженою швидкістю.....80
- К.В. Крячко**
Удосконалення технології роботи перевантажувальних засобів
на контейнерних терміналах вантажних станцій.....92
- М.С. Оліскевич, О.Л. Мاستикаш, М.П. Рой**
Залежність ефективності діяльності і кооперації перевізника
від вхідного потоку замовлень.....103
- Г.С. Прокудін, І.О. Ремех, Т.Г. Хоботня**
Організація незбалансованих вантажних перевезень
із використанням вантажних митних комплексів.....116

CONTENTS

ECONOMY

D.H. Kruhlyi
Relationship between increasing turnover in the ports of Ukraine
with the development of transport infrastructure.....7

MANAGEMENT

T.A. Kovtun
Frame models of the ecological system project.....17

A.V. Shakhov, V.M. Piterska, O.I. Sherstiuk, V.M. Botsaniuk
Mechanisms for risk-oriented management of concession projects in seaports.....30

RIVER AND SEA TRANSPORT

O.G. Kupraty
Mathematical modeling trajectory of a ship
as a control object in global planning.....40

O.I. Rossomakha
Conceptual model of system of maintenance
and repair of complex technical systems.....56

TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPE)

N.O. Arsenieva, G.R. Fomenko
Functional classification road of Ukraine.....71

Kh.A. Barvinska, O.M. Hrutsyn
Investigation of transport flow delay
at unsignalized intersections with limited speed.....80

K.V. Kryachko
Improvement of technology of work of transshipment means
on container terminals of cargo stations.....92

M.S. Oliskevych, O.L. Mastykh, M.P. Roi
Dependence of carrier efficiency and cooperation on input order flow.....103

G.S. Prokudin, I.O. Remekh, T.G. Khabotnia
Organization of unbalanced freight transportation
with the use of freight customs complexes.....116

ЕКОНОМІКА

УДК 629.5.061

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.01>

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЗБІЛЬШЕННЯ ТОВАРООБІГУ В ПОРТАХ УКРАЇНИ З РОЗВИТКОМ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Д.Г. Круглий

д.т.н., професор кафедри «Інноваційні технології та технічні засоби судноводіння»,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0236-3449

Анотація

Вступ. Глобальні процеси, що забезпечують формування параметрів ринку морського товарообігу, стають закономірністю. Ця закономірність зумовлює завдання розвитку судновласницьких структур за певними критеріями. При цьому масштаб економічних відносин України з іншими державами потребує постійного розширення та безпосередньо залежить від розвитку морських і річкових перевезень та удосконалення роботи портів, їх конкурентоспроможності. **Мета.** Стаття присвячена вивченню питання взаємозв'язку збільшення товарообігу в портах України з розвитком транспортної інфраструктури. **Результати.** У роботі розглядаються глобальні тенденції розвитку морської галузі, наведені показники перевалки експортних вантажів у портах протягом січня–березня 2018–2020 рр., а також визначені стратегічні пріоритети розвитку України як морської держави. Розглянуто актуальність використання типів суден, які повинні задовольняти вимогам як річкової, так і морської навігації, проблеми галузі останнього часу та основні причини їх виникнення, а також визначено основні тенденції розвитку транспортної галузі. Детальний аналіз діяльності морських та річкових портів України протягом останніх чотирьох років показав, що галузь рухається у певному напрямку. Скорочення витрат і зниження ризиків капітальних вкладень відіграють важливу роль у досягненні операційного приросту продуктивності.

Висновки. У результаті аналітичних досліджень зроблено висновки та виділено три умови розвитку товаропотоку річковими шляхами. Водний транспорт є одним із найдешевших видів доставки вантажів. Тому зрозуміло, що бажання збільшити товарообіг веде за собою збільшення кількості суден. Одразу виникає питання безпеки судноплавства, забезпечення якої є основним завданням річкових інформаційних систем (РІС). Очевидно, що ці системи повинні нести інформацію для судноводіїв не лише про транзитні судна, а й про всі плаваючі об'єкти в межах прямої видимості. Перспектива подальшого дослідження – зробити повноцінний аналіз роботи структури РІС.

Ключові слова: портова індустрія, обсяг перевезень, вантажообіг, пропускна здатність, потенціал, морська галузь, річкова інформаційна система.

RELATIONSHIP BETWEEN INCREASING TURNOVER
IN THE PORTS OF UKRAINE WITH THE DEVELOPMENT
OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

D.H. Kruhlyi

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department
“Innovative Technologies and Technical Means of Navigation”,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0236-3449

Summary

Introduction. The article is devoted to the study of the relationship between increasing the turnover in the ports of Ukraine with the development of transport infrastructure. This pattern determines the task of developing shipowners' structures according to certain criteria. At the same time, the scale of Ukraine's economic relations with other countries needs constant expansion and directly depends on the development of sea and river transportation and the improvement of ports, their competitiveness. **Purpose.** Global processes that ensure the formation of parameters of the maritime trade market are becoming a regularity. **Results.** The paper considers global trends in the development of the maritime industry, presents indicators of transshipment of export cargo in ports during January–March 2018–2020, as well as strategic priorities for the development of Ukraine as a maritime state. Considered the relevance of the use of ship types that must meet the requirements of both river and sea navigation, the main problems that have developed in this area in recent years, highlighted the main causes of their occurrence, and identified the main trends in the transport industry. A detailed analysis of the activities of sea and river ports in Ukraine over the past four years has shown that the industry is moving in a certain direction. Reducing costs and reducing capital investment risks play an important role in achieving operating productivity gains. Trends and direction of further development of the industry are considered. As a result of analytical researches conclusions are made and three conditions of development of a commodity flow on river ways are allocated.

Conclusions. The article analyzes the use of the RIS system, which is one of the main tasks of the development of cargo transportation, because water transport is one of the cheapest types of cargo delivery. It is clear that these systems with regard to inland waterways, in terms of ensuring the safety of navigation, should primarily carry information for navigators about all floating objects within line of sight, not just transit vessels. The prospect of further research is to make a full analysis of the work of the RIS structure.

Key words: port industry, volume of traffic, cargo turnover, capacity, potential, maritime industry, river information system.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасний стан інфраструктури багатьох портів України суттєво відстає від зарубіжних портів-конкурентів. Питання технічного вдосконалення елементів портової інфраструктури стає все більш актуальним.

Морські торговельні порти являють собою транспортні комплекси, які обслуговують різні промислові регіони України. Підприємства постійно розвиваються,

вдосконалюють свою продукцію, будучи клієнто-орієнтованими в експортно-імпортному відношенні, отримуючи або відправляючи через морські порти сировину, обладнання або іншу продукцію [1, с. 27–62].

Порти – найважливіші вузли перевалки вантажів на морський транспорт з регіонів, що знаходяться поблизу. Відмінна діяльність морських портів залежить від ефективної роботи основних галузей країни: машинобудування і металургії, агропромислового та паливно-енергетичного комплексів, від колювання обсягів контейнерних перевезень і т.п.

Глобальні процеси, що забезпечують формування параметрів ринку морського товарообігу, стають закономірністю. Ця закономірність зумовлює завдання розвитку судновласницьких структур за певними критеріями. При цьому масштаб економічних відносин України з іншими державами потребує постійного розширення та безпосередньо залежить від розвитку морських та річкових перевезень та удосконалення роботи портів, їх конкурентоспроможності.

Впевнено можна говорити про те, що через українські порти забезпечується до 40% усього вантажообігу регіону, а це досить вагомий показник важливості національного портового комплексу не тільки для України, але й інших країн, що пов'язують свою економіку з Чорноморсько-Азовським басейном. Незважаючи на стійке становище українських портів, їх фінансові показники неоднозначні [2, с. 22–34].

Рентабельність суттєво перевищує аналогічні показники металургійної, хімічної промисловості, агрокомплексу, але частка податкових надходжень у доходах державного бюджету становить усього близько 0,8%, що вкрай мало для цього виду діяльності. Експерти відзначають, що такий стан справ пов'язаний насамперед з наявною ситуацією у сфері розпорядження майном морських портів.

Як доходи вони часто отримують не стільки доходи від операційної діяльності, пов'язані з наданням традиційних послуг, а орендні платежі, що сплачуються стивідорними компаніями за користування причалами та портовою технікою. У зв'язку з цим з'являється можливість маневрування грошовими потоками і підвищення прибутковості портів [3, с. 77–96].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми, і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Проблемами розвитку морської транспортної галузі України займаються багато вчених і кваліфікованих фахівців. В. Михайлова [4, с. 1–2], Д. Щербаков [5, с. 2–3], К. Ільницький [6, с. 44–54] приділяють увагу аналізу стану морського транспорту і діяльності морських портів; В. Чекаловець [7], М. Примачьов [8] вивчають питання вдосконалення управління морськими портами.

Однак є потреба продовження та узагальнення результатів їхньої роботи, на підставі чого можна виявити напрям руху галузі та її перспективи в майбутньому.

Формулювання мети статті, постановка завдання. Таким чином, необхідність аналізу роботи українських морських портів, що дозволив би виявити сильні і слабкі сторони вітчизняних підприємств, визначити можливості та напрями їх розвитку в наявному конкурентному середовищі, досить очевидна, особливо в посткризових умовах відродження світової економіки.

Дуже важливим елементом є розгляд актуальності використання типів суден, які повинні задовольняти вимоги як річкових, так і морських навігацій. І якщо для плавання у відкритому морі досить відповідати конвенційним вимогам щодо міцності корпусу і рятувальним/навігаційним засобам, то на річці виникають яскраво виражені габаритні обмеження, джерелами яких виступають шлюзи, через які судна повинні проходити по ширині, мости, під якими вони повинні «поміщатися», і прохідна осадка (глибина у самій мілководній ділянці річкового шляху). Наявність у таких суден кормового якоря, річкової радіостанції і ходових вогнів також обов'язкова [4, с. 32–35].

Такі питання тісно пов'язані і призводять до поліпшення економічного стану вантажоперевезень України.

Об'єктом дослідження є порти України та чинники, які впливають на їхню роботу.
Предмет дослідження – товарообіг в українських портах.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Для того щоб зрозуміти всі слабкі сторони транспортної галузі України та визначити пріоритетні сторони їх розвитку, необхідно розглянути сучасний економічний стан портів України.

Розглянемо динаміку здійснення вантажообігу портів України за даними Адміністрації морських портів України [5, с. 1–5].

Отже, можна зробити висновок, що вантажообіг повільно, але стабільно підвищувався і досяг 20%. Динаміка перевалки контейнерів у 2017–2019 роках підвищилася на 63%. У товарообігу переважають три види вантажу: хлібні, руда, чорні метали.

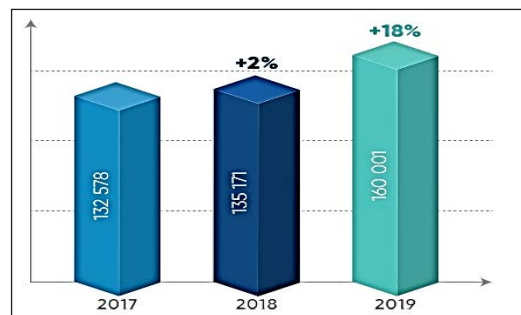


Рис. 1. Динаміка вантажообігу у 2017–2019 рр. (тис. т)

Відповідно до фінансових показників державного підприємства «Адміністрація морських портів України» чистий дохід становив 7,0 млрд грн. А чистий фінансовий результат (прибуток) – 1,6 млрд грн.

На сучасній роботі транспортної індустрії в усьому світі позначилися карантинні обмеження, наша держава не стала винятком. Експертні потоки продукції гірничо-металургійного комплексу України за період першого кварталу 2020 року красномовно вказують на стан економіки світу. Металургійна та гірничорудна галузі України орієнтують поставки продукції на країни, де попит на такий вид продукції є. Натепер така продукція доставляється до Китаю.

На зовнішніх ринках товарообіг залізрудної сировини, на відміну від спаду експорту чорних металів протягом першого кварталу, збільшився на 18,2%. Потрапили під зміни і напрями відвантаження і способи доставки. Доставка водним транспортом стала пріоритетною.

У пріоритеті здійснення товарообігу завжди було використання водних шляхів, а зараз попит на перевезення вантажу таким видом транспорту збільшився. Порти України Азово-Чорноморського басейну за перший квартал підвищили показники товарообігу на 11,2% порівняно з минулорічним показником. Розглянемо детальніше загальні показники перевалки експортних вантажів (рис. 2).

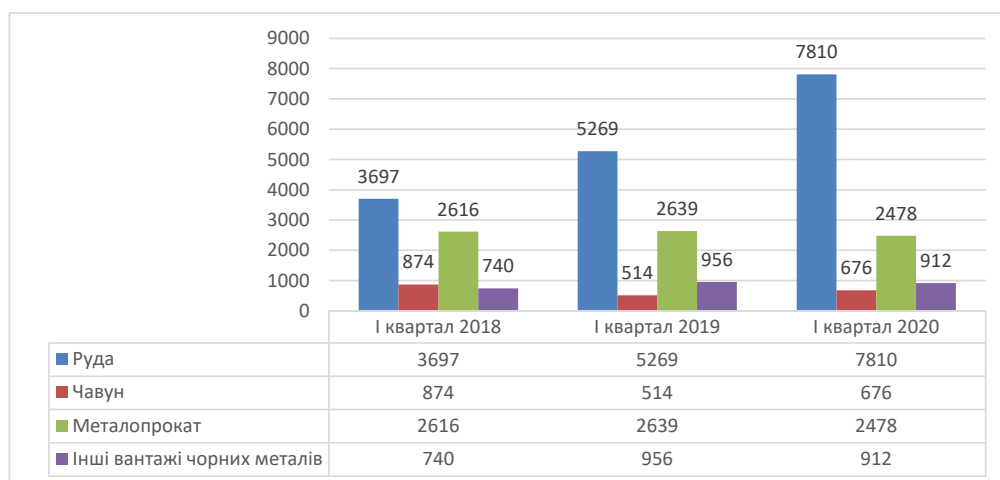


Рис. 2. Загальні показники перевалки експортних вантажів у портах протягом січня–березня 2018–2020 рр., тис. т

Вивчивши показники перевалки експортних вантажів у портах України протягом першого кварталу, можна дійти висновку, що, за даними Адміністрації морських портів України, експортні показники скоротилися на 1,3% – до 4,07 млн т. Якщо розглядати детальніше: відвантаження металопрокату знизилося на 6,1% – 2,4 млн т; а наприклад перевалка чавуну значно зросла на 31,6% – 675,7 тис. т; товарообіг металобрухту знизився на 52,7% – до 7,4 тис. т.

За першу половину березня завантажувалося у вагони припортових станцій «Укрзалізниці» у середньому за добу продукції в 2,3 раза – 29,1 тис. т більше ніж за такий же проміжок часу у 2019 році.

Але за цей же час, що припав на початок пандемії, відбулися і такі важливі події: вперше за останні роки Держстивідор порту Чорноморськ здійснив прийом вантажу залізородного концентрату; Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат протягом березня 2020 року експортував 1,149 млн т. окатишів; розпочався експорт продукції «Арселор Міттал» м. Кривий Ріг водними шляхами до Китаю. У перспективі компанії – відвантаження в обсягах 300 тис. т. на місяць.

Отже, Адміністрація морських портів України за такий проміжок часу задоволена результатами роботи портової галузі. Якщо порівнювати відповідні періоди 2019 та 2020 року, то можна сказати, що вантажопереробка у середньому зросла на 9%. А за прогнозами на весь рік товарообіг може зрости на 4%.

Усе це безпосередньо пов'язане з попитом товарообігу.

Розглянемо показники товарообігу по всіх портах України (рис. 3).

Одним із важливих питань є чинні обмеження для суден річка-море. В кожній країні вони свої, і формувалися під впливом різних факторів внутрішніх водних шляхів.

Якщо проаналізувати і порівняти ситуацію з річковими і морськими портами, то чітко видно – в Україні переважають глибоководні порти (таблиця 1).

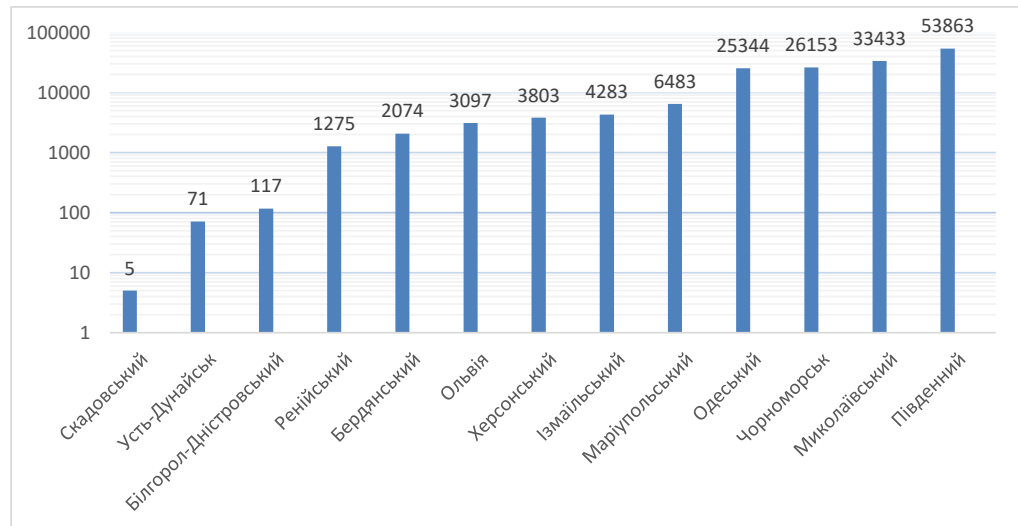


Рис. 3. Показники вантажообігу в морських портах, тис. т

Таблиця 1

Дані по портах України

| Глибоководні порти | Річкові порти |
|-------------------------|--------------------------|
| Херсон – 7,6 м | Херсон – 4,5 м |
| Миколаїв – 10,3 м | Нова Каховка – 3,6 м |
| Дніпро-Бузький – 10,3 м | Миколаїв – 4,5 м |
| Октябрьськ – 10,5 м | Нікополь – 3,6 м |
| Південний – 18,5 м | Дніпро – 3,6 м |
| Одеса – 13 м | Запоріжжя – 3,6 м |
| Чорноморськ – 14 м | Дніпродзержинськ – 3,6 м |
| Ізмаїл – 7 м | Очаків – 4,5 м |
| Бердянськ – 7,9 м | Рені – 4,5 м |
| Маріуполь – 8 м | Кілія – 4,5 м |

Можна зробити висновок, що річкова система України має великий потенціал.

Завдяки інтеграції термінального сегмента, інтермодальних перевізників, експедиторів у загальну мережу перевезень ефективність загальної транспортної системи морських і річкових перевезень залежить від цілої низки показників роботи кожного з елементів мережі. Тому з точки зору підвищення ефективності вважається перспективним впровадження нових технологічних досягнень у елементи сервісу інтермодальних перевезень.

Розвиток спеціалізованого судноплавства на основі різноманітних інноваційних і менеджерських технологій підтверджують експерименти, засновані на виборі напряду зростання віддачі ресурсів в умовах конкуренції ідей [6, с. 87–97].

Саме впровадження нових технологічних досягнень останні десятиліття грає роль провідного чинника, що впливає на підвищення ефективності роботи транспортної системи загалом.

На сучасному етапі насамперед ідеться про інформаційні технології, які дозволяють реалізовувати управління комплексними системами, що складаються з великої кількості елементів (об'єктів інфраструктури, транспортних засобів, партій вантажу і т. п.).

Сучасний стан і перспективи розвитку інфраструктури внутрішніх водних шляхів визначаються багатьма взаємозв'язаними чинниками. Велику частину чинників об'єднує необхідність підвищення безпеки судноплавства. Розміри суден, зростання швидкостей і збільшення інтенсивності руху на морських та річкових шляхах, плавання суден у складних метеорологічних умовах і багато інших причин роблять проблему безпеки найбільш пріоритетною та актуальною в оцінці сучасного стану і розвитку судноплавства. Безпека, своєю чергою, виділяє низку напрямів розвитку, серед яких – підвищення ефективності використання інфраструктури внутрішніх водних шляхів і вдосконалення системи управління судноплавством загалом. Для вирішення поставленого завдання важливо розглянути перспективи розвитку цих систем, їх структуру і функції.

Одними зі складників, що впливає на модернізацію системи морських та річкових перевезень, є річкові інформаційні системи. Під поняттям «РІС» розуміються гармонізовані інформаційні служби, що сприяють управлінню рухом суден і перевезеннями у сфері внутрішнього судноплавства у взаємозв'язку з іншими видами транспорту. РІС покликані сприяти безпечному та ефективному процесу перевезень і найбільш повному використанню можливостей внутрішніх водних шляхів [7, с. 56–83].

Натепер річкові інформаційні системи стали невід'ємною частиною Державної системи забезпечення безпеки судноплавства. Ці системи створюються на акваторіях морських портів і на підходах до них, а також на всій протяжності внутрішніх вод [8, с. 286–296].

РІС забезпечують вирішення цілої низки управлінських завдань у внутрішньому судноплавстві. Ці завдання пов'язані з поставленими цілями і вирішуються в трьох різних сферах, таких як:

- транспортна логістика, де сторони, які ініціюють перевезення, взаємодіють зі сторонами, які це перевезення організують (наприклад, вантажовідправники, вантажоодержувачі, постачальники, фрахтові агенти, судовласники);
- перевезення, де сторони, що організують перевезення, взаємодіють зі сторонами, які це перевезення здійснюють (наприклад, судовласники, оператори терміналів, клієнтура);
- рух, де сторони, які здійснюють перевезення (наприклад, капітани суден і судоводії), взаємодіють зі сторонами, які керують рухом суден (наприклад, оператор СДС, компетентні органи) [9, с. 224–267].

Взаємозв'язок рішень для наступного покоління управління мультимодальними перевезеннями та інформаційними системами є однією з головних цілей розвитку транспортної галузі.

Висновки і перспектива подальшої роботи в цьому напрямі

Проаналізувавши всю сукупність складників, що впливають на транспортну галузь протягом останніх десяти років, можна зрозуміти, що галузь рухається певним курсом. Скорочення витрат і зниження ризиків капітальних вкладень грають важливу роль у досягненні операційного приросту продуктивності. Натепер можна виділити три умови розвитку товаропотоку по водних шляхах України:

– необхідно створити такі умови для водних перевезень, які будуть сприяти економічній доцільності товарообігу України саме водними шляхами;

– вкладати інвестиції в розвиток нових технологій і цифровізацію, створення нових річкових інформаційних систем, створення логістичних шляхів до Азово-Чорноморського регіону [10, с. 9–13];

– забезпечити реалізацію РІС, що дозволить не лише поліпшити безпеку і ефективність трафіку по внутрішніх водних шляхах, але підвищити ефективність транспортних операцій загалом. Сучасні РІС складаються з однієї або більше погоджених систем на основі інформаційних технологій (ІТ), тобто сукупності людських ресурсів, апаратного і програмного забезпечення, засобів зв'язку і правил, що забезпечують виконання завдання обробки інформації.

Коли бізнес буде розглядати річковий транспорт, він спочатку прорахує економічну доцільність: чи варто інвестувати, і чи будуть гроші, вкладені в річку, окупатися. В Україні фактично немає ніякого законодавства. Незрозуміло, якими будуть збори через рік-два. Важливо створити більше визначеності для людей, які бажають інвестувати гроші.

Ефективність – параметр, який безпосередньо впливає на експлуатаційні витрати. Судноплавні компанії у всьому світі постійно працюють над зниженням експлуатаційних витрат, особливо після введення низки екологічних норм, які збільшують витрати на впровадження передових технологій і заходів безпеки. На додаток, багато об'єктів і систем на борту судна працюють тільки за тим, щоб переконатися, що екіпаж забезпечений усім необхідним.

Перспектива подальшого дослідження – зробити повноцінний аналіз роботи структури РІС та детально зупинитися на чинниках, що допоможуть покращити її властивості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Транспортна стратегія України на період 2020 року. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2011. 64 с.
2. Sotnichenko L., Solokha D. & Bessonova S. Justification of business entities development based on innovate principles. *Academy of Strategic Management Journal*. Volume 17. Issue 5, 2018. URL: <https://www.abacademies.org/articles/justification-of-business-entities-development-based-on-innovative-principles-7553.html>.
3. Фрасинюк Т.І. Система забезпечення стійкості розвитку підсистем морської транспортної індустрії : монографія. Одеса : НУ «ОМА», 2017. 304 с.
4. Михайлова В. Спад, увы, продолжается. *Порты Украины*. 2010. № 6. URL: <http://www.blackseatrans.com/article.php?articleID=2323>.

5. Щербаков Д. Украинские порты: анагомия рекорда. URL: http://tbu.com.ua/articles/ukrainskie_porty_anatomiia_rekorda.html.
6. Ильницкий К. Все порты и терминалы Черноморо-Азовского бассейна. *Порты Украины*. 2013. № 3. С. 54–55.
7. Совершенствование управления морскими торговыми портами : учебное пособие / Чекаловец В.И., Колодин А.Л., Столяров Г.П. и др. Одесса : ОНМУ, 2002. 142 с.
8. Степанов О.Н. Стратегическое управление развитием морского порта : монография. Одесса : Астропринт, 2005. 324 с.
9. Моряков К. Проект для развития морской отрасли. *Порты Украины*. № 1 (173) 2018. С. 32 – 35.
10. Адміністрація морських портів України: офіційний сайт. URL: <http://www.uspa.gov.ua/ru/o-predpriyatii/firmennaya-grafika-i-reklamnye-materialy-prezentatsii>.
11. Ільницький Д.О. Пошук ідеальної моделі транспортно-технологічної системи порту: компетентнісний вимір / Д.О. Ільницький, С.Г. Зінченко. *Вісник Одеського національного університету. Серія Економіка*. Одеса, 2017. Т. 22. Вип. 5 (58). С. 87–97.
12. Транспортування нафти, нафтопродуктів і газу : навчальний посібник / Л.Н. Ширін, О.В. Денищенко, С.Є. Барташевський, Є.А. Коровяка, В.О. Расцветаев. М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2019. 203 с.
13. Шиба О.А. Взаємозв'язок розвитку транспортної інфраструктури та економічного зростання. *Вісник Львівського університету. Серія «Міжнародні відносини»*. 2016. № 39. С. 286–296.
14. Колегаєв І.М. Принципи конкурентного розвитку спеціалізованого судноплавства глобальної морської індустрії. Одеса : НУ «ОМУ», 2017. 332 с.
15. Вадагурский А. В Украине нет проблемы переваливать объем экспорта в 60 млн тонн. *Порты Украины*. 2019. № 6. С. 9–13.

REFERENCES

1. Transportna stratehiya Ukrayiny na period 2020 roku [Ukraine's transport strategy for the period 2020] (2011). Kyiv: Ministerstvo infrastruktury Ukrayiny, 64 [in Ukrainian].
2. Sotnichenko, L. Solokha, D. & Bessonova, S. (2018). Justification of business entities development based on innovate principles. *Academy of Strategic Management Journal*, 17 (5). Retrieved from: <https://www.abacademies.org/articles/justification-of-business-entities-development-based-on-innovative-principles-7553.html>.
3. Frasyniuk, T.I. (2017). Systema zabezpechennia stiikosti rozvytku pidsystem morskoi transportnoi industrii. Monohrafiia. Odesa: NU "OMA". 304 s.
4. Mikhajlova, V. (2010). Spad, uvy', prodolzhaetsya. *Porty' Ukrainy'*. Retrieved from: <http://www.blackseatrans.com/article.php?articleID=2323> [in Russian].

5. Shcherbakov, D. Ukrainskie porty': anagomiya rekorda. Retrieved from: http://tbu.com.ua/articles/ukrainskie_porty_anatomii_rekorda.html [in Russian].
6. Ilnytskij, K. (2013). Vse porty i terminaly Chernomoro-Azovskogo bassejna. *Porty Ukrainy*, 2013. No. 3. S. 54–55 [in Russian].
7. Sovershenstvovanie upravleniya morskimi togovymi portami: uchebnoye posobie / Chekalovec V.I., Kolodin A.L., Stolyarov G.P. i dr. Odessa: ONMU, 2002. 142 s. [in Russian].
8. Stepanov, O.N. (2005). Strategicheskoe upravlenie razvitiem morskogo porta: monografiya. Odessa: Astroprint, 324 s. [in Russian].
9. Moryakov, K. (2018). Proekt dlya razvytyya morskoy otrasly [Project for the development of the maritime industry]. *Porty Ukrayny – Ukrainian ports*, No.1 (173), 32–35 [in Russian].
10. Administratsiia morskikh portiv Ukrainy: ofitsiyni sait. Retrieved from: <http://www.uspa.gov.ua/ru/o-predpriyatii/firmennaya-grafika-i-reklamnye-materialy-prezentatsii> [in Ukrainian].
11. Ilnytskyi, D.O. (2017). Poshuk idealnoi modeli transportno-tekhnologichnoi systemy portu: kompetentnisnyi vymir / D.O. Ilnytskyi, S.H. Zinchenko. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriiia Ekonomika*. Odesa, T. 22. Vyp. 5 (58). S. 87–97 [in Ukrainian].
12. Transportuvannianafty, naftoproduktiv ihazu: navchalnyy posibnik / L.N. Shyrin, O.V. Denyshchenko, S.Ie. Bartashevskiy, Ye.A. Koroviaka, V.O. Rastsvietaiev. M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. tekhn. un-t "Dniprovska politekhnika". Dnipro: NTU "DP", 2019. 203 s. [in Ukrainian].
13. Shyba, O.A. (2016). Vzaiemozviazok rozvytku transportnoi infrastruktury ta ekonomichnoho zrostannia. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia "Mizhnarodni vidnosyny"*. 2016. No. 39. S. 286–296 [in Ukrainian].
14. Kolehayev, I.M. (2017). Pryntsypy konkurentnoho rozvytku spetsializovanoho sudnoplavstva hlobal'noyi mors'koyi industriyi [Principles of competitive development of specialized shipping of the global maritime industry]. Odessa: NU "OMU", 332 [in Ukrainian].
15. Vadaturskiy, A. (2019). V Ukraine net problemy perevalivat' ob'yem eksporta v 60 mln. ton [In Ukraine there is no problem to transship the export volume of 60 million tons]. *Porty Ukrayny – Ukrainian ports*, No. 6, 9–13 [in Russian].

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 005.4:519.876.2

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.02>

ФРЕЙМОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТІВ ПРОЄКТУ ЕКОЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Т.А. Ковтун

к.т.н., доцент,

доцент кафедри «Управління логістичними системами та проектами»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5410-4783

Анотація

Вступ. Зміна світогляду людства та перехід до концепції сталого розвитку потребують застосування сучасних моделей в управлінні проектами екологічних систем, що відповідають вимогам зменшення екодеструктивного впливу на довкілля. Необхідність урахування та ліквідації негативних наслідків функціонування екологічної системи призвела до потреби подовження життєвого циклу проекту за рахунок введення додаткових еколого-орієнтованих фаз. Кожна фаза життєвого циклу проекту екологічної системи закінчується отриманням певного продукту. Між продуктами різних фаз проекту екологічної системи простежується залежність, оскільки від характеристик одних продуктів залежать властивості інших. **Мета статті** полягає в побудові моделей та мережі продуктів проекту екологічної системи, що відображають зміст та конфігурацію продуктів проекту. **Результати.** Конфігурація продуктів фаз життєвого циклу проекту полягає в представленні їх сумісної структури з визначенням причинно-наслідкових зв'язків між характеристиками, що визначають зміст продуктів. Відобразити інформацію стосовно змісту та конфігурації продуктів проекту можна завдяки використанню інструментарію теорії штучного інтелекту (моделювання подання знань). Фреймове моделювання змісту та конфігурації продуктів фаз проекту екологічної системи необхідно проводити в три етапи: 1. Виявити абстрактні поняття предметної галузі проекту, а саме продукти фаз проекту та пов'язані з ними інформаційно явища, об'єкти, процеси і т.п., та представити їх у вигляді фреймів-прототипів продуктів фаз проекту. 2. Описати конкретні об'єкти предметної галузі у вигляді фреймів-екземплярів продуктів фаз проекту, що відобразатимуть зміст продуктів проекту. 3. Визначити зв'язки між домінуючими та рецесивними продуктами фаз проекту екологічної системи та створити мережу фреймів, яка відобразить конфігурацію продуктів проекту. **Висновки.** Врахувати екодеструктивний вплив на довкілля можна завдяки включенню до життєвого циклу проекту екологічної системи, крім основних: переінвестиційної, інвестиційної та експлуатаційної, еколого-орієнтованих фаз: регенеративної та ліквідаційної. Кожній

фазі відповідає отримання певного продукту, характеристики якого формують зміст продукту. Між продуктами фаз життєвого циклу проекту екологічної системи спостерігаються зв'язки, що впливають на конфігурацію продуктів. Визначити зміст продуктів фаз проекту пропонується за допомогою фреймових моделей продуктів, а конфігурацію продуктів – відобразити фреймовою мережею. Застосування фреймового моделювання дасть змогу врахувати специфічні особливості продуктів фаз життєвого циклу проекту екологічної системи та в подальшому дослідженні створити оптимальні ланцюги продуктів.

Ключові слова: проект екологічної системи, продукти фаз життєвого циклу проекту, зміст продуктів, конфігурація продуктів.

FRAME MODELS OF THE ECOLOGICAL SYSTEM PROJECT

T.A. Kovtun

Ph.D., Associate Professor,

Associate Professor at the Department "Logistic Systems and Projects Management",

Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-5410-4783

Summary

Introduction. Changing the worldview of mankind and the transition to the concept of sustainable development require the use of modern models in the project management of ecological systems that meet the requirements of reducing eco-destructive impact on the environment. The need to take into account and eliminate the negative consequences of the environmental system functioning has led to the need to extend the life cycle of the project through the introduction of additional environmentally-oriented phases. Each phase of the life cycle of an environmental system project ends with the receipt of a specific product. There is a dependence between the products of different phases of the ecological system project, because the properties of some depend on the characteristics of some products. **The purpose** of the article is to build models and a network of products of the ecological system project, which reflect the content and configuration of the project products. **Results.** The configuration of the project life cycle phases products is to present their compatible structure with the definition of causal relationships between the characteristics that determine the content of products. It is possible to display information about the content and configuration of the project products through the use of artificial intelligence theory tools (modeling the representation of knowledge). Frame modeling of the content and configuration of the product phases of the project of the ecological system should be carried out in three stages: 1. Identify abstract concepts of the subject area of the project, namely the products of the project phases and related information phenomena, objects, processes, etc. and present them in the form of prototype frames of the project phases products. 2. Describe the specific objects of the subject area in the form of frames-copies of the project phase products, which will reflect the content of the project products. 3. Identify the links between the dominant and recessive products of the project phases of the environmental system and create a network of frames that will reflect the configuration of the project products. **Conclusions.** It is possible to take into account the eco-destructive impact on the environment due to the inclusion in the life cycle of the ecological sys-

tem project in addition to the main ones: reinvestment, investment and operational, ecologically-oriented phases: regenerative and liquidation. Each phase corresponds to the receipt of a specific product, the characteristics of which form the content of the product. There are links between the products of the ecosystem project life cycle phases that affect the configuration of the products. It is offered to define the maintenance of products of phases of the project by means of frame models of products, and to display a configuration of products by a frame network. The application of frame modeling will allow to take into account the specific features of the products of the life cycle phases of ecological system project and, in further research, to create optimal product chains.

Key words: *ecological system project, products of project life cycle phases, product content, product configuration.*

Постановка проблеми

Сучасною вимогою до створення та функціонування логістичних систем у світі парадигми сталого розвитку людства є врахування екодеструктивного впливу системи та результатів її діяльності на стан довкілля. Запобігання та ліквідація наслідків негативного впливу потребує застосування сучасних підходів, зокрема проєктного, до управління екологістичними системами.

Проєктний підхід передбачає поділ життєвого циклу проєкту на фази – періоди часу, що характеризуються отриманням певного проміжного результату проєкту, яким можуть виступати продукти фаз проєкту [1]. Необхідність урахування та ліквідації негативних наслідків функціонування екологістичної системи призвела до потреби подовження життєвого циклу проєкту за рахунок введення додаткових еколого-орієнтованих фаз.

Між продуктами окремих фаз проєкту встановлюються зв'язки, оскільки власності одних продуктів впливають на характеристики інших, таким чином узгоджується конфігурація продуктів фаз проєкту. Відобразити зміст продуктів та їх конфігурацію можна в моделі продуктів проєкту екологістичної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання управління конфігурацією відображені в міжнародних та національних стандартах, дослідження яких дозволило зробити висновок, що управління конфігурацією в них розглядається як на рівні проєктів, так і на рівні продуктів. Аналіз стандартів [2–4] показав, що стандарти з управління конфігурацією не розглядають питання управління конфігурацією проєктів, а зосереджуються на управлінні конфігурацією продукції. У стандартах [5–6] розглядаються питання управління конфігурацією проєктів, які нерозривно пов'язані з управлінням конфігурацією продуктів.

У дослідженнях сучасних науковців також простежується зв'язок між конфігурацією проєктів та продуктів. У роботі [7] відзначається, що управління конфігурацією дозволяє досягти високого ступеня узгодженості проєкту. У роботі [8] вказується, що управління конфігурацією проєкту підтримує інтеграцію взаємозалежних об'єктів: продукту проєкту, проєкту та його оточення протягом життєвого

циклу. Питання узгодження конфігурацій систем-продуктів та їх проєктів висвітлено в роботі [9]. Запропоновано застосування факторного аналізу для управління конфігурацією проєктів у роботі [10]. У цих наукових дослідженнях основна увага приділена управлінню конфігурацією проєктів та її зв'язку з конфігурацією продуктів. Оскільки проєкт має проміжні результати, необхідно дослідити питання створення конфігурації між продуктами фаз життєвого циклу проєкту, що не відображається у вищеперелічених роботах.

Управління конфігурацією проєкту неможливо розглядати без урахування управління змістом проєкту. У Керівництві до Зводу знань з управління проєктом (6-те видання) розрізняється зміст проєкту та зміст продукту проєкту [6]. Питання застосування моделей та методів управління змістом проєкту досліджується в роботах [11–17]. Модель визначення змісту та метод моніторингу якості продукту запропонована в роботі [11]. У роботі [12] запропоновано доповнити наявні методології управління проєктами процесом оптимізації змісту проєкту. Двокритеріальна оптимізація змісту проєкту у разі обмежень на якість продукту представлена в [13]. Оптимізація змісту проєкту за критеріями прибутку, час, вартість, якість, ризики здійснюється в [14]. Модель та метод багатокритеріальної оптимізації змісту проєкту у разі нечітких вхідних даних представлені в [15]. Моделі та методи управління змістом інвестиційних проєктів з виробництва продукції представлені в [16].

Останнім часом для прийняття управлінських рішень в управлінні проєктами все частіше застосовується сучасний інструментарій, зокрема, теорії розпізнавання образів, а саме фреймове моделювання. У роботі [17] фрейм виділяється як один з основних інструментів поведінкової економіки. Здійснюється побудова біадаптивної системи управлінської системи проєктно-орієнтованого підприємства з використанням продукційних моделей і фреймів у [18]. У цих роботах не приділяється достатня увага моделюванню результатів проєктної діяльності – продуктів проєктів.

Метою статті є побудова моделей та мережі продуктів проєкту екологістичної системи, що відображають зміст та конфігурацію продуктів проєкту. Для досягнення поставленої мети поставлені такі завдання:

1. Визначити специфічні особливості структури фреймових моделей продуктів проєкту екологістичної системи.

2. Виявити зв'язки між параметрами продуктів проєкту екологістичної системи та відобразити їх з допомогою фреймової мережі продуктів.

Виклад основного матеріалу

За змістовою сутністю життєвий цикл проєкту екологістичної системи пропонується поділяти на передінвестиційну, інвестиційну, експлуатаційну, регенеративну та ліквідаційну фази. Кожна фаза проєкту закінчується отриманням певного результату – продукту: передінвестиційна фаза – документально оформленого проєкту екологістичної системи; інвестиційна фаза – екологістичної системи в матеріальному уявленні; експлуатаційна фаза – комплексу логістичних послуг з просування прямих матеріальних та супутніх потоків; регенеративна

фаза – комплексу логістичних послуг з просування зворотних рециклінгово-утилізаційних та супутніх потоків; ліквідаційна фаза – комплексу дій з відновлення, оздоровлення екосистеми (рис. 1).

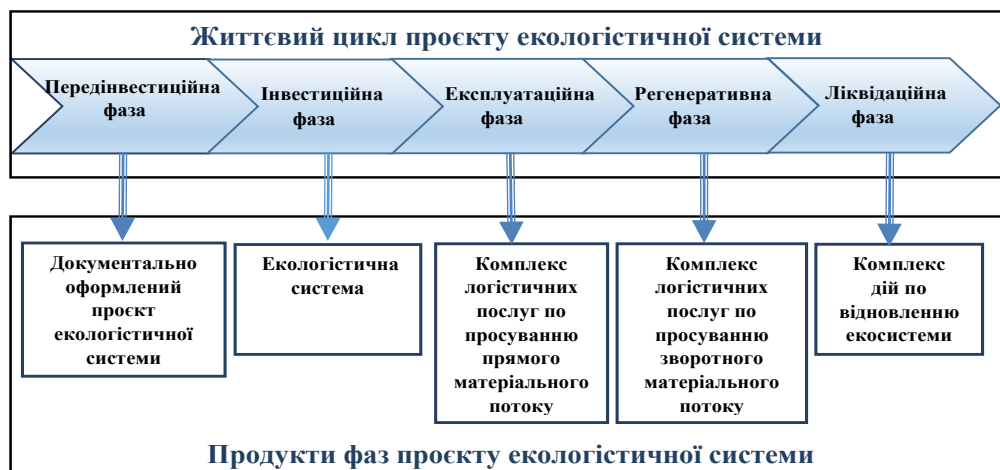


Рис. 1. Модель життєвого циклу та продуктів проєкту екологістичної системи
Джерело: власна розробка автора

У стандарті “A Guide to the Project Management Body of Knowledge” (Sixth Edition) під змістом продукту проєкту розуміються властивості та функції, які характеризують продукт, послуги або результат [6]. У стандарті “Military Handbook. Configuration Management Guidance” конфігурація (configuration) представлена як структура пред’явленого до розробки, такого, що розробляється, або існуючого виробу, що володіє функціональними, фізичними та експлуатаційними властивостями (характеристиками), які відповідають встановленим вимогам, відображається в різних інформаційних моделях, що відповідають стадіям життєвого циклу цього виробу [3]. Відповідно до наведених визначень можна стверджувати, що конфігурація продуктів фаз життєвого циклу проєкту полягає в представленні їх сумісної структури з визначенням причинно-наслідкових зв’язків між характеристиками, що визначають зміст продуктів.

Відобразити інформацію стосовно змісту та конфігурації продуктів проєкту можна завдяки використанню інструментарію теорії штучного інтелекту (моделювання подання знань). Фреймове моделювання змісту та конфігурації продуктів фаз проєкту екологістичної системи необхідно проводити в три етапи:

1. Виявити абстрактні поняття предметної галузі проєкту, а саме продуктів фаз проєкту та пов’язаних з ними інформаційно явищ, об’єктів, процесів і т.п., та представити їх у вигляді *фреймів-прототипів* продуктів фаз проєкту.

2. Описати конкретні об’єкти предметної галузі у вигляді *фреймів-екземплярів* продуктів фаз проєкту, що відобразатимуть *зміст продуктів проєкту*.

3. Визначити зв’язки між домінуючими та рецесивними продуктами фаз проєкту екологістичної системи та створити мережу фреймів, яка відобразить *конфігурацію продуктів проєкту*.

Термін «фрейм» був запропонований Марвіном Мінським у 1975 році як структура для сприйняття стереотипних ситуацій. Під фреймом (frame – каркас, рамка) прийнято розуміти формалізовану модель для відображення образу, мінімально можливий опис сутності якогось об'єкта, явища, події, процесу, ситуації і т.п., такий, що скорочення цього опису призводить до втрати цієї сутності. Мінський дав таке визначення фрейму: «одиниця інформації, що запам'яталась у минулому, деталі якої за необхідності можуть бути змінені відповідно до поточної ситуації» [19]. З кожним фреймом асоційована інформація різних видів. Наприклад, у роботі [20] пропонується поділяти таку інформацію на три частини: перша вказує, яким способом необхідно використовувати такий фрейм, друга – що приблизно може спричинити за собою його виконання, третя – що слід зробити, якщо очікування не підтвердяться.

У загальному випадку фрейм має такі складники: ім'я фрейму, ім'я слота, показники успадкування, тип даних слота, значення слота, приєднана процедура (демон).

Ім'я фрейму – унікальний ідентифікатор фрейму.

Ім'я слота – унікальний у межах фрейму ідентифікатор атрибута сутності, наділений певною семантикою.

Показники успадкування характерні для ієрархічних систем фреймів, що базуються на принципі «абстрактне – конкретне» та визначають правила заповнення слота: default – за замовчуванням від фрейму-прототипу, a kind of (АКО) – через спадковість від батьківського фрейму, override – у разі необхідності може змінюватись, unique – унікальне, range – в межах, указаних у фреймі-прототипі.

Тип даних слота визначається як: frame – фрейм, real – дійсне число, integer – ціле число, boolean – логічний тип, text – фрагмент тексту, list – список, table – таблиця, expression – математичний вираз, lisp – приєднана процедура.

Значення слота повинне відповідати типу даних та правилу успадкування.

Набір *приєднаних процедур* визначає поведінку фреймів. Приєднана процедура може запускатись автоматично у разі виконання певної умови – демона: if-removed – якщо видалено, if-added – якщо додано, if-needed – на вимогу, if-default – за замовчуванням.

Фрейм продукту фази проекту має певну структуру та складається з елементів – слотів (характеристик, атрибутів, властивостей, параметрів), в яких відображаються характеристики фрейму – конкретна інформація, що стосується змісту продукту. Фрейм продукту можна описати таким кортежем:

$$F = \langle N, I, S, R \rangle, \quad (1)$$

де N – ім'я фрейму (продукту фази проекту),

I – підмножина слотів $I = \{x_1; \dots; x_i; \dots; x_I\}$, ($i = \overline{1; I}$), які містять інформацію про загальні характеристики, що відображають зміст продукту та визначають декларативну семантику фрейму, успадковану від батьківського фрейму;

S – підмножина слотів $S = \{x_1; \dots; x_s; \dots; x_S\}$, ($s = \overline{1; S}$), які містять інформацію про специфічні характеристики, що відображають зміст продукту та визначають декларативну семантику фрейму, характерну для такого фрейму;

R – підмножина слотів $R = \{x_1; \dots; x_r; \dots; x_R\}$, ($r = \overline{1; R}$), які забезпечують зв'язки з іншими фреймами продуктів та дозволяють створити конфігурацію продуктів і визначають поведінковий складник.

Множина параметрів фрейму утворюється в результаті об'єднання підмножин слотів

$$X = I \cup S \cup R. \quad (2)$$

Формування множини параметрів $X^f = \{x_{I_1}^f; \dots; x_{I_f}^f; x_{S_1}^f; \dots; x_{S_f}^f; x_{R_1}^f; \dots; x_{R_f}^f\}$, ($f = \bar{1}; \bar{F}$), що характеризують продукт фази f життєвого циклу проекту, є евристичною операцією та залежить від необхідного обсягу інформації про продукт для адекватного управління змістом продукту та змістом проекту.

Залежно від обсягу інформації, що відображає зміст фрейму, їх поділяють на:

- фрейми класи – фрейм вищого рівня для фреймів прототипів, що описують класи сутностей;
- фрейми-зразки (прототипи, протофрейми) – шаблони для опису сутностей, які мають загальну структуру та поведінку (наприклад, фрейм-прототип продукту фази проекту);
- фрейми-екземпляри – реалізація фрейму, що відображає конкретні сутності, явища, процеси тощо (наприклад, фрейм-екземпляр продукту фази проекту) (табл. 1).

Таблиця 1

Типи фреймів за інформаційним навантаженням у проекті

| Тип фреймів | Характеристика фреймів | Слоти фрейму | Інтерпретація фреймів у проекті | Приклад фрейму в проекті |
|-------------------|---|--|--|--|
| Фрейми-прототипи | Шаблони для опису абстрактних сутностей, які мають загальну структуру та поведінку. | Характеристики (параметри) фрейму без конкретних значень. | Відображають знання про загальні поняття в проекті. | Фаза проекту, продукт фази проекту, процес, операція, подія, ситуація ризику. |
| Фрейми-екземпляри | Реалізація фрейму, що відображає конкретні об'єкти, явища, ситуації, процеси тощо. | Характеристики (параметри) з конкретними значеннями та відповідними процедурами. | Відображають знання про конкретні поняття в проекті. | Продукт інвестиційної фази проекту екологістичної системи, рециклінговий циркулярний процес. |

Джерело: власна розробка автора

Фрейм-прототип є основою для створення фрейму-екземпляра продукту конкретної фази проекту екологістичної системи. Для продукту інвестиційної фази проекту екологістичної системи фрейм-екземпляр представлений у таблиці 2.

Модель фрейму може залежно від змістового наповнення відображати інформацію через фрейми-об'єкти (наприклад, фрейм продукту інвестиційної фази проекту), фрейми-ролі (наприклад, фрейм інвестора проекту), фрейми-операції (наприклад, фрейм процесу планування), фрейми-сценарії (наприклад, фрейм ланцюга продуктів проекту), фрейми-ситуації (наприклад, фрейм ризику недофінансування проекту) (табл. 3).

Фрейм є універсальною інформаційною структурою, яка не тільки зберігає необхідну інформацію про характеристики об'єкта, явища або процесу, що досліджується, але й відображає зв'язки між ними та іншими інформаційними об'єктами. Такі властивості фреймів дають змогу створити *мережу фреймів*, в якій враховуватимуться взаємозв'язки між елементами, що є адекватним інструментом для відображення *конфігурації продуктів фаз проекту екологістичної системи*.

Таблиця 2

**Фрейм-екземпляр продукту інвестиційної фази
проекту екологістичної системи (фрагмент)**

| Ім'я фрейма | Продукт інвестиційної фази – екологістична система (АКО Продукт фази проекту екологістичної системи) | | |
|--|---|------------------|----------------------------|
| Ім'я слота | Значення слота | Тип слота | Приєднана процедура |
| Проект | Створення екологістичної системи | frame | |
| Фаза проекту | Інвестиційна | frame | |
| Кількість учасників логістичного ланцюга | Сума учасників прямого та зворотного ланцюга | expression | |
| Кількість учасників прямого логістичного ланцюга | 5 | integer | |
| Учасники прямого логістичного ланцюга | Постачальник ресурсів, виробник деталей, виробник продукції, постачальник послуг, споживач/користувач | list | |
| Учасник прямого логістичного ланцюга № 1 | Постачальник ресурсів | frame | |
| Учасник прямого логістичного ланцюга № 2 | Виробник деталей | frame | |
| Учасник прямого логістичного ланцюга № 3 | Виробник продукції | frame | |
| Учасник прямого логістичного ланцюга № 4 | Постачальник послуг | frame | |
| Учасник прямого № 5/зворотного ланцюга | Споживач/користувач | frame | |
| Кількість учасників зворотного логістичного ланцюга | Сума учасників зворотного ланцюга | expression | |
| Учасники зворотного логістичного ланцюга | Споживач/користувач, центр збору, центр розбору, центр ремонту, центр утилізації | list | |
| Учасник зворотного логістичного ланцюга № 1 | Центр збору | frame | if added |
| Учасник зворотного логістичного ланцюга № 2 | Центр ремонту | frame | if added |
| Учасник зворотного логістичного ланцюга № 3 | Центр утилізації | frame | if added |
| Кількість циркулярних процесів | Сума циркулярних процесів | integer | |
| Циркулярний процес № 1 | recycle (рециклінг, переробка) | frame | if added |
| Циркулярний процес № 2 | refurbish (оновлення, ремонт) | frame | if added |
| Циркулярний процес № 3 | remanufacture (оновлення, модифікація) | frame | if added |
| Циркулярний процес № 4 | repurpose (переорієнтація) | frame | if added |
| Циркулярний процес № 5 | repair (ремонт, виправлення) | frame | if added |
| Циркулярний процес № 6 | reuse (повторне використання) | frame | if added |
| Продукт експлуатаційної фази, параметри якого впливають на екологістичну систему | Комплекс логістичних послуг з просування прямого матеріального потоку | frame | |
| Продукт регенеративної фази, параметри якого впливають на екологістичну систему | Комплекс логістичних послуг з просування зворотного матеріального потоку | frame | |
| Вхідні ресурси | Матеріальні, інформаційні, фінансові | list | |
| Вхідні матеріальні ресурси | Сировина | frame | |
| Відходи | Шкідливі та нешкідливі відходи | list | |
| Вторинні ресурси | Вторинна сировина | frame | |

Джерело: власна розробка автора

Таблиця 3

Типи фреймів за змістовим наповненням у проєкті

| Тип фреймів | Характеристика фреймів | Слоти фрейму | Інтерпретація фреймів у проєкті | Приклад фрейму в проєкті |
|-----------------|---|--|--|---|
| Фрейми-об'єкти | Відображають об'єкти, поняття, явища (абстрактні та конкретні) предметної галузі проєкту. | Характеристики (параметри) об'єктів (понять, явищ). | Відображають елементи змісту проєкту, основні поняття та складники проєкту. | Життєвий цикл проєкту, фаза життєвого циклу, продукт фази проєкту, ресурсний потенціал проєкту. |
| Фрейми-ролі | Відображають типову роль, що виконує фрейм-об'єкт за певних обставин. | Характеристики (параметри) ролі, що виконують об'єкти. | Відображають ролі зацікавлених осіб проєкту, учасників команди, виконавців проєкту. | Учасник проєкту, замовник проєкту, інвестор, керівник команди проєкту. |
| Фрейми-ситуації | Відображають типові ситуації, в яких можуть знаходитись фрейми-об'єкти та фрейми-ролі або події, в які вони можуть потрапити. | Характеристики (параметри), що ідентифікують ситуацію або подію. | Відображають ситуації, що заплановано виникають або можуть виникнути в проєкті. | Вехова подія проєкту, ситуація ризику в проєкті. |
| Фрейми-операції | Відображають різноманітні процеси об'єктів предметної галузі. | Характеристики (параметри) процесу або його складників. | Відображають процеси (управлінські та операційні) проєкту та їх складники (функції, операції, роботи). | WBS-структура, пакет робіт, процес управління проєктом, логістичний бізнес-процес. |
| Фрейми-сценарії | Відображають динаміку розвитку ситуації, типову структуру події, дії. | Характеристики (параметри), що забезпечують розвиток системи за таким сценарієм. | Відображає альтернативні шляхи розвитку проєкту. | Варіант фінансування проєкту, ланцюг продуктів проєкту. |

Джерело: власна розробка автора

Між продуктами фаз проєкту екологістичної системи спостерігаються взаємозв'язки, які відображають залежність характеристик одних продуктів (*рецесивних*) від властивостей інших (*домінуючих*). Формування продуктів проєкту у часі є результатом виконання впорядкованої послідовності робіт кожної фази проєкту та здійснюється, починаючи з передінвестиційної та закінчуючи ліквідаційною фазою. З точки зору процесу цілепокладання у разі розробки проєкту послідовність формування параметрів продуктів має протилежну направленість та здійснюється, починаючи з продуктів експлуатаційної та регенеративної фази, а закінчується продуктом передінвестиційної фази.

Продукт експлуатаційної фази – комплекс послуг з просування прямого матеріального потоку генерує продукт регенеративної фази – комплекс послуг з просування зворотного матеріального потоку. Від характеристик прямого матеріального потоку (обсягів та складу продукту; властивостей речовин, з яких складається продукт; строку споживання та можливості вторинного використання тощо) залежать характеристики зворотного рециклінго-утилізаційного потоку (обсяги, склад, інтенсивність потоку, рециклінгові процеси, які можливо задіяти, та ін.). Також він впливає на склад учасників та структуру екологістичної системи (її прямої лінійної ділянки).

На характеристики продукту інвестиційної фази впливає продукт регенеративної фази – комплекс послуг з просування зворотного матеріального потоку. Сама ж екологістична система продукує продукт ліквідаційної фази – комплекс дій з ліквідації негативних наслідків створення та функціонування екологістичної системи й відновлення екосистеми.

Характеристики всіх фаз проекту екологістичної системи повинні бути відображені в документально оформленому проекті та впливати на тривалість проекту, обсяг робіт, що має бути виконаний на кожній фазі проекту, їх бюджет та загальну ефективність проекту тощо.

Фреймова мережа продуктів фаз проекту представлена на рисунку 2.

Зв'язок між фреймами продуктів фаз проекту відображається завдяки підмножині слотів $R = \{x_1; \dots; x_r; \dots; x_R\}$, ($r = \overline{1; R}$), основним завданням елементів якої є врахування змін у змісті рецесивного продукту під впливом змін у змісті домінуючого продукту та створення конфігурації продуктів проекту. Таку конфігурацію можна вважати базовою та застосовувати її у подальшому моніторингу стану проекту протягом усього життєвого циклу.

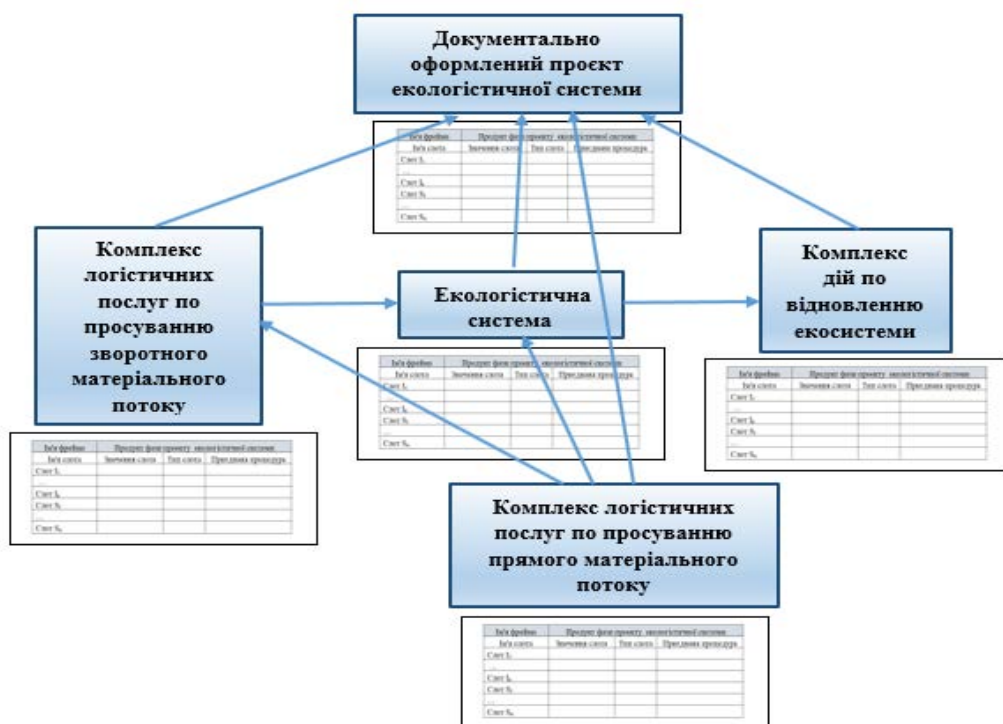


Рис. 2. Фреймова мережа продуктів фаз проекту екологістичної системи
Джерело: власна розробка автора

Висновки

Врахувати екодеструктивний вплив на довкілля можна завдяки включенню до життєвого циклу проекту екологістичної системи, крім основних: переінвестицій-

ної, інвестиційної та експлуатаційної, еколого-орієнтованих фаз: регенеративної та ліквідаційної. Кожній фазі відповідає отримання певного продукту, характеристики якого формують зміст продукту. Між продуктами фаз життєвого циклу проекту екологістичної системи спостерігаються зв'язки, що впливають на конфігурацію продуктів. Визначити зміст продуктів фаз проекту пропонується за допомогою фреймових моделей продуктів, а конфігурацію продуктів – відобразити фреймовою мережею. Застосування фреймового моделювання дасть змогу врахувати специфічні особливості продуктів фаз життєвого циклу проекту екологістичної системи та в подальшому дослідженні створити оптимальні ланцюги продуктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковтун Т.А. Методический подход к принятию управленческих решений по инициализации продуктов проекта транспортного предприятия. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2007. № 2. С. 145–157.
2. ISO 10007. Quality management. Guidelines for configuration management. International Organization for Standardization. 1995. 14 p.
3. MIL-HDBK-61. Military Handbook. Configuration Management Guidance. USA. Department of Defense. 1997. 221 p.
4. ГОСТ Р. ISO 10007:2003. Менеджмент организации. Руководящие указания по управлению конфигурацией. Москва, 2007. 12 с.
5. Practice Standard for Project Configuration Management. Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newton Square, PA 19073-3299 USA. 2007. 53 p.
6. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK). Six Edition. USA. PMI, 2017. 574 p.
7. Рудницкий С.И. Разработка модели обобщенного процесса управления конфигурацией в управлении сложными проектами. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. № 2/3(74). С. 15–25.
8. Морозов В.В., Рудницкий С.И. Концептуальная модель процесса управления конфигурацией в проектах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013, ч. 3. № 1/10 (61). С. 187–193.
9. Сидорчук О.В., Ратушний Р.Т., Щербаченко О.М., Сіваковська О.М. Узгодження конфігурацій систем-продуктів та їх проектів. *Управління розвитком складних систем*. 2016. № 25. С. 58–65.
10. Крап Н.П., Юзевич В.М. Методологія управління конфігурацією проектів засобами факторного аналізу. *Управління розвитком складних систем*. 2012. № 12. С. 64–66.
11. Дружинин Е.А., Крицкий Д.Н. Модель определения содержания и метод мониторинга качества продукта проекта создания беспилотной авиационной техники. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2015. № 1 (53). С. 63–72.
12. Кононенко И.В., Колесник М.Э., Лобач Е.В. Процесс многокритериальной оптимизации содержания проекта при использовании методологии PMBoK. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія «Стратегічне управління,*

- управління портфелями, програмами та проектами*». Харків, НТУ «ХПІ». 2014. № 2 (1045). С. 11–17.
13. Кононенко І.В., Протасов І.В. Двухкритеріальна оптимізація содержания проекту при ограничениях на качество продукта. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2010. № 5/4 (47). С. 57–61.
 14. Кононенко І.В., Колесник М.Э. Оптимізація содержания проекта по критериям прибыль, время, стоимость, качество, риски. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 1/10 (55). С. 13–15.
 15. Кононенко І.В., Колесник М.Э. Модель и метод многокритериальной оптимізації содержания проекта при нечетких исходных данных. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 1/10 (61). С. 9–13.
 16. Протасов І.В. Моделі і методи управління змістом інвестиційних проектів з виробництва продукції : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.22 «Управління проектами та програмами». Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т». Харків, 2012. 18 с.
 17. Бушуєв С.Д., Бушуєв Д.А., Ярошенко Р.Ф. Управління проектами в умовах «поведінкової економіки». *Управління розвитком складних систем*. 2018. № 33. С. 26–30.
 18. Тімінський О.Г. Моделі взаємовпливу проектної і операційної підсистем проектно-орієнтованого підприємства. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 29. С. 110–115.
 19. Минский М. Фреймы для представления знаний / Пер. с англ. Москва : Энергия. 1979. 152 с.
 20. Шумков Е.А. Фреймовые экспертные системы с использованием нейронных сетей. *Научный журнал КубГАУ*. 2019. № 154 (10). С. 1–7.

REFERENCES

1. Kovtun, T.A. (2007). Metodicheskiy podhod k prinyatiyu upravlencheskih resheniy po initsializatsii produktov proekta transportnogo predpriyatiya. *Upravlinnya proektami ta rozvitok virobnitstva*. 2. 145–157 [in Russian].
2. ISO 10007. (1995). Quality management. Guidelines for configuration management. International Organization for Standardization. 14 p.
3. MIL-HDBK-61. (1997). Military Handbook. Configuration Management Guidance. USA. Department of Defense. 221 p.
4. GOST R. ISO 10007:2003. (2007). Menedzhment organizatsii. Rukovodyaschie ukazaniya po upravleniyu konfiguratsiey. Moskva. 12 p. [in Russian].
5. Practice Standard for Project Configuration Management. (2007). Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newton Square, PA 19073-3299 USA. 53 p.
6. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK). Six Edition. (2017). USA. PMI. 574 p.

7. Rudnitskiy, S.I. (2015). Razrabotka modeli obobschennogo protsessa upravleniya konfiguratsiyey v upravlenii slozhnyimi proektami. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tekhologiy*. 2/3(74). 15–25 [in Russian].
8. Morozov, V.V., Rudnitskiy, S.I. (2013). Kontseptualnaya model protsessa upravleniya konfiguratsiyey v proektah. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tekhologiy*. Ch. 3. 1/10 (61). 187–193 [in Russian].
9. Sidorchuk O.V., Ratushniy R.T., Scherbachenko O.M., Sivakovska O.M. (2016). Uzgodzhennya konfiguratsiy sistem-produktiv ta yih proektiv. *Upravlinnya rozvitkom skladnih sistem*. 25. 58–65 [in Ukraine].
10. Krap, N.P., Yuzevich, V.M. (2012). Metodologiya upravlinnya konfiguratsiyeyu proektiv zasobami faktornogo analizu. *Upravlinnya rozvitkom skladnih sistem*. 12. 64–6. [in Ukraine].
11. Druzhinin, E.A., Kritskiy, D.N. (2015). Model opredeleniya sodержaniya i metod monitoringa kachestva produkta proekta sozdaniya bespilotnoy aviatsionnoy tehniki. *Upravlinnya proektami ta rozvitok virobnitstva*. 1 (53). 63–72 [in Russian].
12. Kononenko, I.V., Kolesnik, M.E. Lobach, E.V. (2014). Protsess mnogokriterialnoy optimizatsii sodержaniya proekta pri ispolzovanii metodologii PMBoK. *Visnik NTU “HPI”. Seriya “Strategichne upravlinnya, upravlinnya portfelyami, programami ta proektami”*. Kharkiv, NTU “KhPI”. 2 (1045). 11–17 [in Russian].
13. Kononenko, I.V., Protasov, I.V. (2010). Dvuhkriterialnaya optimizatsiya sodержaniya proekta pri ogranicheniyah na kachestvo produkta. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tekhologiy*. 5/4 (47). 57–61 [in Russian].
14. Kononenko, I.V., Kolesnik, M.E. (2012). Optimizatsiya sodержaniya proekta po kriteriyam pribyil, vremena, stoimost, kachestvo, riski. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tekhologiy*. 1/10 (55). 13–15 [in Russian].
15. Kononenko, I.V., Kolesnik, M.E. (2013). Model i metod mnogokriterialnoy optimizatsii sodержaniya proekta pri nechetkih ishodnyih danyih. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tekhologiy*. 1/10 (61). 9–13 [in Russian].
16. Protasov, I.V. (2012). Modeli i metodi upravlinnya zmistom investitsiynih proektiv z virobnitstva produktsiyi: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: spets. 05.13.22 “Upravlinnya proektami ta programami”. Nats. aerokosm. un-t im. M.E. Zhukovskogo “Khark. aviats. in-t”. Kharkiv, 18 [in Ukraine].
17. Bushuev, S.D., Bushuev, D.A., Yaroshenko, R.F. (2018). Upravlinnya proektami v umovah “povedinkovoyi ekonomiki”. *Upravlinnya rozvitkom skladnih sistem*. 33. 26–30 [in Ukraine].
18. Timinskiy, O.G. (2017). Modeli vzaemovplivu proektnoyi i operatsiynoyi pidsistem proektno-orientovanogo pidpriemstva. *Upravlinnya rozvitkom skladnih sistem*. 29. 110–115 [in Ukraine].
19. Minskiy, M. (1979). Freymyi dlya predstavleniya znaniy / Per. s angl. Moskva: Energiya. 152 [in Russian].
20. Shumkov, E.A. (2019). Freymovyie ekspertnyie sistemyi s ispolzovaniem neyronnyih setey. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 154 (10). 1–7 [in Russian].

МЕХАНІЗМИ РИЗИКО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ КОНЦЕСІЙНИМИ ПРОЄКТАМИ В МОРСЬКИХ ПОРТАХ

А.В. Шахов¹, В.М. Пітерська², О.І. Шерстюк³, В.М. Боцанюк⁴

¹д.т.н., проректор із навчально-організаційної роботи,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0142-7594

²д.т.н., доцент,
професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-5849-9033

³к.т.н., старший викладач кафедри «Філологія»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0482-2656

⁴аспірант кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6963-8086

Анотація

У рамках реалізації Закону «Про морські порти в Україні» Міністерство інфраструктури України розробило стратегію розвитку морських портів України, що передбачає питання розвитку портової (термінальної) і суміжної (під'їзні залізничні колії, дороги) інфраструктури, а також напрями реформування галузі за рахунок залучення приватних інвестицій шляхом реалізації проєктів державно-приватного партнерства. Концесійні проєкти, на відміну від інших видів державно-приватного партнерства, є найбільш ефективною формою співпраці держави і приватних інвесторів при реалізації стратегій реформування морських торговельних портів. Метою дослідження є розробка механізму ефективного ризико-орієнтованого управління концесійними проєктами, які реалізуються в морських портах України. У роботі встановлені стейкхолдери концесійного проєкту в порту: держава, приватні інвестори, контролюючі органи (адміністрація морських портів, екологічна інспекція, митні, прикордонні органи), трудовий колектив порту, органи місцевої влади, громадяни, портовий бізнес. Встановлено, що реалізація великих інвестиційних проєктів, в тому числі концесійних проєктів, завжди пов'язана зі значною кількістю ризиків. У кожного зі стейкхолдерів концесійного проєкту, реалізованого в порту, існують свої власні цілі. Отже, ризики кожного із учасників проєкту – різні. У роботі представлено механізм знаходження області взаємно допустимих цілей стейкхолдерів концесійного проєкту, реалізованого в морському порту. Визначивши цілі стейкхолдерів концесійного проєкту, запропоновано механізм управління ризиками кожного з учасника проєкту, який дозволяє ідентифікувати ситуації ризику для держави, приватних інвесторів, контролюючих органів, трудового колективу порту, органів місцевої влади, громадян та портового бізнесу. Запропоновано модель управління цільовими показниками стейкхолдерів з урахуванням коефіцієнта вагомості певного показника для конкретного стейкхолдера.

Ключові слова: концесійний проєкт, ризик, морський порт, стейкхолдер, цільовий показник.

**MECHANISMS FOR RISK-ORIENTED MANAGEMENT
OF CONCESSION PROJECTS IN SEAPORTS**

A.V. Shakhov¹, V.M. Pitera², O.I. Sherstiuk³, V.M. Botsaniuk⁴

¹Doctor of Science (Engineering), Vice-Rector for Educational and Organizational Work,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0142-7594

²Doctor of Science (Engineering), Associate Professor,
Professor at the Department “Port Operation and Cargo Works Technology”,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-5849-9033

³PhD (Engineering), Senior Lecturer at the Department “Philology”,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0482-2656

⁴Postgraduate at the Department “Port Operation and Cargo Works Technology”,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6963-8086

Summary

Within the framework of the implementation of the Law “On Seaports in Ukraine”, the Ministry of Infrastructure of Ukraine has developed a strategy for the development of seaports of Ukraine, which provides for the development of port (terminal) and adjacent (access railways, roads) infrastructure, as well as directions for reforming the industry by attracting private investment through implementation of public-private partnership projects. Concession projects, unlike other types of public-private partnerships, are the most effective form of cooperation between the state and private investors in the implementation of strategies for reforming sea trade ports. The purpose of the study is to develop a mechanism for effective risk-oriented management of concession projects implemented in seaports of Ukraine. The work identified the stakeholders of the concession project in the port: the state, private investors, regulatory authorities (seaport administration, environmental inspection, customs, border authorities), the labor collective of the port, local authorities, citizens, port business. The implementation of large investment projects, including concession projects, is always associated with a significant number of risks. Each of the stakeholders of the port concession project has its own specific goals. Consequently, the risks of each of the project participants are different. The paper presents a mechanism for finding the area of mutually acceptable goals of the stakeholders of the concession project being implemented in the seaport. Having determined the goals of the stakeholders of the concession project, a risk management mechanism was proposed for each of the project participants, which allows identifying risk situations for the state, private investors, regulatory authorities, the port’s labor collective, local authorities, citizens and the port business. A model for managing goal indicators of stakeholders is proposed, taking into account the weighting coefficient of a certain indicator for a specific stakeholder.

Key words: concession project, risk, seaport, stakeholder, goal.

Вступ

Концесія державних стивідорних компаній є безпосередньою реалізацією Національної транспортної стратегії, а реалізації пілотних концесійних проєктів

у портах України дозволить прискорити процес залучення інвесторів до реалізації проєктів в інших портах. Крім того, реалізація проєкту передбачає залучення не тільки приватних інвестицій, але також сучасних технологій і рішень в портову галузь, матиме позитивний вплив на транспортну галузь в цілому [1].

Згідно з Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року незадовільний рівень транспортно-логістичних технологій і мультимодальних перевезень знижує конкурентоспроможність транспортної середовища. Для максимального використання географічного положення України як транзитної країни слід терміново вжити заходів у частині забезпечення організації вантажних перевезень між країнами Європи, Азії і Сходу [2].

Необхідне підвищення ефективності та конкурентоспроможності транспортної галузі, вдосконалення правового механізму державно-приватного партнерства, посилення взаємодії між державним і приватним сектором, органами державної влади та органами місцевого самоврядування, проведення необхідних реформ, у тому числі введення децентралізації, особливо шляхом скоординованих ініціатив державної політики. Наведені принципи забезпечать міцну основу сталого розвитку транспортної галузі та створення вільного і конкурентного ринку транспортних послуг [3].

За останні роки порти України стрімко втратили свою частку ринку в вантажообігу.

Як державні підприємства з обмеженим доступом до інвестиційного капіталу, порти України стикаються з таким:

1) потребою значних реінвестицій в наявні активи, щоб зберегти свою здатність обробляти поточні обсяги вантажів. За відсутності коштів для реінвестування можна очікувати, що частка ринку буде втрачена на користь інших терміналів;

2) нові інвестиції необхідні для забезпечення продовження діяльності підприємства, а також для реалізації можливостей, пов'язаних зі зростаючим експортом вантажів, зокрема продуктів переробки зернових;

3) за відсутності реінвестування і збільшення комерційної гнучкості для реагування на виклики ринку порти будуть вимагати фінансової підтримки.

Відповідно до Закону України «Про концесію» концесія – це форма здійснення державно-приватного партнерства, що передбачає надання концесієдавцем концесіонеру права на створення та/або будівництво (нове будівництво, реконструкцію, реставрацію, капітальний ремонт та технічне переоснащення), та/або управління (користування, експлуатацію, технічне обслуговування) об'єктом концесії і/або надання суспільно значущих послуг в порядку і на умовах, визначених концесійним договором, а також передбачає передачу концесіонеру здебільшого операційного ризику, охоплює ризик попиту і/або ризик пропозиції [4].

Міжнародний досвід господарювання в морських портах показує, що серед багатьох джерел фінансування, модернізації та оновлення об'єктів портової інфраструктури концесія є найбільш привабливим інструментом залучення коштів. Концесія передбачає реалізацію суспільно значущих проєктів, при цьому приватне управління предметом концесії є терміновим (від 3 до 50 років) [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Концесійні проєкти як один з інструментів державно-приватного партнерства представляються досить успішним механізмом, що дозволяє враховувати інтереси держави і приватного інвестора [6].

Реалізація концесійних проєктів є одним з ефективних і найбільш застосованих в міжнародній практиці механізмів державно-приватного партнерства. Вони застосовуються, коли в державі не вистачає фінансових, людських, управлінських та інших ресурсів для надання послуг населенню [7; 8].

Крім цього, концесії для держави – спосіб залучення управлінських ресурсів і технологій бізнесу для реалізації пріоритетних задач в масштабах всієї країни, а також зменшення бюджетних витрат [9; 10].

Концесії диференціюються у країнах і в галузях економіки (промисловості). Для деяких країн більше підходить така форма концесій, коли право власності завжди зберігається за державою (Франція). Для інших же можливі варіанти, коли право власності може переходити до приватного інвестору (як в США) [11; 12].

Можливі й змішані форми концесій, за яких право власності зберігається за приватним інвестором до тих пір, поки він використовує об'єкт за призначенням. Як тільки інвестор перестає це робити, об'єкт відчужується на користь держави [13].

Для інвестора вигода концесії полягає не тільки в доступі до традиційно закритих галузей економіки і можливостях зведення інфраструктури, необхідної для укрупнення свого бізнесу (наприклад, будівництво терміналів в порту для інтенсифікації обробки вантажів) [14]. Вигода також полягає в поділі ризиків, а також у досить високих гарантіях повернення коштів. Крім того, в майбутньому у інвестора з'являється можливість отримання регулярних прогнозованих доходів [15].

Державні стратегії та програми, реалізовані в транспортній галузі України і засновані на використанні тільки бюджетних коштів, не дозволяють реалізовувати масштабні стратегічні проєкти в портах. Тому влада країни взяла курс на широке залучення приватних інвестицій і швидкий розвиток державно-приватного партнерства в морських торговельних портах України.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є розробка механізму ефективного ризико-орієнтованого управління концесійними проєктами, які реалізуються в морських портах України.

Виклад основного матеріалу дослідження

Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 року [16], а також Закон України «Про морські порти в Україні» [17] передбачає реформування портової галузі та залучення приватних інвестицій для модернізації та створення об'єктів портової інфраструктури на підставі договорів концесії.

Згідно зі Стратегією напрямки розвитку морських портів повинні визначатися з урахуванням їх основного вантажопотоку і поточної кон'юнктури ринку. Реалізація Стратегії здійснюється шляхом виконання планів розвитку морських портів на коротко-, середньо- та довгострокову перспективу [16].

За час дії Закону «Про концесії» в Україні стартували до реалізації концесійні проєкти – в порту Херсон і Ольвія. Порт Херсон передали в концесію на 30 років, а порт Ольвія – на 35 років. При цьому майно портів залишається в державній власності і після завершення терміну дії концесійних договорів передається державі з усіма об'єктами, побудованими або модернізованими інвестором за період його роботи.

Для держави реалізація концесійних проєктів у порту – це, перш за все, інструмент економічного зростання і підвищення рівня портової конкуренції, а отже, і рівня послуг, що надаються судновласникам і власникам вантажу.

Відповідно до положень техніко-економічного обґрунтування, концесійний проєкт у портах передбачає передачу державного майна приватному партнеру на певний термін із метою здійснення діяльності у сфері будівництва та експлуатації морських портів та їх інфраструктури та взяття певних інвестиційних зобов'язань за об'єктом партнерства.

Реалізація концесійного проєкту в порту має на меті збереження права власності держави на об'єкт концесії, збільшення вартості державних активів за рахунок приватного капіталу, впровадження кращого управлінського досвіду і поліпшення якості послуг для стейкхолдерів концесійного проєкту в порту.

Як стейкхолдерів концесійного проєкту в морському порту будемо розглядати державу, приватного інвестора (концесіонера), органи місцевої влади, трудовий колектив порту, громадян, портовий бізнес, фінансові установи, контролюючі органи.

Участь у концесійних проєктах вимагає ретельного аналізу ризиків і розумного управління ними як із боку концедента, так і з боку концесіонера.

Ризик можна визначити як діяльність, пов'язану з подоланням невизначеності в ситуації неминучого вибору, в процесі якої є можливість якісно і кількісно оцінити ймовірність досягнення передбачуваного результату, невдачі або відхилення від мети [18]. Відповідно до стандарту ISO 31000 ризик – це вплив невизначеності на ціль [19].

Складність ефективної реалізації концесійних проєктів у морських портах України полягає в неузгодженості цілей кожного зі стейкхолдерів проєкту.

Слід зазначити, що під час реалізації концесійних проєктів у порту певний стейкхолдер переслідує свою власну мету, яка часто не узгоджується із цілями інших стейкхолдерів проєкту.

Виходячи із цього, можна говорити про наявність різноманітності ризиків, які для кожного стейкхолдера – різні і не збігаються з ризиками інших учасників концесійного проєкту.

У рамках реалізації концесійного проєкту в порту важливим етапом є розробка механізму знаходження області взаємно допустимих цілей усіх стейкхолдерів проєкту.

Для цього чітко прописуються цілі кожного стейкхолдера концесійного проєкту.

Пропонуються до розгляду наступні цілі стейкхолдерів (табл. 1).

Дані цільові показники є основою для знаходження області взаємно допустимих рішень, які можна буде ефективно реалізувати в морському порту.

Нехай у нас є N стейкхолдерів ($n = 1, 2, \dots, N$) концесійного проєкту. Кількість цільових показників становить M ($m = 1, 2, \dots, M$).

Приймемо в якості β_{nm} – коефіцієнт вагомості m -го показника для n -го стейкхолдера. Коефіцієнт вагомості β_{nm} визначають експертним шляхом виходячи з умов:

$$\sum \beta_{nm} = 1, \quad 0 \quad \forall n = 1, \dots, N; \quad \sum \beta_{nm} = 1, \quad 0 \quad \forall m = 1, \dots, M. \quad (1)$$

Цільова функція:

$$Z = \sum_{n=1}^N (\pm A_m \cdot \beta_{nm}) \rightarrow \max. \quad (2)$$

де A_m – значення цільового показника в результаті успішної реалізації концесійного проєкту в морському порту. При цьому знак «+» ставиться, якщо стейкхолдер концесійного проєкту зацікавився у зростанні цільового показника.

Таблиця 1

Цілі стейкхолдерів концесійного проєкту, що реалізується в морському порту

| Стейкхолдер | Цілі стейкхолдеру концесійного проєкту | | | | |
|-------------------------|--|--|---|--|-----------------------------------|
| Держава | Обсяг вантажопереробки | Рівень продуктивності праці працівників порту | | Рівень податкових надходжень до бюджету | |
| Приватні інвестори | Стабільність соціально-економічної системи держави | Стабільність нормативно-правової системи держави | Стабільність політичної системи держави | Прибуток | Наявність гарантій з боку держави |
| Органи місцевої влади | Рівень податкових надходжень до місцевого бюджету | | | Дотримання архітектурно-будівельних норм | |
| Трудовий колектив порту | Кількість робочих місць | Рівень середньої зарплати | | Рівень технічної безпеки | |
| Контролюючі органи | Рівень дотримання митних формальностей | Рівень дотримання прикордонних формальностей | Рівень портових зборів | Рівень дотримання санітарних формальностей | |
| Громадяни | Екологічна безпека регіону | Відповідність концесійного проєкту соціальним, моральним, історико-архітектурним мотивів населення | | | |
| Портовий бізнес | Час обробки суден | Дотримання інтересів підприємств, що працюють в порту і здійснюють обробку суден і вантажів | | | |

Після визначення цілей усіх стейкхолдерів концесійного проєкту необхідно перейти до управління ризиками кожного зі стейкхолдерів проєкту.

Механізм ефективного розподілу ризиків стейкхолдерів концесійної угоди передбачає, що сумарний ризик, який перекладається на приватного інвестора концесійного проєкту, не повинен перевищувати граничних можливостей його покриття. Також ризик передається тому стейкхолдеру концесійного проєкту, який здатний краще, в порівнянні з іншими стейкхолдерами, запобігати або компенсувати ризики. Сумарний ризик держави повинен враховувати бюджетні обмеження і не повинен включати ризики приватного інвестора.

Оцінка ризиків концесійних проєктів в порту повинна здійснюватися на підставі об'єктивних даних, враховувати цілі кожного з стейкхолдерів.

Отже, в разі наявності J ризиків концесійного проєкту ($j = 1, 2, \dots, J$) для приватного інвестора H має виконуватися умова:

$$\sum_{j=1}^J R_{jH} \leq W_H, \quad (3)$$

де W_H – фінансові можливості приватного інвестора H , призначені для покриття j -го ризику.

За наявності N стейкхолдерів ($n = 1, 2, \dots, N$) концесійного проєкту з фінансовими можливостями для компенсації ризиків W :

$$W_1 > W_2 > \dots > W_N \Rightarrow R_N \rightarrow \dots \rightarrow R_2 \rightarrow R_1. \quad (4)$$

Для держави G при виділеному державному бюджетному фінансуванні V на компенсацію j -го ризику справедливий вираз:

$$\sum_{j=1}^J V_j \geq \sum_{j=1}^J R_{jG}. \quad (5)$$

Механізм розподілу ризиків між стейкхолдерами концесійного проєкту в порту базується на таких принципах:

1) визначити стейкхолдера концесійного проєкту, який краще може контролювати наслідки впливу ризику. Одним із критеріїв цього принципу є можливість страхування ризиків: таким чином, ризики, від наслідків яких можна застрахуватися, рекомендується нести приватному інвестору, а ті, що не можна застрахувати, – залишити державі;

2) визначити стейкхолдера концесійного проєкту, який має більше можливостей управляти процесом настання ризику;

3) визначити стейкхолдера концесійного проєкту, який має можливість усунути наслідки ризику з меншими витратами.

Висновки

Реалізація концесійних проєктів у портах відповідає основній меті Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року, оскільки залучення приватного інвестора дозволить підвищити конкурентоспроможність портової галузі, принести сучасні технології та стандарти портової діяльності, а також збільшити обсяги вантажоперевалки. Застосування механізмів управління ризиками концесійних проєктів у порту є ефективним інструментом розподілу відповідальності і грошових потоків між стейкхолдерами, що створює додаткові стимули для виконання ними своїх зобов'язань.

У роботі запропоновано механізм знаходження області взаємно допустимих цілей усіх стейкхолдерів концесійного проєкту, реалізованого в порту, на підставі управління цільовими показниками стейкхолдерів з урахуванням коефіцієнта вагомості певного показника для конкретного стейкхолдера. Розроблено механізм розподілу ризиків між стейкхолдерами концесійного проєкту, який дозволяє ідентифікувати ситуації ризику для держави і приватних інвесторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shakhov A., Piterska V., Sherstiuk O., Rossomakha O., Rzhenskyy A. Management of the Technical System Operation Based on Forecasting its Aging. *Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020)*. 2020, Slavsko, CEUR Workshop Proceedings, vol. 2565, pp. 130–141.
2. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.
3. Інвестиційний портал Адміністрації морських портів України. URL: <http://investinports.com/concessions/>.
4. Закон України «Про концесію». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/155-20#Text>.
5. Piterska V., Kolesnikov O., Lukianov D., Kolesnikova K., Gogunskii V., Olekh T., Shakhov A., Rudenko S. Development of the Markovian model for the life cycle of a project's benefits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, vol. 5/4(95), pp. 30–39. doi: 10.15587/1729-4061.2018.145252.

6. Ivankevich A., Pitera V., Shakhov A., Shakhov V., Yarovenko V. A Proactive Strategy of Ship Maintenance Operations. *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019)*. 2019, Lviv, pp. 126–129. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929741.
7. Pitera V., Shakhov A., Lohinov O., Lohinova L. The Method of Transfer of Research Project Results of Institution of Higher Education. *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019)*. 2019, Lviv, 2019, pp. 77–80. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929887.
8. Obradović V., Todorović M., Bushuyev S. Sustainability and Agility in Project Management: Contradictory or Complementary? *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. 2018, Lviv, pp. 1–5. doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526666.
9. Pitera V., Rudenko S., Shakhov A. Development of the Method of Forming of the Architecture of the Innovation Program in the System “University-State-Business”. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*. 2018, vol. 7 (4.3), pp. 232–239. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19793.
10. Bomba A., Kunanets N., Nazaruk M., Pasichnyk V., Veretennikova N. Information technologies of modeling processes for preparation of professionals in smart cities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019, vol. 754, pp. 702–712. doi: 10.1007/978-3-319-91008-6_69/.
11. Chaplynska Y., Pitera V. Some economic aspects of franchising in the USA. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2019, vol. 5, pp. 183–188. doi: 10.30525/2256-0742/2019-5-5-183-188/.
12. Bushuyev S., Bushuiev D., Zaprivoda A., Babayev J., Elmas Ç. Emotional infection of management infrastructure projects based on the agile transformation. *Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020)*. 2020, Slavsko, CEUR Workshop Proceedings, vol. 2565, pp. 1–12.
13. Pitera V., Shakhov A., Lohinov O., Lohinova L. The Method of Transfer of Research Project Results of Institution of Higher Education. *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019)*. 2019, Lviv, 2019, pp. 77–80. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929887/.
14. Varbanets R.A., Zalozh V.I., Shakhov A.V., Savelieva I.V., Pitera V.M. Determination of top dead centre location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. *Diagnostyka*. 2020, vol. 1/2020 (21), pp. 51–60. doi: 10.29354/diag/116585/.
15. Pitera V., Shakhov A. Development of the Methodological Proposals for the Use of Innovative Risk-Based Mechanism in Transport System. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*. 2018, vol. 7 (4.3), pp. 257–261. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.20129/.
16. Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 року. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-2013-%D1%80#Text>.

17. Закон України «Про морські порти в Україні». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4709-17#Text>.
18. Bushuyev S.D., Bushuev D.A., Bushuyeva N.S., Kozyr B.Y. Information technologies for project management competences development on the basis of global trends. *Information technology and learning tools*. 2018, vol. 68, No. 6, pp. 218–234. doi: 10.33407/itlt.v68i6.2684.
19. ISO 31000:2018 – Управління ризиками. URL : [https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-31000-2018-\(rus\).pdf](https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-31000-2018-(rus).pdf).

REFERENCES

1. Shakhov, A., Pitera V, Sherstiuk, O., Rossomakha, O., & Rzhenskyi, A. (2020) Management of the Technical System Operation Based on Forecasting its "Aging. Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020), Slavsko, CEUR Workshop Proceedings, 2565, 130-141.
2. National Transport Strategy of Ukraine for the period until 2030 [Natsional'na transportna stratehiya Ukrayiny na period do 2030 roku]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
3. Law of Ukraine "On Concession" [Zakon Ukrayiny «Pro kontsesiyu»]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/155-20#Text> [in Ukrainian].
4. Investment Portal of the Administration of the Sea Ports of Ukraine [Investytsiynyy portal Administratsiyi mors'kykh portiv Ukrayiny]. <http://investinports.com/concessions/> [in Ukrainian].
5. Pitera, V., Kolesnikov, O., Lukianov, D., Kolesnikova, K., Gogunskii, V., Olekh, T., Shakhov, A. & Rudenko, S. (2018) Development of the Markovian model for the life cycle of a project's benefits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/4(95), 30-39. doi: 10.15587/1729-4061.2018.145252
6. Ivankevich, A., Pitera, V., Shakhov, A., Shakhov, V. & Yarovenko, V. (2019) A Proactive Strategy of Ship Maintenance Operations. 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019), Lviv, 126-129. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929741
7. Pitera, V., Shakhov, A., Lohinov, O. & Lohinova L (2019) The Method of Transfer of Research Project Results of Institution of Higher Education. 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019), Lviv, 2019, 77-80. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929887
8. Obradović, V., Todorović, M. & Bushuyev, S. (2018) Sustainability and Agility in Project Management: Contradictory or Complementary? 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, Lviv, 1-5. doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526666
9. Pitera, V., Rudenko, S. & Shakhov, A. (2018) Development of the Method of Forming of the Architecture of the Innovation Program in the

- System "University-State-Business". *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, 7 (4.3), 232–239. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19793
10. Bomba, A., Kunanets, N., Nazaruk, M., Pasichnyk, V. & Veretennikova, N. (2019) Information technologies of modeling processes for preparation of professionals in smart cities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 754, 702-712. doi: 10.1007/978-3-319-91008-6_69
 11. Chaplynska, Y. & Piterska, V. (2019) Some economic aspects of franchising in the USA. *Baltic Journal of Economic Studies*, 5, 183-188. doi: 10.30525/2256-0742/2019-5-5-183-188
 12. Bushuyev, S., Bushuiev, D., Zaprivoda, A., Babayev, J. & Elmas, Ç. (2020) Emotional infection of management infrastructure projects based on the agile transformation. *Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020)*, Slavsko, CEUR Workshop Proceedings, 2565, 1-12.
 13. Piterska, V., Shakhov, A., Lohinov, O. & Lohinova, L. (2019) The Method of Transfer of Research Project Results of Institution of Higher Education. 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019), Lviv, 2019, 77-80. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929887
 14. Varbanets, R.A., Zalozh, V.I., Shakhov, A.V., Savelieva, I.V. & Piterska, V.M. (2020) Determination of top dead centre location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. *Diagnostyka*, 1/2020 (21), 51-60. doi: 10.29354/diag/116585
 15. Piterska, V. & Shakhov, A. (2018) Development of the Methodological Proposals for the Use of Innovative Risk-Based Mechanism in Transport System. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, 7 (4.3), 257–261. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.20129
 16. Strategy for Ukrainian Sea Ports Development until 2038 [Stratehiya rozvytku mors'kykh portiv Ukrayiny na period do 2038 roku]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-2013-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
 17. Law of Ukraine “On Seaports in Ukraine” [Zakon Ukrayiny «Pro mors'ki porty v Ukrayini»]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4709-17#Text> [in Ukrainian].
 18. Bushuyev, S.D., Bushuev, D.A., Bushuyeva, N.S. & Kozyr, B.Y. (2018) Information technologies for project management competences development on the basis of global trends. *Information technology and learning tools*, 68 (6), 218-234. doi: 10.33407/itlt.v68i6.2684
 19. ISO 31000:2018 – Risk Management. [https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-31000-2018-\(rus\).pdf](https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-31000-2018-(rus).pdf)

РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

UDC 51-7:519.171:681.5.017:656.61.052

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.04>

MATHEMATICAL MODELING TRAJECTORY OF A SHIP AS A CONTROL OBJECT IN GLOBAL PLANNING

O.G. Kupraty

Senior Lecturer at the Department “Navigation and Marine Safety”,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3519-504X

Summary

In today's world of wars and pandemics, devices are needed that can control a ship without a human, solve complex navigational tasks, and carry cargo/people to/from the affected area. If it is a warship – to perform a combat mission without loss of personnel. Such devices require conditional classification of scenarios and the formation of global planning tasks in real time. A mathematical model of the global planning task has been elaborated. Changing the trajectory in real time is a change in the route matrix in global planning, which allows to rebuild the matrix of local planning. Each scenario is a coincidence of certain circumstances and conditions; circumstances and conditions are written in the form of programming code. It is proposed to use track matrices for global planning of the ship's trajectory. The binary path matrix (incidence matrix) can vary depending on the operational scenario. There are 4 possible scenarios and a scenario matrix that shows the correlation between the scenario and the waypoints. The proposed elaboration does not contain a conflict of priorities. All global planning scenarios run on time. A sudden scenario is not included in the scenario matrix, but it stops the global planning task. The three-column filter moves the braking unit diagonally in the path matrix depending on the number of missed points and allows the vessel to stop in front of the correct vertex by moving the braking unit diagonally across the path matrix. The control device modifies the trajectory in accordance with the execution of a scenario. The vessel is considered to be a control object which, in accordance with the decision of the control device, changes trajectory and/or stops by active or passive braking. Relevant graphic simulations are presented in the article. Economic efficiency is calculated on the basis of open data on the salaries of the ship's crew.

Key words: global planning, scenario matrix, control device, control object, path matrix, route matrix.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ В ГЛОБАЛЬНОМУ ПЛАНУВАННІ

О.Г. Купратий

старший викладач кафедри «Судноводіння і морської безпеки»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3519-504X

Анотація

У сучасному світі війн та пандемій необхідні пристрої, що здатні виконувати управління судном без людини, розв'язувати складні навігаційні задачі, виконати

перевезення вантажу/людей у/із зони ураження. Якщо це військове судно, – виконати бойову задачу без втрат особового складу. Для таких пристроїв необхідна умовна класифікація сценаріїв та формування завдань глобального планування в реальному часі. Розроблена математична модель завдання глобального планування. Зміна траєкторії у реальному часі – це зміна координатної матриці у глобальному плануванні, що дозволяє перебудувати матриці локального планування; кожний сценарій – це співпадіння певних обставин і умов; обставини і умови прописані у вигляді коду програмування. Пропонується застосувати путьові матриці для глобального планування траєкторії руху судна. Бінарна путьова матриця (матриця інцидентності) може змінюватись залежно від оперативного сценарію. Запропоновано 4 можливі сценарії і матриця сценаріїв, яка показує кореляцію між сценарієм і путьовими точками. Запропонована розробка не містить конфлікту пріоритетів. Усі сценарії глобального планування працюють у визначеному часі. Раптовий сценарій не входить у матрицю сценаріїв, але зупиняє виконання завдання глобального планування. Фільтр, що складається з трьох стовпців, рухає одиницю гальмування по діагоналі в путьовій матриці залежно від кількості пропущених пунктів і дозволяє зупинити судно перед правильною вершиною за рахунок переміщення одиниці гальмування по діагоналі путьової матриці. Управляючий пристрій модифікує траєкторію у відповідності до виконання того чи іншого сценарію. Судно розглядається як об'єкт управління, який відповідно до рішення управляючого пристрою змінює траєкторію і/або зупиняється шляхом активного або пасивного гальмування. Відповідні графічні симуляції представлені у статті. Економічна ефективність розраховується на основі відкритих даних про зарплати команди судна.

Ключові слова: глобальне планування, матриця сценаріїв, управляючий пристрій, об'єкт управління, путьова матриця, координатна матриця.

1. Introduction

The development of the modern transport industry in the world is characterized by the intensification of the use of unmanned vehicles. This is typical for the water transport industry. An important feature is the need to increase the carrying capacity of such vessels, expanding the range of tasks. In today's world of wars and pandemics, devices are needed that can control a ship without a human, solve complex navigational tasks, and carry cargo/people to/from the affected area. If it is a warship – to perform a combat mission without loss of personnel and eliminate unnecessary risks.

The article is devoted to the elaboration of a global planning task for programming the control device that will control the vessel in accordance with the requirements for unmanned vessels [1]. In connection with the above, the topic of the work seems to be relevant.

One of the important tasks of the commercial operation of the vessel is to ensure the possibility of reducing the costs of highly qualified command personnel by increasing the level of automation of the vessel's control. The proposed mathematical model will save the costs of the crew on merchant ships and reduce the loss of human resources on military ships during hostilities.

The formation of a global planning task for modeling the trajectory of a ship is an important step towards the creation of an unmanned ship with the fourth degree of autonomy, according to the classification of MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS) [1]. The fourth degree of autonomy implies making decisions by the control device without human intervention.

2. Analysis of literature data and problem statement

The normative basis for programming the control device is described in the works [1–5]. Modern elaborations should be guided by the report of the Maritime Safety Committee at its hundredth session, annex 2 [1]. Source [1] the classification of unmanned vessels according to the degree of autonomy is given:

“Degree one: Ship with automated processes and decision support: Seafarers are on board to operate and control shipboard systems and functions.

Some operations may be automated and at times be unsupervised but with seafarers on board ready to take control.

Degree two: Remotely controlled ship with seafarers on board: The ship is controlled and operated from another location. Seafarers are available on board to take control and to operate the shipboard systems and functions.

Degree three: Remotely controlled ship without seafarers on board: The ship is controlled and operated from another location. There are no seafarers on board.

Degree four: Fully autonomous ship: The operating system of the ship is able to make decisions and determine actions by itself”. “The aim of the regulatory scoping exercise is to determine how safe, secure and environmentally sound Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) operations might be addressed in IMO instruments. (INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION). The objective of the regulatory scoping exercise on MASS conducted by the Maritime Safety Committee is to assess the degree to which the existing regulatory framework under its purview may be affected in order to address MASS operations” [1].

Source [2] is a code that applies to ship signals and indicators.

Source [3] is a convention consisting of rules for preventing collisions of ships at sea.

Source [4] is a code of general and specific requirements for ship positioning systems.

Source [5] is the International Convention for the Safety of Life at Sea, which governs the construction and operation of a ship from keel laying to decommissioning.

The autopilot system is known from the Japanese patent [6], which allows the operation of the ship’s steering gear to be adapted to the environmental conditions in a way by choosing the control mode. In this patent, on the basis of weather data, the parameters of the steering gear are changed, but constant monitoring by a person on board is required.

From a Chinese patent application [7], a method for optimizing the route of an unmanned vessel based on environmental information is known. Functionally, this design is similar to design [6], but creates a recommended trajectory. This elaboration, like the previous one, has limited functionality and cannot provide the 4th level of ship autonomy [1].

The works [6] and [7] have a significant drawback, which does not allow the ships with such devices to be called autonomous: these devices do not classify operational scenarios in real time and do not form a global planning task.

Work [8] is the elaboration of an unmanned boat, called “Surface robot”. It is a water robot that does not require a human presence to operate and can perform its task autonomously without remote control. It is more suitable for dangerous or routine and repetitive military and civilian tasks such as military strikes (commensurate with

the size of the ship), patrolling, geomorphology, environmental monitoring and rescue operations, but cannot be used to transport goods and people.

Thus, the functionality of existing unmanned vessels does not allow performing complex large-scale tasks on a par with human-driven vessels.

The elaboration outlined in the article will increase the tonnage of commercial unmanned vessels and the size of military unmanned vessels (their striking power as a result). All these models are inferior to the elaboration proposed below already at the modeling stage, since the proposed model classifies possible scenarios and it becomes possible to moor a large unmanned vessel to the berth without tugs.

Works [9–11] are devoted to the accident rate in the fleet. According to statistics, errors in the work of people are the causes of 75–80% of all accidents [9–11]. Human errors are errors that occur when receiving and transforming information, when making and implementing a decision.

The problem statement for the global planning of the ship's movement was to establish a connection between the vertex of the graph and the corresponding scenario, avoiding a conflict of priorities when performing a global planning task in local planning.

Investigating this problem, the possibilities of discrete mathematics were studied [12]. The paper [12] describes the capabilities of discrete mathematics, its basic laws, but no tool is proposed to skip the vertex in the middle of the graph, and there are also no suggestions on how to connect the vertex of the graph with a scenario (some coincidence of conditions and circumstances). The theoretical justification for considering the vessel as a control object is the sources [13; 15–18].

In work [13] a person is defined as a control device, a conceptual separation of a person from control means is made, and a ship is considered as a control object. Also in [13], much attention is paid to the maneuvering characteristics of the ship, their calculation and comparison with the experiment. The integral control system includes a control body (control device) and controls (steering machine, engines, bow thruster, surface and underwater surveillance equipment, etc.) and a control object (ship).

In the work [14] a clear separation of the concept of a program and a device is given.

The work [15] describes the use of sensors for constructing the trajectory of global and local planning.

Work [16] is a high-quality textbook on automation as applied to naval targets, which contains block diagrams of interaction between controls and a ship as a control object.

Work [17] describes the maneuvering of ships in case of divergence, taking into account the minimum specified time for maneuver.

Work [18] contains kinematic models of robotic systems and control algorithms.

Source [19] contains the minimum ITF rates for crew salaries, which are used to calculate the economic efficiency from the introduction of a control device operating on the basis of the elaboration proposed in the article.

Work [20] covers the main provisions of hydromechanics.

3. The aim of elaboration and its tasks

The purpose of the research is to elaborate global planning task for unmanned control of the ship by a control device, to present the elaboration in numerical

and graphic form, which will ensure the safety and economy of resources in the military and merchant marine.

To achieve the aim, the following tasks were set:

- to elaborate a matrix that will connect the graph vertex and the scenario and modification of the path matrix in accordance with the scenarios, avoiding a conflict of priorities;
- to propose a filter that will move the task of passive or active braking and ensure that the vessel stops at the corresponding peak;
- to show graphical simulation in MATLAB environment and in the electronic map of OpenCPN, to assess the safety and economic efficiency of elaboration.

4. Materials and methods used for elaboration

The material for the study was the plans for the passage of ships from one port to another, their passage through straits, narrows, rivers, as well as the maneuvering of ships in limited water areas.

The research methods were numerical and graphic simulation using Microsoft Excel and MATLAB and OpenCPN (USA).

A terminological basis for this article was formed, consisting of terms, the definitions of which were transformed taking into account the subject of research.

Below are the definitions for this article:

- mathematical modeling is a research method consisting of numerical and graphic simulation, used to elaborate mathematical instruments;
- path matrix (MP) – a matrix that represents the connection between the vertices of the ship's track [12];
- route matrix – a matrix consisting of a series of sequential coordinates, coordinates are taken from the control device database;
- active braking – the process of stopping the movement of the vessel by rotating the propeller (screws) in the opposite direction to rotation, which set the vessel in motion, respectively, forward or backward [13];
- passive braking – the process of stopping the movement of the vessel by stopping the rotation of the propeller (screws) to the speed at which the loss of controllability occurs [13];
- a scenario is the coincidence of certain conditions, under which, at a specified time, actions occur that lead to a change in the planned path or movement of the vessel in real time, with the exception of deceleration or acceleration actions that do not affect the vessel's path; at the same time, these scenarios are elaborated in accordance with the International Regulations for the Prevention of Collision of Vessels at Sea (COLREG 1972) and other mandatory international and state regulations, as well as taking into account meteorological data;
- the set time is the minimum time until a probable event to determine the scenario and make a decision in non-emergency mode by changing the global planning task;
- scenario matrix (MS) – a matrix that represents the relationship between points (vertices) of the ship's track and the corresponding scenarios;
- pilot-operator – a person who remotely, using a computer or telephone, downloads input data to a control device that affects the route or movement of the vessel;

- global planning – planning a ship’s route in the water area through the establishment of alternate waypoints as a chain of route vertices nested in a route matrix based on a binary path matrix;
- point B – the destination (final point of the route), which has a berth, anchorage, a ship’s drift, a place of refuge for a ship, or a place of holding the ship’s position using thrusters, the last vertex of the graph;
- a ship, from the point of view of the theory of ship steering and automation, is an object of control;
- from the point of view of hydrodynamics, a ship is a body, the behavior of which depends on draft, stability, size, displacement, hydrodynamic coefficients, external factors, rudder position, characteristics of engines, thrusters and other data [20];
- control device – a device connected to the Internet, programmed for a microcontroller, which can be a computer, smartphone, regulator or navigation robot;
- a sudden scenario is a scenario of active braking with the possibility of changing the direction of the vessel’s movement, initiated through the control device or the pilot-operator, or the shipowner, executed in emergency mode, stopping the execution of the global planning task;
- database – collection of navigation-related data, which is updated via the Internet.

5. Results of the elaboration of the necessary mathematical tools

5.1. Elaboration of the scenario matrix and modification of the path matrix

When modeling the trajectory from point A to point B, the data of the final point B are received from the pilot-operator. The control device converts the information received and builds the trajectory of movement (Fig. 1, 2). The circuit for determining the trail by the control device from the start point A1 to the end point B before transforming it; the final point B sent by the pilot-operator or shipowner is shown in Fig. 1. Conversion of the route from point A1 to point B, taking into account the lines of the safety corridor T1 and T2, which determine the possible range of movement of the vessel is shown in Fig. 2. The scenario matrix in Figure 5 is an absolute innovation and basic mathematical tool for creating a global ship trajectory planning task.

A route matrix represents a matrix of path points in the form of geographic coordinates, where φ is latitude and λ is longitude (Figure 3). The initial binary path matrix for the route from point A1 to point B without any scenarios is shown in Fig. 4.

In the path matrix, “1” shows the movement of the vessel from one point to another, and “-1” shows the impossibility of moving backward, “0” means there is no connection between the points. To increase the automation of ship control and simplify the decision-making algorithm, a matrix of scenarios with 4 different defined scenarios is proposed in case any scenario is not executed at any point. In this case, the MS contains 4 possible scenarios: S1, S2, S3, S4, – modifying the trajectory of the vessel. If even one scenario is not executed, then the scenario matrix consists only of zeros. S1 scenario means passive braking

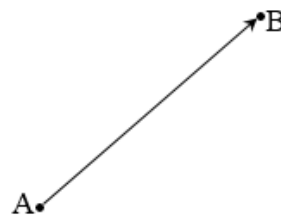


Fig. 1. Scheme for determining the route

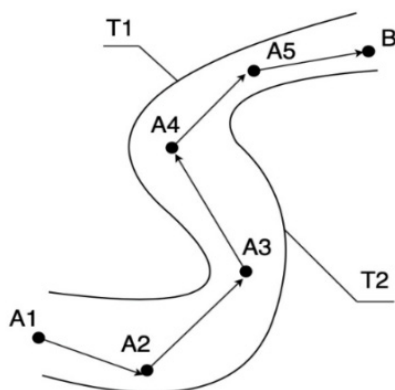


Fig. 2. Scheme of the converted trace

$$\left[\begin{array}{c|c|c|c|c|c} \varphi_{A1} & \varphi_{A2} & \varphi_{A3} & \varphi_{A4} & \varphi_{A5} & \varphi_B \\ \lambda_{A1} & \lambda_{A2} & \lambda_{A3} & \lambda_{A4} & \lambda_{A5} & \lambda_B \end{array} \right]$$

Figure 3. Route matrix

| - | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B |
|----|----|----|----|----|----|---|
| A1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 | -1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A3 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A4 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 |
| A5 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 |

Fig. 4. Initial path matrix

| - | S1 | S2 | S3 | S4 |
|----|----|----|----|----|
| A1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A3 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fig. 5. Scenario matrix (execution of scenario 1 for vertex 3)

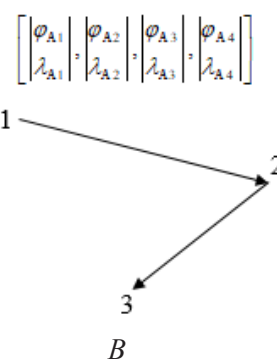
scenario, denoted as “1” in the path matrix. Scenario S2 means active braking scenario, denoted as “-1” in the path matrix. Braking scenarios always take place not at the vertex, but in front of the vertex, at a sufficient distance from the vertex so that the ship could continue to move and make a turn if necessary. For these purposes, in global planning, one more point is shown in the route matrix (Fig.6, b), so that when processing a task in local planning, the control device can calculate the minimum distance to the vertex sufficient to make the corresponding turn if it is necessary to continue the movement after stopping. S3 scenario is a scenario of skipping a planned point (s). S4 scenario means a scenario of active braking and sideways movement (lag movement) at the same time. S4 programming allows you to moor the vessel to the berth without tugs.

Figure 5 – represents a similar matrix of scenarios in case the first scenario S1 is executed in point A3. Figure 6 – represents a diagonal matrix, a graphical illustration of scenario 1 at point 3, built on the basis of the scenario matrix shown in Fig. 5.

The route matrix in Figure 6 changes accordingly.

| - | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B |
|----|----|----|----|----|----|---|
| A1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

A



B

Fig. 6. Illustration of scenario 1 at vertex 3

In Fig. 7 shows the addition of two matrices (the path matrix and the diagonal matrix) into one matrix in the case of passive braking (scenario 1). Passive braking at point A3 is transmitted through “1” in coordinates A3_A3.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Fig. 7. Addition of the path matrix and the diagonal matrix in scenario 1

In Fig. 8 shows the addition of two matrices (path matrix and diagonal matrix) into one in the case of active braking (scenario 2).

Active braking at point A3 is transmitted through “-1” in coordinates A3_A3.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Fig.8. Addition of the path matrix and the diagonal matrix in scenario 2

In Fig. 9, b shows a variant of scenario 3 (skipping point A3). Substitution occurs by moving the vertical A6 Fig. 9, a. The path matrix has been modified to establish a link between the second and fourth point and eliminate all links to the third point, based on the scenario matrix in Fig. 10, in which “1” is at position A3_S3.

Thus, the article proposes a new simple logic for replacing links in the path matrix when skipping a point in the middle of the graph, if the missing point was at the end, then there would be no links with it, as shown in Fig. 9, a. It follows from this that when the missing point is moved in the matrix, the absence of links should be preserved, and the diagonals will move one cell from the central diagonal. In this case, there will be less feedbacks than direct connections by the number of missing vertices. The shift occurs starting from the first links of the vertex before the missing one. This is the first time such a transformation has been proposed.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

A B

Fig. 9. Execution of scenario 3 in the path matrix for the vertex A3

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Fig. 10. An example of a matrix of scenarios with the implementation of scenario 3

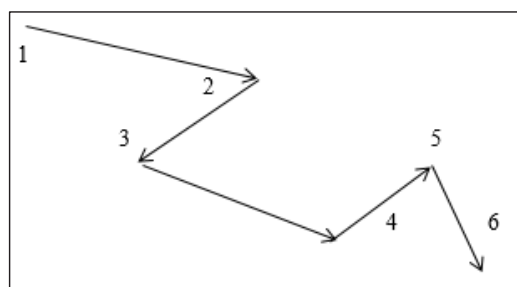


Fig. 11. Initial graph

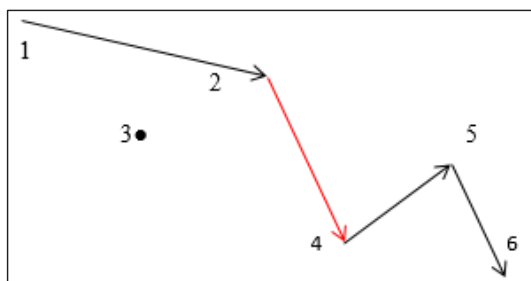


Fig. 12. Graph of the path matrix with the missing third vertex

In Fig. 11 shows the graph for the path matrix in its initial form based on the matrix in Fig. 4, and in Fig. 12 shows the graph of the path matrix based on the matrix in Fig. 9.

The graphs of path matrices are a clear illustration of the effectiveness of the proposed matrices connecting the vertex and the scenario, in particular, the skipping of vertex 3 in Figure 12 is the result of scenario 3.

5.2. Elaboration of a braking scenario filter

To filter the determination of the braking point, a filter was developed, shown in Fig. 13. The novelty of the proposed filter is the diagonal movement of the braking scenario.

In Fig. 13 shows 3 filter options: no vertex skip, one forgiven vertex and two skipped vertices.

The filter consists of three columns: **I** is the number of skipped points, **P** is the initial position “1” of deceleration, **K** is the end position “1” of deceleration.

In column **I**, the number of skipped vertices is calculated as

$$I_n = \text{MAX}(I1; I_n - 1) + 1.$$

At the same time I_n always stands in a row A_n .

In column **K** the values are as follows:

$$K_n = \text{If}(\text{MAX}(I1; I_n) = k; P_n + f),$$

where f is quantity of skipping points.

The transformed path matrix MP' depends on the position “1” in column **K**. The maximum number of skipped points before braking in the first column **I** of the filtration matrix, denotes the number of rows by which “1” will rise along the diagonal, transformed by the path matrix MP' .

The row in column **K** of the filtration matrix, which contains “1”, coincides with the coordinates of the cell of the transformed path matrix MP' , in which “1” or “-1” will

| No skipped vertices | One skipped vertex | Two skipped vertices | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----------------------|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|--|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|
| <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr><th></th><th>I</th><th>P</th><th>K</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>A2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>A3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>A4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>A5</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>B</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | | I | P | K | A1 | 0 | 0 | 0 | A2 | 0 | 0 | 0 | A3 | 0 | 0 | 0 | A4 | 0 | 0 | 0 | A5 | 0 | 1 | 1 | B | 0 | 0 | 0 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr><th></th><th>I</th><th>P</th><th>K</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | | I | P | K | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 0 | <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr><th></th><th>I</th><th>P</th><th>K</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>2</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | | I | P | K | | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 2 | 0 | 1 | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| | I | P | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A2 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A3 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A4 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A5 | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | I | P | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | I | P | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (a) | (b) | (c) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fig. 13. Filter of braking scenarios

appear. If A5, then the coordinates are in MP' A5_A5, if A4, then the coordinates are in MP' A4_A4, and if A3, then the coordinates are in MP' A3_A3.

When skipping points, the feedback “-1” in the corresponding columns is replaced by “0” to exclude the possibility of conflict of priorities during programming, the braking scenario rises up the diagonal. This is clearly seen in Fig. 14 and 15. In these figures, the transformed matrix with the missing point is aligned with the diagonal matrix, in which the unit of passive braking in Figure 14 or active braking in Figure 15 lies on the diagonal. This is the first time such a replacement is proposed. In these two figures, the deceleration at the apex A5 moves diagonally to the coordinates A4_A4.

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Fig. 14. The unit of passive braking at the vertex of 5 rises 1 cell diagonally

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Fig. 15. A unit of active braking at vertex 5 rises 1 cell diagonally

In Fig. 16 shows how “-1” moves with active braking at vertex 5 diagonally with one missed point 16 (a) and two missed points 16 (b).

$$\left| \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right|$$

(a) (b)

Fig. 16. Braking at the vertex 5 with two options

In Fig. 17 shows the route matrix without omitting the points in Fig. 17, a with deceleration at vertex 5, with one missing point and deceleration at vertex 5 (Fig. 17, b) and with two missing points and deceleration at vertex 5 (Figure 17, c).

$$\left[\begin{array}{c} \varphi_{A1} \\ \lambda_{A1} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A2} \\ \lambda_{A2} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A3} \\ \lambda_{A3} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A4} \\ \lambda_{A4} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A5} \\ \lambda_{A5} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_B \\ \lambda_B \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{c} \varphi_{A1} \\ \lambda_{A1} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A2} \\ \lambda_{A2} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A4} \\ \lambda_{A4} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A5} \\ \lambda_{A5} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_B \\ \lambda_B \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{c} \varphi_{A1} \\ \lambda_{A1} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A4} \\ \lambda_{A4} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_{A5} \\ \lambda_{A5} \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \varphi_B \\ \lambda_B \end{array} \right]$$

(a) (b) (c)

Fig. 17. Route matrices with deceleration at point 5

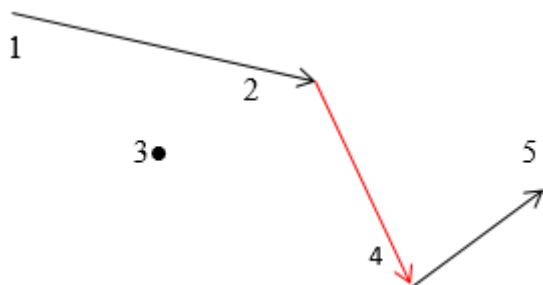


Fig. 18. Braking graph at vertex 5

In Fig. 18 shows a graphical simulation of the active braking scenario at the vertex 5 with a missing point.

As follows from the proposed circuit solution, the developed mathematical model is a powerful mathematical tool for solving the assigned tasks. The use of such a transformation of matrices to change the trajectory of a ship has not been previously carried out by anyone.

5.3. An example of a graphical simulation of a global scheduling task in MATLAB and OpenCPN, elaboration evaluation

A vivid example of changing the trajectory in real time is skipping point 14 in Fig. 20, which was in Figure 19. Fig. 19 – simulation of ship movement in global planning without skipping vertex 14. Fig. 20 is a graphical simulation of the S3 scenario for vertex 14 in MATLAB. In Figures 19 and 20 show a simulation of the movement of a vessel in the Bosphorus Strait and on the Sea of Marmara. In fig. 21, a, b shows the simulation of the ship's movement on the electronic OpenCPN charts without skipping point 14.

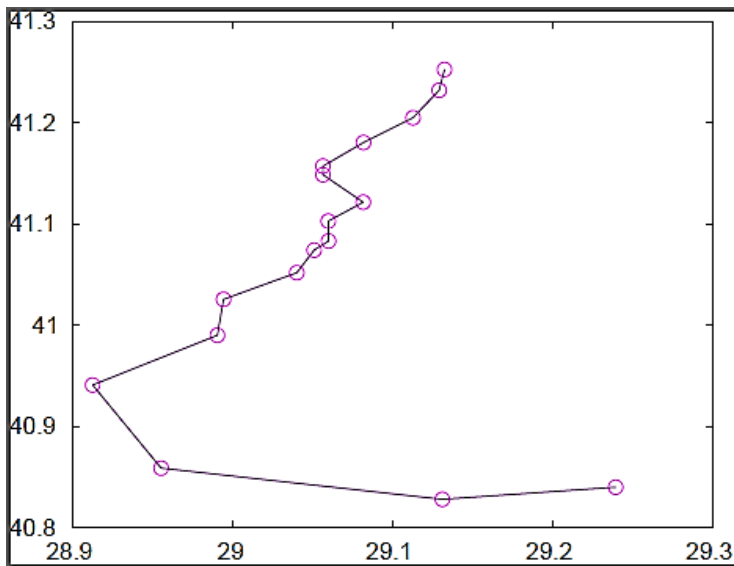


Fig. 19. Graphical simulation of the trajectory without skipping the vertex

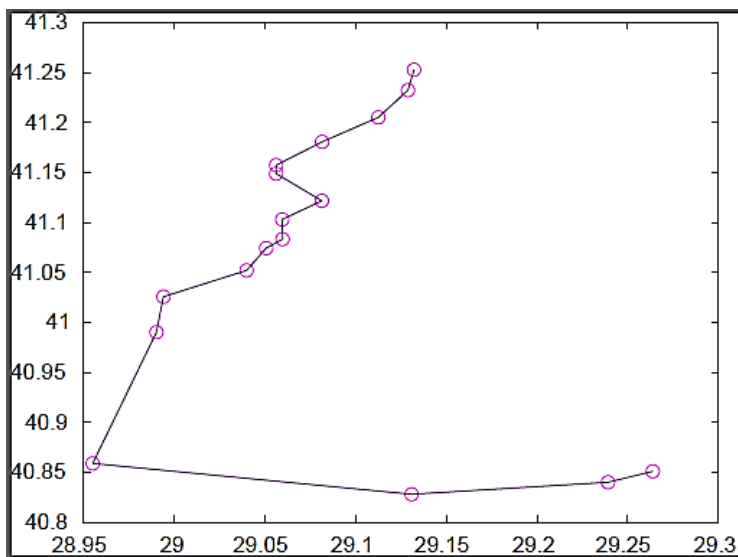
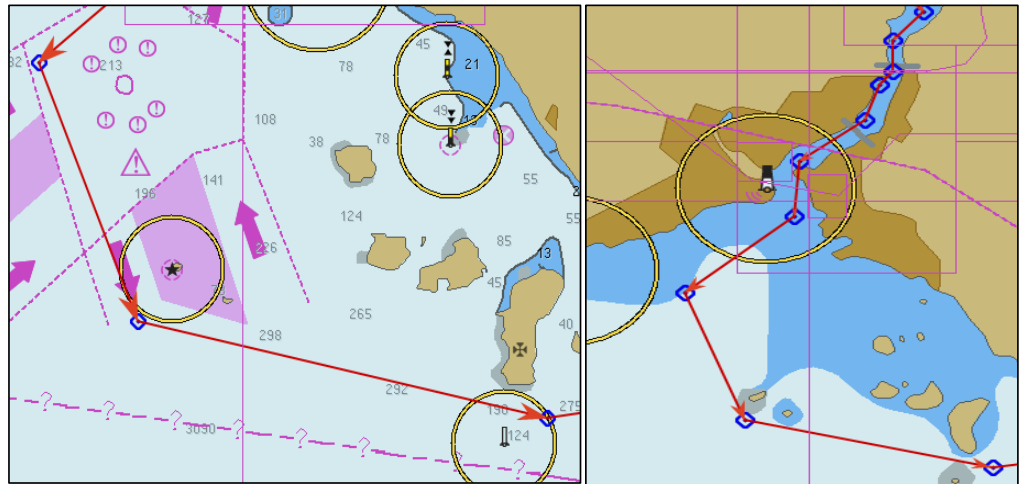


Fig. 20. Graphical simulation of the trajectory with the skipping of the vertex

In Fig. 22, (a) 22 (b) shows a graphical simulation of the movement of the vessel in the same area with the missing vertex 14.

Simulations in MATLAB and OpenCPN show that the developed mathematical model has practical applications in navigation.

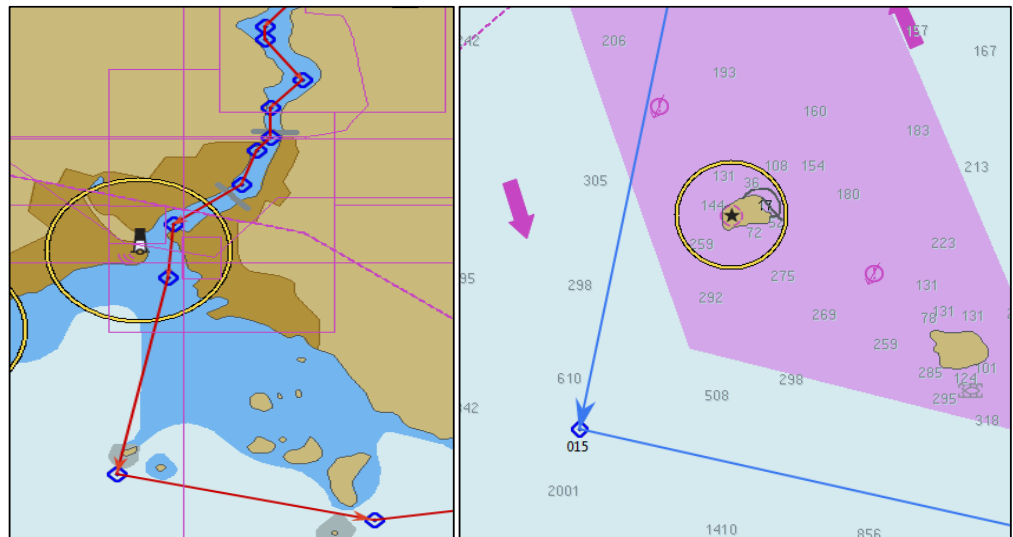
According to statistics, errors in the work of people are the causes of 75–80% of all accidents [9–11]. Therefore, the relative reliability of the device based on this elaboration is 1,33 and the economic efficiency of \$ 37626 per month for one merchant ship with a crew of 23 people according to the ITF ILO Minimum Wage Scale [19].



A

B

Fig. 21. Graphic simulation in OpenCPN of a ship leaving the Bosphorus Strait



A

B

Fig. 22. Graphical simulation in OpenCPN with skipped vertex

On military ships, this elaboration can save life for crew, when performing combat missions. It eliminates unnecessary risks for navy.

6. Discussion of the results of the proposed mathematical modeling

When carrying out numerical and graphic simulations in Fig. 1–12, it was found that the algorithm for creating a global planning task does not contain a priority conflict, in particular, due to zero substitutions of the feedback cell. The route matrix changes in real time depending on the execution of a particular scenario.

Special attention should be paid to the fact that all global planning scenario work at the set time, a sudden scenario is not included in the scenario matrix, but stops the execution of the global planning task.

The global planning scenario matrix does not contain an off-course scenario; the off-course scenario will be considered in local planning as it is a product of local planning.

Scenarios S1, S2, S3, S4 are the basis for changing the global planning task in real time.

The S4 scenario should be disclosed when developing local planning, since S4 is a global planning scenario that looks like an active braking S2 scenario in a graphical global planning simulation. And the graphic simulation of the lateral movement is possible only after calculating the coordinates of the lateral movement end point in local planning. In Fig. 13–18, numerical and graphic simulation of the filter of braking scenarios 1 and 2 was carried out.

This filter moves the braking unit diagonally according to the number of missing points. Such mathematical modeling makes it possible to stop the vessel in front of the desired vertex, regardless of the number of skipped points before braking.

In Fig. 19–22 show graphical simulations in MATLAB and OpenCPN (USA). The simulation data shows the usefulness of this mathematical simulation in creating a global planning job.

The electronic control device, operating on the basis of the proposed global planning, will reduce the number of accidents significantly by eliminating the conflict of priorities and subjective perception of a person.

Evaluation of economic efficiency shows that this elaboration has the prospect of becoming the basis for the operation of the control device in the military and merchant fleets.

7. Conclusions

1. The elaborated matrix of scenarios and the modified matrix of the path make it possible to program a high-quality task of global planning, since they do not contain a conflict of priorities.

2. The braking scenario filter allows you to stop the boat at the correct vertex by moving the braking unit along the diagonal of the path matrix.

3. The practical usefulness of this elaboration is shown through graphical simulation in MATLAB and OpenCPN, as well as the relative reliability of the device based on this development is calculated as 1,33 and the economic efficiency of \$ 37626 per month for one merchant ship with a crew of 23 people according to the ITF ILO Minimum Wage Scale [19]. On military ships, this elaboration can save many lives when performing combat missions in obviously unequal conditions.

BIBLIOGRAPHY

1. IMO. Framework for the Regulatory Scoping Exercise for the Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). MSC 100/20/Add.1, Annex 2. 2018.
2. IMO. Code on Alerts and Indicators. A.1021(26). 2009.
3. IMO. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGSs), consolidated edition 2018, amended in 2010, 2016.
4. IMO. Revised Maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System (GNSS). A.915(22). 2001.

5. IMO. SOLAS Consolidated Edition, 2014 (IF110E).
6. Control system for unmanned sailing ship. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/015644185/publication/JPS5682697A?q=JPS5682697>.
7. Unmanned ship route optimization method based on environment forecast information. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/063532892/publication/CN108564202A?q=CN108564202>.
8. Cruise control method and system of unmanned ship. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/054714755/publication/CN105129064A?q=CN105129064>.
9. Кацман Ф.М. Аварийность морского флота и проблемы безопасности судоходства / Ф.М. Кацман, А.А. Ершов. *Транспорт Российской Федерации*. 2006. № 5. С. 82–84.
10. Либерман А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор. Санкт-Петербург : Изд-во ВИС. 2006. 128 с.
11. Rodryguez J.L. Legal gaps relating to labour safety and health in the maritime transport sector in Spain / J.L. Rodryguez, R.M. Portela, P.V. Carrera. *Int. Marit. Health*. 2011. Vol. 62. No. 2. Pp. 91–97.
12. Галиев Ш. «Дискретная математика». Казанский государственный технический университет имени И.Н.Тополева, Казань, 2005, 174 с.
13. Демін С.И., Жуков Е.И., Кубачев Н.А. Управление судном. *Transport*, 1991, 356 с.
14. Petrov I.M., Rudnichenko N.D., Kupraty O.G. Specificity Of Using Modern Information Technologies In Service Ergatic Systems On Marine Transport. XXXIX International Scientific and Practical Internet Conference “*Modern vector of science development*”. 2020. Pp. 19–22.
15. Garbacz M. Planowanie ścieżki dla robota mobilnego na podstawie czujników odległościowych. *AUTOMATYKA* 2006, Tom 10, Zeszyt 3, Akademia Górniczo-Hutnicza, Krakow, Pp. 135–141.
16. Lisowski J. Podstawy automatyki, Akademia Morska w Gdyni, 2015, ISBN 9788-3742-12526, 459 p.
17. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. Одесса. 2005, 208 с.
18. Tchoń K., Mazur A., Hossa R., Dulęba I., Muszyński R. “MANIPULATORY I ROBOTY MOBILNE, Modele planowanie ruchu sterowanie”. *ROBOTYKA*, Warszawa 2000. 439 p.
19. ITF ILO Minimum Wage Scale Using Joint ITF/ISF Interpretation of the ILO Recommended Minimum Wage for an AB – extrapolated on basis of ITF Standard Agreement Differentials Rates applicable from 1st January 2020.
20. Чижиумов С.Д. Основы гидродинамики : учебное пособие. ГОУВПО «КНАГТУ», 2007. 106 с.

REFERENCES

1. IMO (2018). Framework for the Regulatory Scoping Exercise for the Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). MSC 100/20/Add.1, Annex 2.
2. IMO (2009). Code on Alerts and Indicators. A.1021(26).

3. IMO (2016). Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGSs), consolidated edition 2018, amended in 2010.
4. IMO (2001). Revised Maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System (GNSS). A.915(22).
5. IMO (2014). SOLAS Consolidated Edition. (IF110E).
6. Control system for unmanned sailing ship. Retrieved from: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/015644185/publication/JPS5682697A?q=JPS5682697>.
7. Unmanned ship route optimization method based on environment forecast information. Retrieved from: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/063532892/publication/CN108564202A?q=CN108564202>.
8. Cruise control method and system of unmanned ship. Retrieved from: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/054714755/publication/CN105129064A?q=CN105129064>.
9. Katsman, F.M. & Ershov, A.A. (2006). Avariynost morskogo flota i problemy bezopasnosti sudokhodstva [Emergency of the marine fleet and problems of safety of navigation]. Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike. 5 (5). 82–84.
10. Liberman, A.N. (2006). Tekhnogennaya bezopasnost: chelovecheskiy faktor [Technological safety: the human factor]. Sankt-Peterburg: Izdvo VIS. 128 s.
11. Rodryguez, J.L. (2011). Legal gaps relating to labour safety and health in the maritime transport sector in Spain / J.L. Rodryguez, R.M. Portela, P.V. Carrera. Int. Marit. Health. 2011. Vol. 62. No. 2. P. 91–97.
12. Galiyev, Sh. (2005). “Diskretnaya matematika” [Discrete Math]. Kazanskiy Gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet imeni I.N. Topoleva. Kazan. 174 p.
13. Demin, S.I., Zhukov, E.I., Kubachev, N.A. (1991). Upravleniye sudnom [Ship handling]. Transport. 356 s.
14. Petrov, I.M., Rudnichenko, N.D., Kupraty, O.G. (2020). Specificity Of Using Modern Information Technologies In Service Ergatic Systems On Marine Transport. XXXIX International Scientific and Practical Internet Conference “Modern vector of science development”. P. 19–22.
15. Garbacz, M. Planowanie ścieżki dla robota mobilnego na podstawie czujników odległościowych. AUTOMATYKA 2006, Tom 10, Zeszyt 3, Akademia Górniczo-Hutnicza, Krakow, P. 135–141.
16. Lisowski, J. Podstawy automatyki. Akademia Morska w Gdyni, 2015. ISBN 9788-3742-12526, 459 p.
17. Maltsev, A.S. (2005). Manevrirovaniye sudov pri raskhozhdenii. Odessa. 208 c.
18. Tchoń, K., Mazur, A., Hossa, R., Dulęba, I., Muszyński, R. MANIPULATORY I ROBOTY MOBILNE, Modele planowanie ruchu sterowanie. ROBOTYKA, Warszawa 2000. 439 p.
19. ITF ILO Minimum Wage Scale Using Joint ITF/ISF Interpretation of the ILO Recommended Minimum Wage for an AB – extrapolated on basis of ITF Standard Agreement Differentials Rates applicable from 1st January 2020.
20. Chizhiumov, S.D. (2007). Osnovy gidrodinamiki [Fundamentals of hydrodynamics]: uchebnoye posobiye. GOUVPO „KnAGTU”. 106 s.

**КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ
СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

О.І. Россомаха

аспірант,

старший викладач кафедри «Технічне обслуговування і ремонт суден»,

Навчально-науковий інститут морського флоту

Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

Анотація

Вступ. Підвищення надійності та довговічності суднових технічних засобів багато в чому пов'язане зі своєчасним прогнозуванням несправностей, технічним обслуговуванням і ремонтом самих засобів. Все це можливо під час розроблення системи ТОiP складних технічних систем.

Мета. Метою статті є розробка системи управління ТОiP роторних суднових технічних засобів.

Результати. У статті виділено і розкрито 5 концептуальних підходів технічного обслуговування і ремонту роторних технічних систем. А саме: за потребою, планово-попереджувальна, за станом, проактивна та змішана. Зроблено висновок, що найдоцільніше використовувати концептуальні підходи «за станом» або «змішану».

Проаналізована низка міжнародних стандартів, комплексне використання яких може послужити базою (теоретичною основою) для розробки і впровадження на судах оптимальної системи ТОiP.

Запропоновано концептуальну модель системи технічного обслуговування і ремонту суднових технічних засобів, яка дозволяє підвищити ефективність організації і керування технічним обслуговуванням та ремонтом роторних механізмів на прикладі відцентрового насосу НЦВ 63\30. Розкрито та дано пояснення до кожного етапу моделі.

Проаналізовано характери відмов та способи їх діагностики. Розуміння фізичних процесів, що лежать в основі несправностей різних видів, а також збір даних, пов'язаних із попереднім застосуванням машини, її технічним обслуговуванням, результатами контролю, періодом безвідмовної роботи, характером роботи машини в різних умовах при різних показниках продуктивності необхідні для прогнозування розвитку несправності. На основі цього приведена таблиця з ілюстративним прикладом класифікації тяжкості наслідків відмови.

Розроблено карти ризиків на основі аналізу видів, наслідків та критичності відмов або FMECA. Проаналізовано вплив несправностей роторних механізмів на зародження майбутніх відмов. Розроблено метод прогнозування виникнення і зародження дефектів на основі регресійної моделі. Проведена обробка результатів поліноміальною моделлю ступенем від 2 до 10.

Висновки. Отже, реалізація моделі дозволить істотно скоротити витрати на технічне обслуговування і ремонти обладнання, знизити тривалість його про-

стоїв і, в підсумку, підвищити надійність та ефективність роботи роторних технічних систем.

Ключові слова: технічне обслуговування та ремонт, концептуальна модель, прогнозування, FMECA.

CONCEPTUAL MODEL OF SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

O.I. Rossomakha

Postgraduate Student,

Senior Lecturer at the Department "Maintenance and Repair of Ships",
Merchant Marine Institute of the Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

Annotation

Introduction. Improving the reliability and durability of marine equipment is largely due to timely fault forecasting, maintenance and repair of the equipment itself. All this is possible in the development of maintenance systems for complex technical systems.

Purpose. The purpose of the article is to develop a control system for maintenance of rotary ship equipment.

Results. The article highlights and reveals 5 conceptual approaches to maintenance and repair of rotor technical systems. Namely: as needed, planned and preventive, by state, proactive and mixed. It is concluded that it is most appropriate to use conceptual approaches "by state" or "mixed". A number of international standards are analyzed, the integrated use of which can serve as a basis (theoretical basis) for the development and implementation of the optimal maintenance system on ships.

The conceptual model of the system of maintenance and repair of ship technical means which allows to increase efficiency of the organization and management of maintenance and repair of rotor mechanisms on an example of the centrifugal pump NCV 63 \ 30 is offered. Explained and given an explanation of each stage of the model.

The characters of failures and methods of their diagnosis are analyzed. Understanding the physical processes underlying the faults of different types, as well as collecting data related to the previous use of the machine, its maintenance, control results, period of failure, the nature of the machine in different conditions with different performance indicators are needed to predict development malfunctions. Based on this, a table with an illustrative example of the classification of the severity of the consequences of failure is given.

Risk maps have been developed based on the analysis of types, consequences and criticality of failures or FMECA. The influence of malfunctions of rotary mechanisms on the generation of future failures is analyzed. A method for predicting the occurrence and origin of defects based on a regression model has been developed. The results were processed by a polynomial model with a degree from 2 to 10.

Conclusions. Thus, the implementation of the model will significantly reduce the cost of maintenance and repairs of equipment, reduce the duration of its downtime and, ultimately, increase the reliability and efficiency of rotary technical systems.

Key words: maintenance and repair, conceptual model, forecasting, FMECA.

Вступ

У посиленій конкурентній боротьбі на ринку морських перевезень судновласники йдуть по шляху скорочення екіпажу і максимального зниження витрат на технічне обслуговування і ремонту (ТОіР) складних технічних систем. Такий підхід призводить до зниження безпеки і зростання аварійності флоту.

Комплексно вирішити цю задачу можна тільки за умови розробки системи ТОіР складних технічних систем.

Аналіз наукових досліджень і публікацій

Спираючись на досвідчені дані експлуатації суднових машин і механізмів, можна виділити 5 концептуальних підходів до проведення робіт з ТОіР.

1. Ремонт може виконуватися після того, як відбудеться поломка механізму, пристрою або іншого елемента судна. У цьому випадку застосовують стратегію ремонту *за потребою (або реактивна)*. Дана стратегія забезпечує найменші витрати на ремонт, так як замінюють (або ремонтують) тільки ті елементи, які вийшли з ладу. Однак через непрогнозованість виходів з ладу елементів судна можливі непланові стоянки суден на ремонті і зниження безпеки судноплавства.

2. Ремонт може проводитися в заздалегідь встановлені терміни з тим, щоб попередити поломку. У цьому випадку застосовують *планово-попереджувальну стратегію ремонту*, яка має три різних напрямки: післяосмотрова стратегія, ремонт за станом, стандартна планово-попереджувальна стратегія. Післяосмотрова планово-попереджувальна стратегія полягає в тому, що заздалегідь регламентуються терміни проведення ремонтних робіт і їх обсяги. Ці обсяги можуть бути відкориговані після виконання перевірки, що проводиться до ремонту. Стратегія «ремонт за станом» є подальшим розвитком основної системи і характеризується переходом до визначення стану елементів, вузлів, і деталей судна без їх розбирання на базі діагностування об'єкта.

При стандартній планово-попереджувальній стратегії ремонт проводиться в заздалегідь встановлені терміни і в заздалегідь зазначених обсягах. Передбачені до заміни вузли або деталі, обов'язково замінюють незалежно від того, в поганому або хорошому технічному стані вони знаходяться.

3. *За станом* – аналіз даних за результатами використання засобів безрозбірного діагностування.

4. *Проактивний метод* – сучасний розвиток системи ТОР. Цей тип стратегії ТОР характеризується виникненням і розвитком довірчого рівня прогнозу, заснованого на продовженні міжремонтного ресурсу.

5. Широке поширення набувають *змішані* стратегії ремонту, за яких для різних елементів однієї і тієї ж технічної системи застосовують різні стратегії: для найбільш відповідальних – стандартна (за відпрацьованим ресурсом), для більшості інших елементів – за станом на базі технічного діагностування, для окремих невідповідальних елементів – за потребою. Змішані стратегії забезпечують найбільшу надійність і мінімальні витрати на ремонт, однак широке поширення цих стратегій вимагає створення і впровадження суднових бортових діагностичних комплексів.

Схема класифікації стратегій ремонту показана на рисунку 1.

Не викликає сумнівів, що найдоцільніше використовувати концептуальні підходи «за станом» або «змішану». Однак уже майже півстоліття розробляються різні методи технічного діагностування окремих вузлів і механізмів. За цей час реальної концепції так і не впроваджено.



Рис. 1. Класифікація стратегій ремонту суден
(власні розробки автора та [3; 12])

В останні десятиліття виникла ціла низка міжнародних стандартів, таких як:

1. ISO 31000: 2018, Менеджмент ризиків. Принципи і керівні вказівки, містить принципи, структуру і процес управління ризиками. Він може бути використаний будь-якою організацією незалежно від її розмірів, виду діяльності або галузі. Застосування ISO 31000 може допомагати організаціям при підвищенні ймовірності досягнення цілей, більш ефективному виявленню можливостей і загроз, а також більш ефективному розподілу і застосування ресурсів при моніторингу ризиків [4].

2. ISO 9001: 2015, Системи менеджменту якості, встановлює критерії системи менеджменту якості і є єдиним стандартом в своїй серії, за яким можна пройти сертифікацію (хоча це не є обов'язковою вимогою). Його може використовувати будь-яка організація, незалежно від її розміру і сфери діяльності [4].

3. ISO 13381-1 Моніторинг стану і діагностика машин – Прогноз – Частина 1: Загальні рекомендації, надає керівництво щодо розробки та застосування процесів прогнозування. ISO 13381-2, підходи до зміни характеристик (тенденції), ISO 13381-3, циклічні методи використання ресурсу, ISO 13381-4, моделі корисного терміну служби, що залишився [4].

4. ISO 13379-2 Моніторинг стану і діагностика машин. Методи інтерпретації та діагностики даних.

Комплексне використання цих стандартів може послужити базою (теоретичною основою) для розробки і впровадження на суднах оптимальної системи ТОiP.

Дослідженнями з діагностування двигунів внутрішнього згоряння останні роки успішно займається професор Варбанець Р.А. Він веде дослідження в області теорії робочого процесу та параметричної діагностики двигунів внутрішнього згоряння з 1996 р. За цей час розробив методологію і теоретичні основи діагностичного контролю робочого процесу судових дизелів в умовах експлуатації. Розробив ряд діагностичних комплексів DEPAS 2.34, 3.0, 4.0, які знайшли широке застосування в експлуатації судових, залізничних і стаціонарних дизельних установках в Україні і за кордоном. Розроблені методи були застосовані для діагностики енергетичних установок кораблів ВМС Збройних Сил України [5–8].

Систем ТОіР для діагностування роторних механізмів багато, але для кожного механізму окремо, а комплексної системи немає.

Метою статті є розробка системи управління ТОіР роторних судових технічних засобів.

Виклад основного матеріалу. Тільки у процесі постійного моніторингу стану і прогнозування розвитку несправностей у складних технічних системах можливе підвищення ефективності під час їх експлуатації. Контроль стану складної технічної системи складається з декількох етапів: виявлення відхилення; виявлення несправностей та їх причин; прогнозування розвитку несправностей; прийняття рекомендацій щодо коригувальних дій; аналіз стану після зупинки технічної системи [1; 2].

На рисунку 1 представлена концептуальна модель комплексної системи управління технічного обслуговування і ремонту механізмів.

Попередній етап включає в себе 3 стадії, які проводяться для СТС один раз і більше не повторюються, за весь термін служби.

Етап аналізу несправностей полягає у визначенні та аналізі умов і факторів, які призводять або можуть призвести до виникнення повної або часткової втрати функцій, зниження ефективності роботи технічної системи, погіршення безпеки або інших важливих властивостей, які в наслідку призводять до ТО і Р механізму.

Етап визначення діагностичних параметрів. Діагностичний параметр – параметр (ознака) об'єкта діагностування, встановлений для визначення його технічного стану. До діагностичних параметрів можуть бути віднесені потужність, тиск, шум, вібрація, подача (напір) та ін.

Несправність легше (дешевше та простіше) виявити на моменті її зародження, а не шукати причину повної відмови технічної системи, тому зупинимось більш докладніше на етапах діагностування і прогнозування стану технічних систем.

Для кожної відмови необхідно визначити спосіб її виявлення і засоби, які можуть бути застосовані для діагностики. Діагностика може бути проведена за допомогою технічних засобів, автоматично (вбудоване тестування) або шляхом введення спеціальної процедури контролю до початку роботи системи або механізму, а також під час технічного обслуговування. Види відмов повинні бути проаналізовані і перераховані.

Тяжкість відмови є оцінкою значущості впливу наслідків виду відмови на функціонування об'єкта [2].

Прогнозування стану технічних систем є однією з важливих дій, результати якої в подальшому допоможуть діагностувати працездатність технічної системи і виявити ризики її відмови.

Відмови технічної системи можуть бути виявлені шляхом дослідження певних функцій, взятих із вимірів, і порівняння їх із відомими порогами прийнятної поведінки. Здатність до виявлення та зносостійкість різних відмов складних технічних систем залежать від природи експерименту і доступності вимірювань. У таблиці 1 наведено приклад класифікації тяжкості наслідків відмови.

Розуміння фізичних процесів, що лежать в основі несправностей різних видів, а також збір даних, пов'язаних із попереднім застосуванням машини, її технічним обслуговуванням, результатами контролю, періодом безвідмовної роботи, характером роботи машини в різних умовах при різних показниках продуктивності, необхідно для прогнозування розвитку несправності.

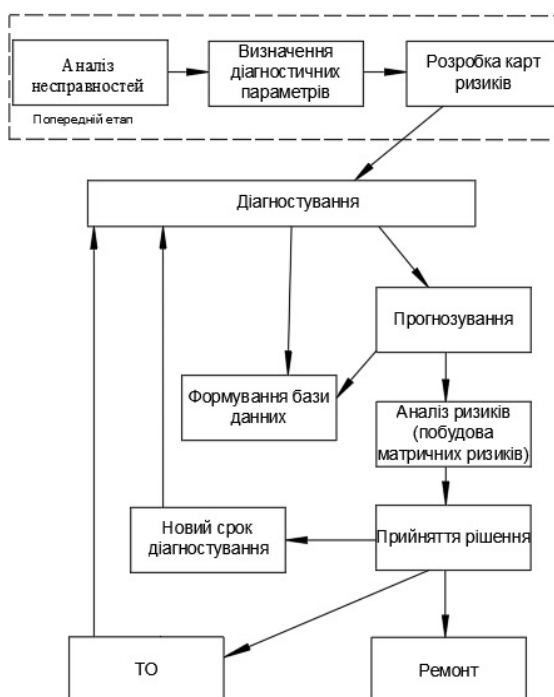


Рис. 2. Концептуальна модель системи ТОiP СТС
(власні розробки автора)

Таблиця 1

Ілюстративний приклад класифікації тяжкості наслідків відмови

| № класу тяжкості відмови | Найменування класу тяжкості відмови | Опис наслідку відмови для людей або навколишнього середовища |
|--------------------------|-------------------------------------|--|
| 5 | Катастрофічний | Вид відмови може привести до припинення виконання первинних функцій системи і викликає важкі ушкодження системи та навколишнього середовища і / або загибель і важкі травми людей |
| 4 | Критичний | Вид відмови може привести до припинення виконання первинних функцій системи і викликає значне пошкодження системи і навколишнього середовища, але не є серйозною загрозою життю або здоров'ю людей |
| 3 | Істотний | Вид відмови може значно погіршити виконання первинних функцій системи і викликає незначне пошкодження системи, але не представляє загрози для навколишнього середовища або життя людей |
| 2 | Мінімальний | Вид відмови, що може погіршити виконання функцій системи без помітного ушкодження системи або загрози життю або здоров'ю людей |
| 1 | Незначний | Вид відмови, який може погіршити виконання функцій системи, але не викликає пошкоджень системи і не створює загрози життю і здоров'ю людей |

(розробка автора і [2])

Прогноз чи прогнозування має цінність тільки в заданих межах рівня довіри. Чим більші межі, тим менше значимість прогнозу, оскільки прийняте оператором рішення ґрунтується на прийнятному рівні ризику. Типова схема процедури контролю стану і побудови прогнозу включає в себе підетапи, які передбачають визначення рівнів довіри і процедуру підтвердження прогнозу.

Рівень довіри відображає у відсотках числову характеристику того, з яким ступенем визначеності можна стверджувати про правильність діагнозу або прогнозу [1].

Ця числова характеристика показує сумарний ефект впливу всіх джерел невизначеності на точність остаточного висновку. Вона може бути отримана як сума зважених невизначеностей від різних джерел або за певним (заданим) алгоритмом.

Процедура визначення рівня довіри включає в себе облік інформації, яка відноситься до різних параметрів механізму. До таких параметрів можна віднести: історію ТО механізму, конструкцію і характерні види відмов механізму, характеристику методів аналізу, граничні значення контрольованих параметрів, інтервали між вимірами, процедуру і оцінку даних, процедуру під час постановки діагнозу і складання прогнозу, майбутніх навантажень і умов роботи механізму, т.д.

Можливість передбачати розвиток накопичень пошкоджень у машині за наявності заданих критеріїв контролю досягається методами одночасного аналізу великої кількості параметрів і застосовуваними в них моделями.

Багатофакторний аналіз включає в себе одночасне використання відповідних даних однією системою моніторингу. Такий спосіб аналізу кращий під час прогнозування стану технічної системи, оскільки дозволяє не тільки спостерігати окремі контрольовані параметри, але і зіставляти їх зміни. Особливо це важливо, коли є підстави припускати взаємозв'язок між різними контрольованими параметрами технічної системи [2; 3].

Для прогнозування майбутніх відмов технічної системи, перш за все, слід визначити критерії їх настання, приймаючи до уваги, що один і той самий параметр може служити як впливаючий фактор для наступаючої відмови і використовуватися як ознака зародження несправності, що приводить до майбутньої відмови. При цьому основна причина відмови даного виду може бути визначена через набір параметрів, значення яких прямо або побічно вказують на ступінь розвитку несправності [2; 3].

Таким чином, прогноз зародження несправності (пошкодження) технічної системи, що веде до відмови певного виду, ґрунтується на встановленні критеріїв зародження несправності.

Результатом прогнозування є ймовірність настання тієї чи іншої несправності елемента технічної системи протягом заданого періоду часу [2; 3].

Для більш наочного застосування методу багатофакторного аналізу приймемо за складну технічну систему відцентровий насос НЦВ 63 \ 30.

Суднові відцентрові вертикальні насоси НЦВ застосовуються для перекачування морської і прісної води з температурою до + 85°C, розсолу. Призначені для кораблів, суден, плавзасобів усіх класів, типів і призначень. Також насоси можуть застосовуватися в наземних установках без пред'явлення до них специфічних судових вимог. Також насоси НЦВ можуть застосовуватися в наземних установках без пред'явлення до них специфічних судових вимог. Матеріал проточної час-

тини: бронза; подача 63 м³/год; натиск 30 м; потужність комплектуючого електродвигуна – 11 кВт.

Технічний стан насосів контролюється за рівнем ударних імпульсів, вібрації, перегріву підшипників, зниження подачі (напору), зміни струму електродвигуна приводу, зменшення товщини корпусу і за результатами огляду робочого колеса ендоскопом. Досягнення гранично допустимого значення хоча б одним з параметрів говорить про необхідність проведення технічного обслуговування насосу.

У таблиці 2 подано перелік характерних відмов і діагностичних параметрів для роторних машин на прикладі відцентрового насоса НЦВ 63 \ 30, які дозволяють діагностувати несправність: «+» позначено, що зі зміною діагностичного параметра можлива конкретна несправність, «-» означає те, що зміни параметра не вказують на несправність.

Розробку карт ризиків можливо проводити різними способами. На думку автора аналіз видів, наслідків та критичності відмов або FMECA – один із найоптимальніших способів аналізу відмов.

Аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMECA) має на увазі використання якісного заходу наслідків видів відмови. Критичність має безліч визначень і способів вимірювання, більшості з яких притаманний близький сенс: вплив або значимість виду відмови, який необхідно усунути або пом'якшити його наслідки.

Мета аналізу критичності полягає в якісному визначенні відносної величини кожного наслідку відмови. Значення цієї величини використовують для встановлення пріоритетності дій з усунення відмов або зниження їх наслідків на основі комбінації критичності відмов і тяжкості їх наслідків [2].

Одним із методів оцінки критичності є визначення значення ризику R. Як загальну міру потенційного ризику R в FMECA використовуємо величину

$$R = V \cdot P \cdot U,$$

де:

V – ймовірність появи відмови;

P – значення тяжкості наслідків, тобто ступеня впливу відмови на СТС;

U – вразливість (незахищеність) СТС.

Точне чисельне визначення стану ризику найчастіше розрахувати неможливо, тому авторами пропонується використовувати в даній задачі метод нечітких множин. Для цього визначимо шкали значень для V, P і U.

V – ймовірність появи відмови;

V = 1 – незначна (всі параметри задовільні);

V = 2 – мінімальна (зародження несправності по одному або декількох показниках);

V = 3 – істотна (стан хоча б 1 параметра незадовільний);

V = 4 – критична (незадовільний стан СТС);

V = 5 – катастрофічна (відмова СТС).

P – значення тяжкості наслідків, тобто ступеня впливу відмови на СТС;

P = 1 – незначна (без неприємностей);

P = 2 – мінімальна (буде потрібно ремонт з незначними витратами);

P = 3 – істотна (буде потрібно ремонт зі значними витратами);

P = 4 – критична (критичні наслідки для СТС і екології);

Таблиця 2

Характерні відмови відцентрових насосів і причини їх появи

| № пп | Несправність | Діагностичний параметр | | | | | | | | | |
|------|--|------------------------|----------------|----------------|----------------------------|--------------|--------------------------|--|------------------------------------|---|---|
| | | Ударні імпульси, дБ | Вібрація, мм/с | Подача, напору | Температура підшипника, °С | Сила току, А | Протікання через сальник | Зменшення товщин корпусу в характерній точці | Підвищення тиску всмоктування, МПа | | |
| 1. | Пошкодження підшипника кочення | + | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2. | Пошкодження підшипників ковзання | - | + | - | + | - | - | - | - | - | - |
| 3. | Ерозія робочого колеса | - | + | + | - | - | - | - | - | - | - |
| 4. | Занесення колеса | - | + | + | - | + | - | - | - | - | - |
| 5. | Кавітація насоса | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - |
| 6. | Знос внутрішніх ущільнень | - | - | + | - | + | - | - | - | - | - |
| 7. | Пошкодження валу | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8. | Пошкодження ступульної муфти | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9. | Внутрішні пошкодження корпусу (кавітаційне руйнування) | - | - | - | - | - | - | - | - | + | - |
| 10. | Кріплення насоса | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11. | Відсутність необхідного вакууму | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + |
| 12. | Знос сальника | - | - | - | - | + | - | - | + | - | - |

(власна розробка автора і [9])

$P = 5$ – катастрофічна (катастрофа зі шкодою для екології і людськими жертвами);
 U – вразливість (незахищеність) СТС;
 $U = 1$ – незначна (мається дублюючий агрегат);
 $U = 2$ – мінімальна (маються СЗЧ і команда, яка має досвід робіт по ремонту СТС);
 $U = 3$ – істотна (маються СЗЧ, але немає кваліфікованої команди);
 $U = 4$ – катастрофічна (немає СЗЧ і команди).

При такому підході максимальний і мінімальний ризику складуть:

$$R_{min} = V \cdot P \cdot U = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

$$R_{max} = V \cdot P \cdot U = 5 \cdot 5 \cdot 4 = 100.$$

Зручність даного методу полягає в тому, що експлуатаційник може сам призначити величину прийнятного ризику в залежності від фактичного стану і фінансових можливостей судновласника.

Такий метод прийнятного ризику дозволяє розробити оптимальний план робіт з технічного обслуговування і ремонту складних технічних систем.

Етап формування баз даних. База даних – сукупність пов'язаних даних, організованих за певними правилами, що передбачають загальні принципи опису, зберігання і маніпулювання, незалежна від прикладних програм [11].

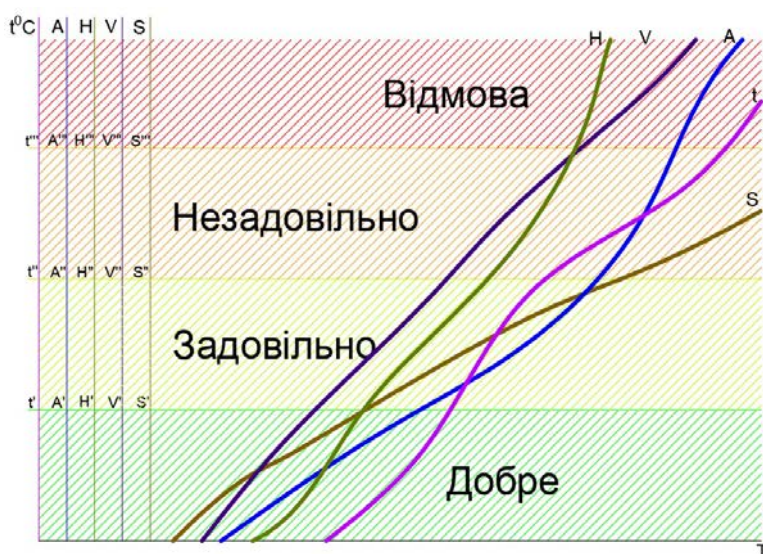


Рис. 3. Норми стану насоса
(власна розробка автора та [9])

Із графіка видно, що кожен параметр так чи інакше впливає на роботу насоса. По осі X відлічується час роботи (або кількість відпрацьованих годин) механізму, по осях Y – контрольовані параметри насоса з позначенням контрольних точок зміни стану механізму, кольором показано норми стану насоса (зелений – добрий, жовтий – задовільна, оранжевий – незадовільний, червоний – відмова).

Кожен параметр може розглядатися як одна з рушійних сил розвитку наявної несправності, але він також може впливати (та впливає) на розвиток інших несправностей і на зародження майбутніх відмов.

Наприклад: посилилася вібрація внаслідок зносу підшипників (первинна відмова), що викликала просідання або викривлення валу (вторинна відмова). Вторинна відмова розвивається швидше, ніж первинна, і в міру викривлення валу відбувається зачіпання робочого колеса за корпус, що розвивається з цим пошкодження крильчатки і корпусу - причини третинної відмови).

На основі всіх зібраних даних і аналізу можливих (характерних) відмов і причин їх виникнення і відбуваються процеси прогнозування і аналізу ризиків.

Процес прогнозування ґрунтується на методології, яка може включати в себе відомі моделі розвитку несправностей, такі як метод FMECA, аналіз дерева причинно-наслідкових зв'язків розвитку несправностей, методи оцінки ризику відмови, фізичні моделі зародження та розвитку пошкоджень, методи побудови трендів і визначення залишкового ресурсу при заданому рівні довіри і ризик. За допомогою цих моделей можливо отримати дані про види відмов і взаємозв'язках між ними, ступені і швидкості відмови механізму, ризик відмови.

Прогнозування зміни значення того чи іншого діагностичного параметра в часі можна виконувати на основі регресійного аналізу. При цьому як опцію використовуємо поліноміальну залежність.

Як приклад розглянемо результати вібродіагностування відцентрового насоса НЦВ 63 \ 30 проведеного з періодичністю 100 годин (таблиця 3).

Таблиця 3

Результати вібродіагностування НЦВ 63\30

| T, годин | V, мм/с | | T, годин | V, мм/с |
|----------|---------|--|----------|---------|
| 100 | 4.0 | | 1600 | 4.4 |
| 200 | 4.0 | | 1700 | 4.5 |
| 300 | 3.9 | | 1800 | 4.4 |
| 400 | 4.0 | | 1900 | 4.5 |
| 500 | 4.0 | | 2000 | 4.7 |
| 600 | 4.1 | | 2100 | 4.8 |
| 700 | 4.0 | | 2200 | 4.8 |
| 800 | 4.2 | | 2300 | 4.9 |
| 900 | 4.1 | | 2400 | 5.0 |
| 1000 | 4.2 | | 2500 | 5.3 |
| 1100 | 4.2 | | 2600 | 5.4 |
| 1200 | 4.3 | | 2700 | 5.6 |
| 1300 | 4.3 | | 2800 | 5.8 |
| 1400 | 4.4 | | 2900 | 6.0 |
| 1500 | 4.3 | | 3000 | 6.4 |

(результати діагностування із джерел загального користування)

Обробка результатів поліноміальною моделлю ступенем від 2 до 10 проведена за допомогою програми Grapher.

Grapher – це повнофункціональний пакет для побудови наукових графіків, що дозволяє користувачеві імпортувати дані в багатьох форматах, створювати і комбінувати велику кількість типів дво- і тривимірних графіків і налаштовувати графіки з нескінченної деталізацією [10].

Результати представлені на рисунку 4 та в таблиці 4.

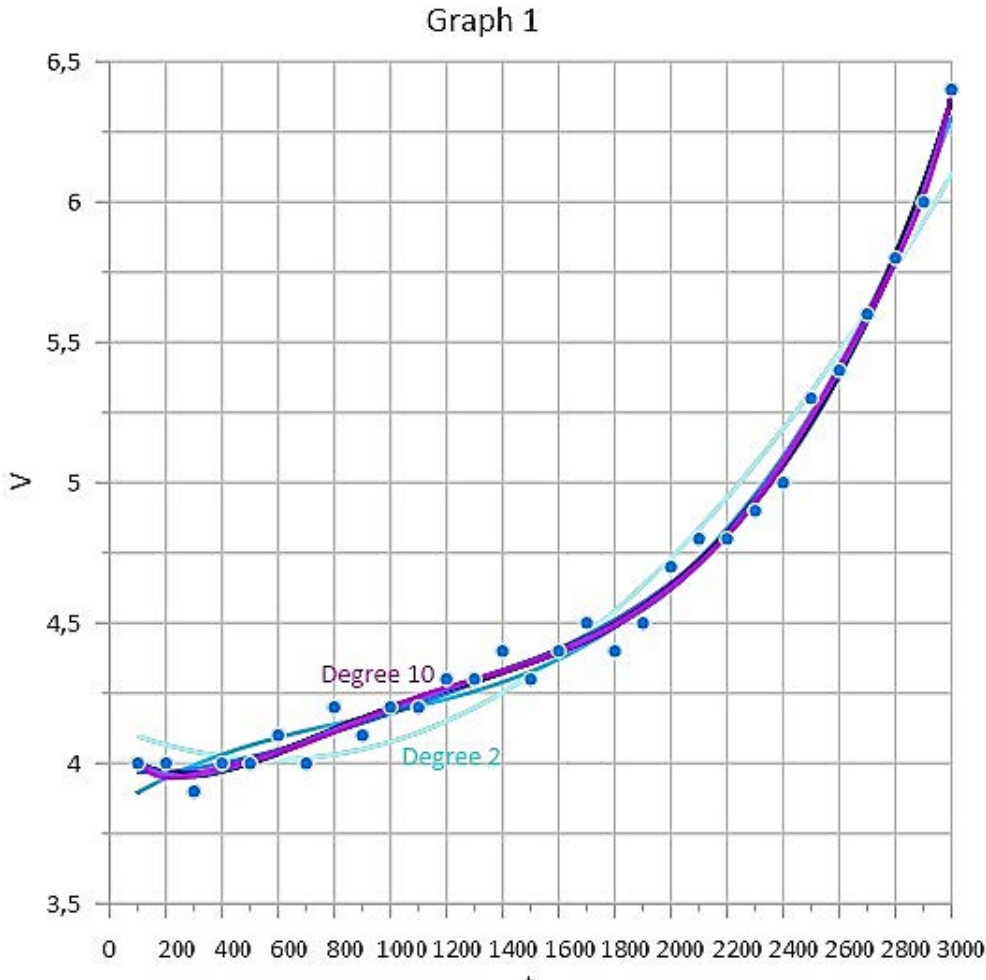


Рис. 4. Поліноміальна модель
(власні розробки автора та [10])

Вид поліноміальних залежностей:

$$V = \left(\left(\left(\left(a_{10} + \frac{t}{100} + a_9 \right) \frac{t}{100} + a_8 \right) \frac{t}{100} + a_7 \right) \frac{t}{100} + i m. \partial. + a_1 \right) \frac{t}{100} + a_0$$

Аналіз значень коефіцієнтів полінома показує, що використання в даній задачі ступеня апроксимації більше 3 не має сенсу.

Визначивши 1-ю та 2-ю похідні $\frac{dV}{dt}$ і $\frac{d^2V}{dt^2}$ та прирівнявши їх до «0» можна виявити критичні точки функції, які є точками зародження і розвитку відповідної несправності.

Таблиця 4

Поліноміальна модель ступенем від 2 до 10

| Ступінь | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|------------|
| a_0 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 | 4.328 |
| a_1 | | -0.55 | -0.55 | -0.55 | -0.55 | -0.55 | -0.55 | -0.55 | -0.55 | -0.55 | -0.55 |
| a_2 | | | 0.312 | 0.312 | 0.312 | 0.312 | 0.312 | 0.312 | 0.312 | 0.312 | 0.312 |
| a_3 | | | | -0.091 | -0.091 | -0.091 | -0.091 | -0.091 | -0.091 | -0.091 | -0.091 |
| a_4 | | | | | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.01591 | 0.016 | 0.016 |
| a_5 | | | | | | -0.0017 | -0.0017 | -0.0017 | -0.0017 | -0.0017 | -0.0017 |
| a_6 | | | | | | | 0.00012 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00012 | 0.00012 |
| a_7 | | | | | | | | -5.269E-06 | -5.269E-06 | -5.269E-06 | -5.269E-06 |
| a_8 | | | | | | | | | 1.433E-07 | 1.433E-07 | 1.433E-07 |
| a_9 | | | | | | | | | | -2.191E-09 | -2.191E-09 |
| a_{10} | | | | | | | | | | | 1.439E-11 |
| Коефіцієнт визначення | 0 | 0.8369 | 0.9701 | 0.990 | 0.9929 | 0.99329 | 0.9936 | 0.99366 | 0.9938 | 0.993823 | 0.99397 |
| Коефіцієнт кореляції | 0 | 0.9148 | 0.9849 | 0.9952 | 0.9965 | 0.9967 | 0.99676 | 0.9968 | 0.9969 | 0.9969 | 0.99698 |
| Залишкова сума квадратів | 12,782 | 2,0851 | 0,3827 | 0,12367 | 0,09022 | 0,0858 | 0,0827 | 0,08109 | 0,0792 | 0,07896 | 0,0770 |

(власні розробки автора та [10])

Висновки

У статті запропоновано концептуальну модель системи, за допомогою якої можливе підвищення ефективності експлуатації складних технічних систем.

Розроблено метод прогнозування виникнення і зародження дефектів на основі регресійної моделі, що дозволить ефективніше контролювати та прогнозувати стан судових технічних засобів

На основі запропонованої моделі і метода TOP можливо підвищити ефективність роботи, виявлення відхилення, виявлення несправностей та їх причин; прогнозування розвитку несправностей; прийняття рекомендацій по коригувальним діям; аналіз стану після зупинки технічної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO 13381-1:2015 Condition monitoring and diagnostics of machines – Prognostics – Part 1: General guidelines (IDT).
2. AIEC 60812:2006 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA) (MOD).
3. A. Shakhov, V. Pitera, O. Sherstiuk, O. Rossomakha and A. Rzhenskyi, “Management of the Technical System Operation Based on Forecasting its “Aging” – Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020), Ukraine, February 18-20, 2020. CEUR Workshop Proceedings 2565, 2020, pp. 130-141.
4. Міжнародна організація по стандартизації. URL : <https://www.iso.org/>.
5. Варбанец Р.А. Виброакустическая диагностика турбокомпрессора. *Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития*. 2020. № 1. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vibro-acoustic-diagnostics-of-turbocharger> (дата обращения: 28.09.2020).
6. Ерыганов О., Варбанец Р. Особенности точки наиболее быстрого роста давления при такте сжатия. *Диагностика*. 2018. 19(2). С. 71–76.
7. Варбанец Р.А. Диагностический контроль рабочего процесса судовых дизельных двигателей в эксплуатации. Диссертация доктора технических наук. Одесса, 2010.
8. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance. *Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects*. – Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. 2012. 7(1). P. 269–275. URL : <https://doi.org/10.33082/td.2018.2-3.09>.
9. РД 31.20.50 – 87 Комплексная систематехнического обслуживания и ремонта судов. Основное руководство.
10. Програмне забезпечення Grapher.
11. Пушников А.Ю. Введение в системы управления базами данных. Часть 1. Реляционная модель данных : учебное пособие. Изд-е Башкирского ун-та. Уфа, 1999. 108 с. ISBN 5-7477-0350-1.
12. Александровська Н.І. Управление жизненным циклом судна путем усовершенствования стратегии технического обслуживания и ремонта : дис. канд. техн. наук : 05.22.20. Одесса, 2012. 130 с.

REFERENCES

1. ISO 13381-1:2015 Condition monitoring and diagnostics of machines – Prognostics – Part 1: General guidelines (IDT).
2. AIEC 60812:2006 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA) (MOD).
3. A. Shakhov, V. Piterska, O. Sherstiuk, O. Rossomakha and A. Rzheskyi, “Management of the Technical System Operation Based on Forecasting its “Aging” – Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020), Ukraine, February 18-20, 2020. CEUR Workshop Proceedings 2565, 2020, pp. 130–141.
4. International Organization for Standardization. URL : <https://www.iso.org/>.
5. Varbanec R.A. Vibroacoustic diagnostics of the turbocompensator (Vibroakusticheskaya diagnostika turbokompensatora). *Tekhnicheskaya ehkspluataciya vodnogo transporta: problemy i puti razvitiya. (Vibroacoustic diagnostics turbo compensator)*. 2020. № 1. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vibro-acoustic-diagnostics-of-turbocharger> (дата обращения: 28.09.2020).
6. Eryganov O., Varbanets R. Peculiarities of the point of the most rapid pressure growth during the compression cycle. *Diagnostics (Osobennosti tochki naibolee bystrogo rosta davleniya pri takte szhatiya. Diagnostika)*, 2018; 19 (2): 71-76.
7. Varbanets R.A. Diagnostic control of the working process of marine diesel engines in operation (Diagnosticheskii kontrol rabocheho protsessa sudovykh dizelnykh dvigatelei v ekspluatatsii). *Dissertatsiya doktora tekhnicheskikh nauk*. Odessa, 2010.
8. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance. *Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects.* – Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. 2012; 7(1): 269–275. URL : <https://doi.org/10.33082/td.2018.2-3.09>.
9. ПД 31.20.50 – 87 Comprehensive systematic maintenance and repair of ships. Basic Guide (Kompleksnaya sistematekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sudov. Osnovnoe rukovodstvo)
10. Software security Grapher.
11. Pushnikov A.Yu. Introduction to Database Management Systems. Part 1 (Vvedenie v sistemy upravleniya bazami dannykh. Chast 1. Relyatsionnaya model dannykh): *Uchebnoe posobie/Izd-e Bashkirskogo un-ta*. Ufa, 1999. 108 с. ISBN 5-7477-0350-1.
12. Aleksandrovs’ka N. I. Manage the life cycle of the vessel by improving the maintenance and repair strategy (Upravlenie zhiznennym ciklom sudna putem usovershenstvovaniya strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta): *dis. Kand. Tekhn. Nauk* : 05.22.20 / Aleksandrovs’ka Nadiya Igorivna – Odessa, 2012. 130 s.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 625.711.1

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.06>

ФУНКЦІОНАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ

Н.О. Арсеньєва¹, Г.Р. Фоменко²

¹к.т.н., доцент кафедри «Проектування доріг, геодезії і землеустрою»,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6178-2558

²к.т.н., доцент кафедри «Проектування доріг, геодезії і землеустрою»,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна,
ORCID ID:0000-0001-8789-7575

Анотація

Вступ. В Україні практично немає інформації про роль і значення функціональної класифікації доріг та про переваги функціональних систем. Це зумовлене відсутністю системи планування, яка встановлює ієрархію дорожньої мережі з урахуванням функцій, які виконуються кожною вулицею або дорогою. Перспективи розвитку мережі автомобільних доріг загального користування базуються на вирішенні відповідних наявних проблем. Аналізуючи проблеми розвитку вітчизняної дорожньої мережі, встановлено відсутність їх комплексного дослідження. Зростання транспортних потоків вимагає їх оптимізації та необхідності врахування складу і умов руху у разі нормування основних параметрів доріг, що своєю чергою потребує удосконалення нормативної бази на проектування автомобільних доріг. Розвиток дорожньої мережі потребує її впорядкування і планування, тому виникає необхідність функціональної класифікації доріг. **Мета.** У цій статті встановлені групи критеріїв віднесення автомобільних доріг до відповідних функціональних класів та запропоновано порядок прийняття рішення щодо встановлення функціонального класу дороги. **Результати.** Натепер у нормативних документах України на проектування автомобільних доріг загального користування відсутня функціональна класифікація. У результаті дослідження стану дорожньої мережі, аналізу та ранжування функціональної значимості забезпечення транспортних зв'язків на мережі автомобільних доріг встановлено, що необхідно модернізувати наявну класифікацію автомобільних доріг, згідно з їх функціональним призначенням. Було розроблено порядок визначення функціонального класу доріг з урахуванням системи критеріїв, народногосподарського, адміністративно-політичного і міжнародного значення транспортних маршрутів з огляду на міжнародний досвід проектування автомобільних доріг. **Висновки.** У статті наведено групи критеріїв віднесення автомобільних доріг до відповідних функціональних класів, порядок визначення функціонального класу доріг з урахуванням системи критеріїв та співвідношення між функціональними класами автомобільних доріг та категоріями автомобільних доріг.

Ключові слова: класифікація автомобільних доріг, функціональна класифікація доріг, функціональний клас, критерії функціональних класів, рівень обслуговування руху.

FUNCTIONAL CLASSIFICATION ROAD OF UKRAINE

N.O. Arsenieva¹, G.R. Fomenko²

¹PhD., Associate Professor at the Department
“Highway Desing, Geodesy and Land Management”,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6178-2558

²PhD., Associate Professor at the Department
“Highway Desing, Geodesy and Land Management”,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-8789-7575

Summary

Introduction. In Ukraine, there is virtually no information on the role and importance of functional classification of roads and the benefits of functional systems. This is due to the lack of a planning system that establishes the hierarchy of the road network, taking into account the functions performed by each street or road. Prospects for the development of the network of public roads are based on solving the relevant problems. Analyzing the problems of development of the domestic road network, the absence of their comprehensive study was established. The growth of traffic flows requires their optimization and the need to take into account the composition and traffic conditions in the rationing of the basic parameters of roads, which in turn requires improvement of the regulatory framework for the design of roads. The development of the road network requires its streamlining and planning, so there is a need for functional classification of roads. **Purpose.** This article establishes groups of criteria for assigning roads to the appropriate functional classes and proposes a procedure for deciding on the establishment of a functional class of the road. **Results.** At present, there is no functional classification in the normative documents of Ukraine for the design of public roads. As a result of the study of the road network, analysis and ranking of the functional significance of the provision of transport links on the road network, it was found that it is necessary to modernize the existing classification of roads, according to their functional purpose. The procedure for determining the functional class of roads was developed taking into account the system of criteria, economic, administrative, political and international significance of transport routes, taking into account the international experience of road design. **Conclusions.** The article presents groups of criteria for assigning highways to the relevant functional classes, the procedure for determining the functional class of roads taking into account the system of criteria and the relationship between functional classes of highways and categories of highways.

Key words: classification of highways, functional classification of roads, functional class, criteria of functional classes, level of traffic service.

Основний матеріал дослідження

Удосконалення класифікації автомобільних доріг, що є найважливішим елементом системи нормативних документів у дорожньому господарстві, потрібно починати з удосконалення класифікації доріг, яка регламентується нормативними документами України [1; 2]. При цьому потрібно враховувати досвід класифікації автомобільних доріг за функціональними вимогами, який наявний у багатьох країнах світу [3–5].

Вимоги до класифікації автомобільних доріг будуть такі: логічна, проста і зрозуміла на всіх рівнях застосування. Функціональна класифікація і критерії віднесення доріг до класів і категорій дає можливість класифікувати не тільки нові дороги, які проєктують, але і наявні дороги без витрат на їх перебудову згідно з вимогами нової класифікації.

Повна класифікація повинна забезпечувати встановлення єдиних принципів управління автомобільними дорогами різного рівня і приналежності, встановлювати їх основні споживчі властивості та функціональне призначення, визначати джерела та пріоритети фінансування, встановлювати стандарти змісту їх для максимального задоволення потреб користувачів, виходячи з розмірів виділених коштів, дозволяти планувати розвиток мережі доріг на тривалу перспективу, виходячи зі значення кожної дороги для роботи єдиної мережі, встановлювати єдині стандарти для проєктування автомобільних доріг відповідно до потреб руху.

У зв'язку з розглядом питань, пов'язаних з функціональною класифікацією автомобільних доріг в Україні, досить цікавим є досвід Німеччини. У нормативах Німеччини на етапі визначення категорії дороги основою є її народногосподарська потреба і функціональна значимість, а не інтенсивність руху [6; 7]. Досвід США показує, що основним у визначенні категорії дороги є її значимість та територіальна приналежність [8; 9].

Наявна мережа автомобільних доріг України складається із системи взаємопов'язаних автомобільних доріг, кожна з яких виконує певну транспортну функцію. Це забезпечення перевезень різної протяжності та транзитний рух, забезпечення вільного в'їзду в прилеглі території та місцевий рух, перерозподіл транспортних потоків серед автомобільних доріг у мережі.

Функціональний клас автомобільної дороги визначає співвідношення вказаних видів транспортних послуг і місце, яке посідає дорога в забезпеченні перевезень по мережі автомобільних доріг [10].

Для характеристики транспортних взаємозв'язків була розроблена блок-схема критеріальної бази функціональної класифікації автомобільних доріг, яка представлена на рис. 1.

Було виділено два блоки:

Блок 1. Характер перевезень, рівень ієрархії в мережі автомобільних доріг. До цього блоку віднесено:

- 1) I рівень ієрархії і I місце у складі мережі автомобільних доріг – транзитні перевезення (магістральні дороги);
- 2) II рівень ієрархії і II місце – перерозподіл транспортних потоків по мережі автомобільних доріг (колекторні, розподільні дороги);
- 3) III рівень – місцеві перевезення.

Блок 2. Функція доріг, яка складається з двох функціональних процесів:

- 1) мобільність (забезпечення руху транспортних потоків);
- 2) доступність – на дороги вищого або нижчого класів і до початкового і кінцевого пунктів поїздки. У цьому разі виїзд на розподільну дорогу не є кінцевим пунктом поїздки.

У блоці 1 визначається мета поїздки (характер перевезень), відстань поїздки, інтенсивність і склад транспортного потоку, які визначають місце дороги в ієрархії доріг мережі.

Відповідно до ієрархічного рівня дороги і характеру перевезень визначаються функціональні вимоги й умови руху.

Кожна транспортна функція (мобільність, доступність) характеризується певними характеристиками транспортного потоку і умовами руху. Основні з них, які притаманні всім випадкам:

- відстань перевезень;
- швидкість руху;
- рівень безпеки руху;
- рівень утримання транспортно-експлуатаційних характеристик дороги.

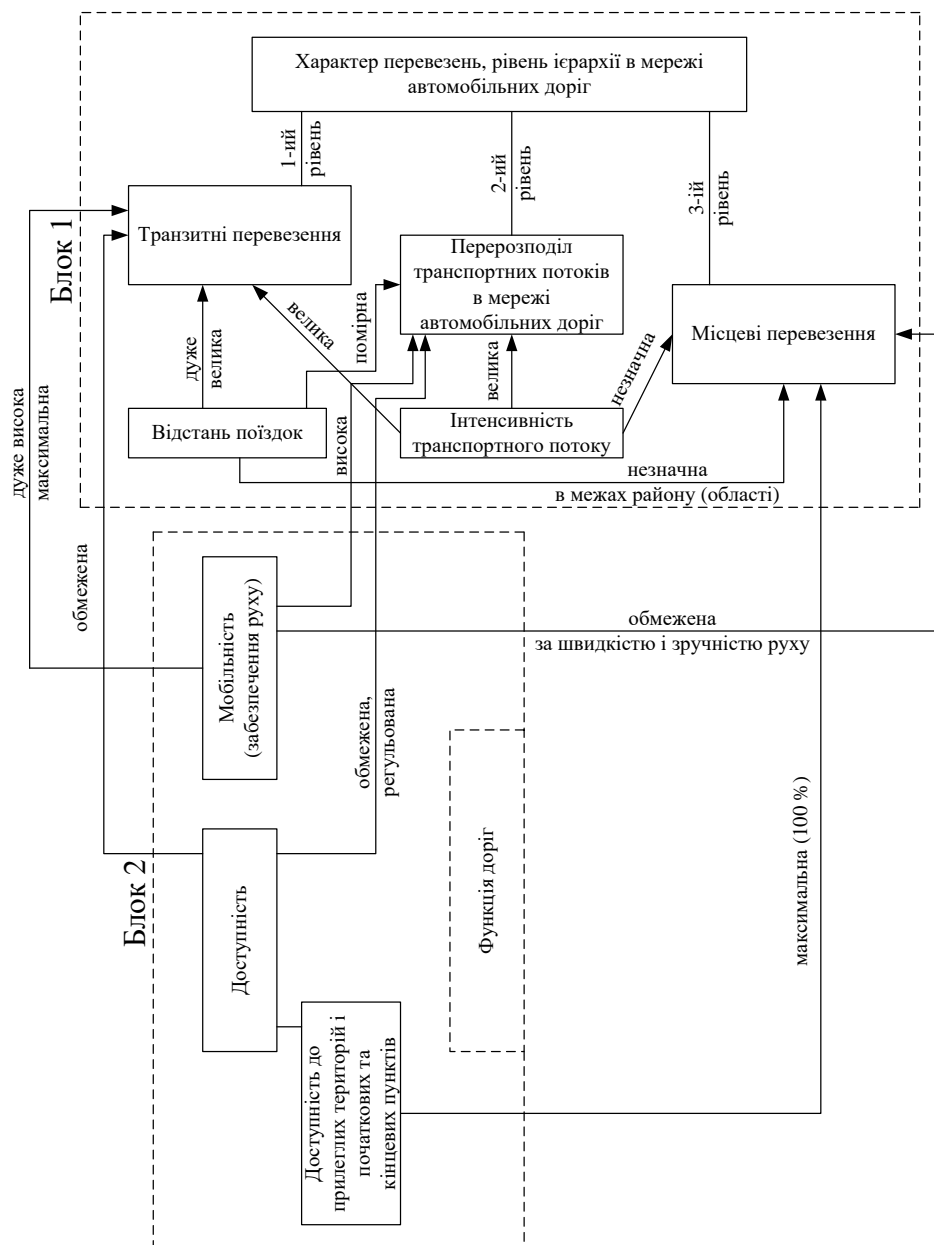


Рис. 1. Блок-схема критеріальної бази функціональної класифікації автомобільних доріг

Транспортний потік характеризується як транзитний (магістральні дороги), якщо: доля міжнародних і міжрегіональних перевезень (пробігу транспортних засобів) перевищує 30%, а разом з пробігом у внутрішньорегіональному (в межах регіону або на обласному рівні) сполученні перевищує 2/3 від загального пробігу по дорозі.

Мобільність транзитних перевезень має бути високою і не стримувати і не обмежувати транспортні процеси. Цим вимогам найбільше відповідає рівень обслуговування руху В: рух автомобілів малими групами, вільні умови для обгонів, коефіцієнти завантаження $z=0,20-0,45$, швидкість руху – коефіцієнт швидкості руху дорівнює від 0,7 до 0,9 від швидкості у вільних умовах одиничного автомобіля.

На другорядних магістралях можливі умови рівня обслуговування С – рух автомобілів великими групами (5–14 автомобілів), коефіцієнт завантаження 0,45–0,70 і коефіцієнт швидкості 0,55–0,70.

Відстань поїздок транзитних перевезень, як правило, визначається довжиною міжнародних або національних транспортних коридорів.

Але можуть бути і окремі ділянки доріг, на яких перевезення визначаються як транзитні.

Категорія автомобільної дороги призначається залежно від функціонального класу дороги і класу дороги за адміністративною класифікацією.

Категорії і рівні обслуговування автомобільних доріг, що проєктуються, повинні відповідати вимогам таблиці 1, яка встановлює співвідношення між функціональними класами автомобільних доріг та категоріями автомобільних доріг, допустимими на автомобільних дорогах рівнями завантаження та умовами доступу на автомобільні дороги.

Необхідно взяти до уваги, що для кожного функціонального класу автомобільних доріг є певні технічні категорії, і інтенсивність руху в цьому разі не є абсолютно визначальною для встановлення категорії дороги за класами.

Таблиця 1

Функціональні класи і категорії автомобільних доріг

| Функціональний клас | Клас автомобільної дороги за адміністративною класифікацією | Категорія автомобільної дороги | Гранично допустимий рівень завантаження | Умови доступу на автомобільну дорогу | Коефіцієнт швидкості руху |
|---|---|--------------------------------|---|---|---------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Основні магістральні автомобільні дороги | міжнародні, національні | I-a, I-б, (II)* | 0,45 | У різних рівнях У різних рівнях, нерегульовані** У різних рівнях, регульовані*** і нерегульовані** | 0,80–0,90 |
| Другорядні магістральні автомобільні дороги | національні (регіональні) | I-б, II, | 0,45 | У різних рівнях, нерегульовані В одному рівні, нерегульовані | 0,75–0,85 |
| Основні колекторні (розподільні) дороги | національні, регіональні | I-Б, II, (III)* | 0,70 | У різних рівнях, регульовані і нерегульовані. В одному рівні, нерегульовані. | 0,70–0,80 |

Продовження таблиці 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------------------------|----------------|------|---|-----------|
| Другорядні колекторні (розподільні) дороги | регіональні, територіальні | II, III, (IV)* | 0,70 | В одному рівні, нерегульовані і регульовані | 0,65–0,70 |
| Місцеві автомобільні дороги | обласні, районні | III, IV, V | 0,70 | В одному рівні, нерегульовані. | 0,55–0,60 |

* – як виняток призначається категорія дороги у разі незначної перспективної інтенсивності руху (менше 75 відсотків від мінімальної для нижчої категорії за функціональним класом)

** нерегульовані перетини і примикання – рух здійснюється відповідно до дорожніх знаків і розмітки.

*** регульовані перетини і примикання – рух здійснюється відповідно до сигналів світлофору, дорожніх знаків і розмітки.

За результатами проведених досліджень можна запропонувати такий порядок прийняття рішення щодо функціональної класифікації доріг.

Варіант I. Якщо директивними документами або технічним завданням на проектування автомобільної дороги чітко визначені основна транспортна функція дороги, головні контрольні точки (пункти) і суміщення дороги з іншими елементами транспортної інфраструктури (міжнародні або національні транспортні коридори, міжнародні автомобільні дороги), то функціональний клас дороги визначається за таблицею 2.

Таблиця 2

Функціональні класи автомобільних доріг

| Функціональний клас автомобільної дороги | Маршрути мережі, що з'єднують: |
|---|--|
| 1 | 2 |
| Основні магістральні автомобільні дороги | – столицю України м. Київ зі столицями іноземних держав; – столицю України м. Київ з обласними центрами; – автомобільні дороги, що є міжнародними транспортними коридорами; – суміщаються з міжнародними транспортними коридорами та/або входять до європейської мережі основних, проміжних, з'єднувальних автомобільних доріг та відгалужень, мають відповідну міжнародну індексацію |
| Другорядні магістральні автомобільні дороги | – обласні центри, великі і найбільші міста між собою; – магістральні автомобільні дороги з транспортними вузлами (морські порти, річкові порти, аеропорти, залізничні станції та інші об'єкти транспортної інфраструктури), що мають міжнародне значення; – мережу автомобільних доріг загального користування з кордонами суміжних держав |
| Основні колекторні (розподільні) дороги | – магістральні автомобільні дороги між собою; – магістральні автомобільні дороги з великими і найбільшими містами; – найбільші міста України з обслуговуючими їх транспортними вузлами (морськими і річковими портами, аеропортами, залізничними станціями та іншими транспортними об'єктами); – магістральні автомобільні дороги з об'єктами тяжіння |

Продовження таблиці 2

| 1 | 2 |
|--|---|
| Другорядні колекторні (розподільні) дороги | – магістральні автомобільні дороги з основними колекторними дорогами; – магістральні автомобільні дороги з місцевими автомобільними дорогами; – основні колекторні дороги з місцевими автомобільними дорогами; – магістральні та основні колекторні дороги з обласними центрами, з районними центрами; – обласні центри з транспортними вузлами (аеропортами, морськими, річковими портами та іншими транспортними об'єктами) обласного та районного значення; – забезпечують під'їзд до об'єктів тяжіння (у тому числі спеціального призначення) обласного та районного значення. |
| Місцеві автомобільні дороги | |

Варіант II. Якщо проектується автомобільна дорога як елемент мережі доріг або мережа доріг регіону «з нуля», то пропонується такий порядок класифікації:

– 1-ий крок – аналіз складу й інтенсивності транспортних потоків у межах економічного (народногосподарський комплекс) регіону по мережі автомобільних доріг;

– 2-ий крок – встановлення класу доріг за адміністративним призначенням і наявністю міжнародних транспортних коридорів;

– 3-ий крок – встановлення характеру перевезень: транзитні, перерозподіл транспортних потоків по мережі, місцеві перевезення на окремих характерних ділянках дороги;

– 4-ий крок – встановлення вантажоутворюючих (початкові пункти поїздки) і вантажопоглинаючих (кінцеві пункти) пунктів;

– 5-ий крок – встановлення місця доступу транспортних потоків на інші дороги і перелік доріг, по яких можливо перерозподілити транспортні потоки місцевих перевезень (районних, обласних) на дороги вищих за ієрархією;

– 6-ий крок – оцінювання співвідношення двох функцій (мобільність і доступність) на конкретних дорогах і на окремих специфічних ділянках доріг;

– 7-ий крок – з урахуванням необхідного співвідношення двох основних функцій доріг (мобільність і доступність), відстані перевезень, складу та інтенсивності транспортного потоку визначити основні транспортно-експлуатаційні параметри дороги (насамперед швидкісний режим, рівні безпеки руху та рівні обслуговування руху). Визначити пріоритетні параметри за характеристиками перевезень;

– 8-ий крок – на підставі всього вищесформульованого визначається функціональний клас дороги.

Висновки

Таким чином, категорія автомобільної дороги призначається залежно від функціонального класу дороги і класу дороги за адміністративною класифікацією.

Категорії і рівні обслуговування автомобільних доріг, що проектуються, повинні відповідати вимогам таблиці 1, яка встановлює співвідношення між

функціональними класами автомобільних доріг та категоріями автомобільних доріг, допустимими на автомобільних дорогах рівнями завантаження та умовами доступу на автомобільні дороги.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Київ, 2015. 91 с.
2. Закон України «Про автомобільні дороги». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 2005. № 51. Ст. 556.
3. Road Classification System. Summary Document. Toronto Transportation Services. Toronto, August 2013. 34 p.
4. Assessing the Feasibility of a National Road Classification. Report to ICSM on National Road Classification Developments. Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping. October 2006. 42 p.
5. Guidance on Road Classification and the Primary Route Network. Department for Transport. January 2012. 26 p.
6. Richtlinien für die Anlage von Strassen. Knotenpunkte: (RAS-K) Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte: RAS-K-1: Korrigierter Nachdruck. 86 S.
7. Автомобильные дороги Германии. StraSSen vermessen mit 100 Sachen. BauPortal. 2013. 125, No. 9, p. 3.
8. Functional Classification Comprehensive Guide. Virginia Department of Transportation. 2014. June 6. 23 p.
9. A Guide to Functional Classification, Highway Systems and Other Route Destinations in Montana. State of Montana Department of Transportation. March 2017. 6 p.
10. Скворцов О.В. О функциональной классификации дорог. *Автомобильные дороги*. 2015. № 6. С. 34–38.

REFERENCES

1. DBN V.2.3-4:2015. Highways. Kyiv, 2015. 109 pp. [DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo] [in Ukrainian].
2. Law of Ukraine “On Highways”, Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 2005, No. 51, p. 556) {Part 7 of Article 8 as amended in accordance with the Law No. 1764-VIII (1764-19) 17.11.2016}{Zakon Ukrainy “Pro avtomobilni dorohy”, Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 2005. No. 51. St. 556] [in Ukrainian].
3. Road Classification System. Summary Document. Toronto Transportation Services. Toronto, August 2013. 34 p.
4. Assessing the Feasibility of a National Road Classification. Report to ICSM on National Road Classification Developments. Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping. October 2006. 42 p.
5. Guidance on Road Classification and the Primary Route Network. Department for Transport. January 2012. 26 p.
6. Richtlinien für die Anlage von Strassen. Knotenpunkte: (RAS-K) Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte : RAS-K-1: Korrigierter Nachdruck. 86 S.

7. Highways in Germany. StraSSen vermessen mit 100 Sachen. BauPortal. 2013.125, No. 9, p. 3.
8. Functional Classification Comprehensive Guide. Virginia Department of Transportation. 2014. June 6. 23 p.
9. A Guide to Functional Classification, Highway Systems and Other Route Destinations in Montana. State of Montana Department of Transportation. March 2017. 6 p.
10. Skvortsov, O.V. (2015). On functional classification of roads. Road. 2015. No. 6. Pp. 34–38 [O funktsionalnoy klassifikatsii dorog. Avtomobilnyye dorogi] [in Russian].

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ
НА НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ З ОБМЕЖЕНОЮ ШВИДКІСТЮ

Х.А. Барвінська¹, О.М. Грицунь²

¹к.т.н., доцент, доцент кафедри «Транспортні технології»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3464-3728

²к.т.н., асистент кафедри «Транспортні технології»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-9829-5123

Анотація

Вступ. У багатьох роботах стверджено, що транспортна затримка на нерегульованих перехрестях залежить від інтенсивності потоку головного напрямку та інтенсивності пішохідного потоку. **Мета** – з використанням програмного середовища VISSIM дослідити затримки транспортногo потоку на нерегульованих перехрестях за різної швидкості потоку. **Результати.** У центральній частині міста Львова вибрано ділянки вулично-дорожньої мережі для проведення експериментальних досліджень. Розраховано трикутники відстані видимості, визначено проблемні місця, де необхідно встановити дорожній знак 3.29 «Обмеження максимальної швидкості руху». У роботі проведено аналіз наявних методів визначення транспортних затримок на нерегульованих перехрестях. Наведено методуку оцінки середньої швидкості руху транспортногo потоку та методуку імітаційного моделювання транспортних потоків з метою побудови теоретичної моделі. Проведено аналіз залежності зміни транспортних затримок, отриманих на основі вимірних фактичних даних та методом моделювання транспортних потоків. Розраховано відстань видимості для кожного перехрестя з урахуванням швидкісного режиму. Наведено графічні залежності зміни середньої та максимальної довжини черги транспортних засобів за різних режимів світлофорного регулювання на другорядному напрямку. Визначено, що середня швидкість потоку змінюється від 17 км/год до 38 км/год у разі зміни обмеження максимальної швидкості від 15 км/год до 40 км/год. Встановлено, що найменша середня транспортна затримка на нерегульованих перехрестях спостерігається у разі швидкості транспортногo потоку 30 км/год. **Висновки.** Наведено обґрунтування введення рекомендованого швидкісного режиму на ділянках вулиць з обмеженою швидкістю руху, що враховує транспорту затримку, довжину черги, геометричні параметри вулиці, наявність зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів, інтенсивність та склад транспортногo потоку. Запропонована методука управління транспортними потоками другорядного напрямку на нерегульованих перехрестях дозволяє підвищити безпеку руху під час роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку.

Ключові слова: нерегульоване перехрестя, швидкість потоку, імітаційне моделювання, довжина черги, транспортна затримка, інтенсивність руху.

INVESTIGATION OF TRANSPORT FLOW DELAY
AT UNSIGNALIZED INTERSECTIONS WITH LIMITED SPEED

Kh.A. Barvinska¹, O.M. Hrutsyn²

¹ Phd, Associate professor,
Associate Professor at the Department “Transport Technology”,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID:0000-0003-3464-3728

²Phd, Assistant at the Department “Transport Technology”,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID:0000-0001-9829-5123,

Summary

Introduction. Many studies have argued that traffic delays at unregulated intersections depend on the intensity of the main flow and the intensity of pedestrian flow. **Purpose.** It is proposed to investigate traffic flow delays using the VISSIM software environment at unsignalized intersections at different flow rates. **Results.** Areas of the street and road network for experimental research were selected in the central part of Lviv. Triangles of visibility distance are calculated, problem places where it is necessary to establish a road sign 3.29 “Limitation of the maximum speed of movement” are defined. An analysis of existing methods for determining traffic delays at unregulated intersections is carried out at the paper. The method of estimating the average speed of traffic flow and the method of simulation modeling of transport flows in order to build a theoretical model are presented. The analysis of the dependence of the change of transport delays, obtained based on measured actual data and the method of modelling traffic flows, is carried out. The visibility distance for each intersection is calculated taking into account the speed mode. Graphical dependences of the change of the average and maximum length of the queue of vehicles under different modes of traffic light regulation in the secondary direction are given. It is determined that the average flow speed varies from 17 km/h to 38 km/h when changing the maximum speed limit from 15 km/h to 40 km/h. It is established that the lowest average traffic delay at unregulated intersections is observed at a traffic flow speed of 30 km/h. **Conclusions.** The substantiation of the introduction of the recommended speed regime on sections of streets with limited speed is given which takes into account transport delay, queue length, geometric parameters of the street, the presence of public transport stops and pedestrian crossings, traffic intensity and composition. The proposed method of controlling secondary traffic flows at unsignalized intersections, allows to increase traffic safety when traveling in secondary vehicles.

Key words: unsignalized intersections, flow speed, simulation, queue length, transport delay, traffic intensity.

Вступ

Зі зростанням рівня автомобілізації на дорогах виникають проблеми, такі як незадовільне утримання вулично-дорожньої мережі (ВДМ), невідповідність забудови вулиць і доріг умовам руху сьогодення на них (розміри проїжджої частини і пішохідних доріжок не розраховані під наявну інтенсивність руху, не дають

можливості врахувати новоутворені велосипедні смуги та виділені смуги руху для громадського транспорту), затримки руху у разі проїзду нерегульованих перехресть, порушення правил дорожнього руху тощо. Вони вимагають серйозних досліджень та конструктивних рішень стосовно їх вирішення.

У разі високої інтенсивності руху на міських вулицях час, що витрачається кожним транспортним засобом (під час руху з другорядних напрямків) в очікуванні прийнятого інтервалу на головному напрямку, щоб безпечно проїхати перехрестя, суттєво зростає. Цей час називається затримкою транспортних засобів [1–3]. Незважаючи на стрімкий розвиток нових технологій управління міським рухом, усе ще залишається велика кількість нерегульованих перехресть, що потребують покращення умов проїзду для зменшення затримок та підвищення безпеки руху на них.

Якщо причиною затримки транспортних засобів на регульованих перехрестях є очікування дозволеного сигналу світлофора, то для визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях необхідно досліджувати та вивчати умови руху як на головному напрямку, так і на другорядному [4].

Постановка проблеми

Безпека руху учасників дорожнього руху на нерегульованих перехрестях визначається забезпеченням видимості в плані вулиці, яка підходить до перехрестя. Під час виконання маневрів пересікання або злиття автомобілів необхідно бачити транспортний засіб, який рухається по головному напрямку. Оскільки розрахункові вимоги до мінімальної відстані видимості для безпечного гальмування та зупинки однакові, проте вони не враховують дорожні умови, швидкісні режими руху автомобілів, психофізіологічні особливості поведінки водіїв, стан дорожнього покриття тощо. Тому основною проблемою є обґрунтування введення рекомендованого швидкісного режиму на ділянках вулиць з обмеженою швидкістю руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нерегульовані перехрестя – це ділянки дороги, на яких водії приймають рішення про проїзд відповідно до правил дорожнього руху [1; 3]. В [5] описано методологію систематичної оцінки очікуваних середніх затримок на мультимодальних нерегульованих перехрестях, що є адаптованою до використання в різних міських умовах. Методологія враховує значення попиту для різних транспортних потоків (за інтенсивністю руху), а також пріоритет і напрямок кожного потоку, щоб визначити пропускну здатність для кожного підходу.

У результаті аналізу нерегульованих перехресть у [6] наведено метод визначення пропускну здатності, який базується на взаємодії між конфліктними потоками із середньою швидкістю та напрямками руху потоків. Усі можливі потоки конфліктів розглядалися одночасно, а взаємодія враховувалась за допомогою емпіричних досліджень регресійної моделі.

Модель затримки обслуговування, заснована на мікроскопічному аналізі даних затримки в умовах змішаного руху на нерегульованих перехрестях, запропонована в [7]. У побудові такої моделі враховувався склад транспортного потоку і як

результат представлено, що велика кількість вантажних автомобілів суттєво впливає на швидкість проїзду нерегульованих перехресть.

Нові підходи до моделювання та аналізу проїзду нерегульованих перехресть запропоновано в [8], які базуються на врахуванні психофізіологічних особливостей водіїв у виборі інтервалів між автомобілями на головній дорозі для проїзду перехрестя. Це дає можливість оцінювати пропускну здатність нерегульованих перехресть з урахуванням затримок руху.

Формування цілей статті

Сформульовано такі завдання: проаналізувати закономірності та основні методи дослідження транспортних затримок на нерегульованих перехрестях; провести аналіз залежності зміни транспортних затримок, отриманих на основі виміряних фактичних даних та методом моделювання транспортних потоків; дослідити вплив умов руху на ділянках дороги з обмеженою швидкістю руху на затримки транспортного потоку.

Виклад основного матеріалу

Для безпечного проїзду нерівнозначним нерегульованим перехрестям на одному рівні транспортними засобами другорядного напрямку необхідне одночасне виконання двох умов роз'їзду:

1) безпечного роз'їзду – наявність розриву у транспортному потоці головного напрямку;

2) забезпечення достатньої видимості руху.

Якщо перша умова характеризується таким показником, як інтенсивність потоку, то для виконання другої умови необхідно визначити відстань видимості на перехресті. Відстань видимості – це відстань, після якої обриси предметів, за якими спостерігають, стають нечіткими. Розрахунок відстаней видимості на перехресті визначається за формулою [3; 9; 10]:

$$L_B^a = \frac{t_p \cdot V_a}{3,6} + \frac{k_e \cdot V_a^2}{254 \cdot (\varphi \pm i)} + l_a + l_b \quad (1)$$

t_p – час реакції водія, с; V_a – швидкість руху транспортного засобу, км/год;

k_e – коефіцієнт ефективності гальмування; φ – коефіцієнт повздовжнього зчеплення коліс з дорожнім покриттям; i – поздовжній ухил автомобільної дороги, %; l_a – довжина автомобіля, м; l_b – відстань безпеки між автомобілями, які зупинилися, м.

Для проведення експериментальних досліджень визначення відстані видимості на перехресті вибрано ділянки ВДМ міста Львова. Оскільки найбільш завантажені транспортним потоком вулиці розташовуються в центральній частині міста, отже, зона проведення дослідження була встановлена на вулиці І. Франка. Було вибрано ділянку схеми ВДМ, що складається з трьох нерегульованих перехресть з відмінними умовами руху, геометричними параметрами та складом транспортного потоку (перехрестя вул. І. Франка – Зелена, вул. І. Франка – Самчука; вул. І. Франка – Снопківська). Терміни проведення експерименту були визначені осіннім періодом за сонячних погодних умов протягом вересня.

Проведемо розрахунок сторін кожного з трикутників видимості на перехресті вулиць І. Франка – Зелена, використовуючи формулу (1):

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 34^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 27,69 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 34}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 39^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 33,8 \text{ м}$$

На рисунку 1 зображені допустимі напрямки руху транспортних засобів на перехресті, місця взаємодії транспортних потоків (конфліктні точки) та трикутник видимості.

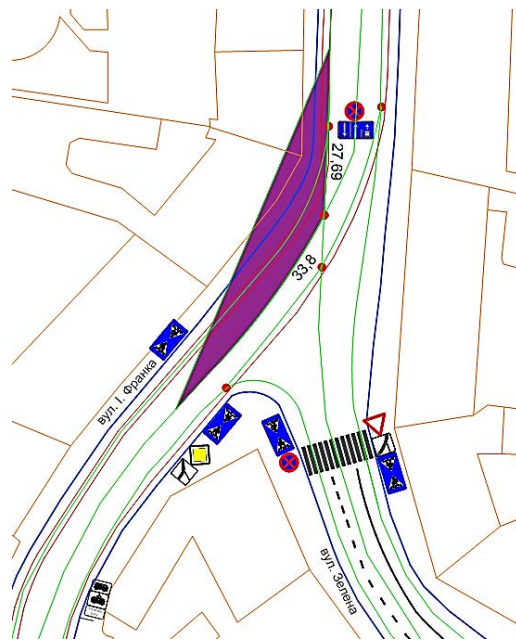


Рис. 1. Трикутник видимості на нерегульованому перехресті вулиць І. Франка – Зелена

На перехресті необхідно встановити дорожній знак 3.29 «Обмеження максимальної швидкості руху», оскільки після проведених розрахунків трикутники видимості перетинали будівлі та інші споруди, що є перешкодами для зорового сприйняття водіями дорожньої ситуації.

На перехресті вулиць І. Франка – Снопківська проведемо розрахунок сторін кожного з трикутників видимості:

1 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 22}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 32^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 15,9 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 17,69 \text{ м}$$

2 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 22}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 32^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 20,9 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 16}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 36^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 15,68 \text{ м}$$

3 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 17,69 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 23}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 33^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 16,48 \text{ м}$$

4 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 17,69 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 16}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 36^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 12,68 \text{ м}$$

На рисунку 2 зображені допустимі напрямки руху транспортних засобів на перехресті, місця взаємодії транспортних потоків (конфліктні точки) та трикутник видимості.

На перехресті швидкісні режими руху взяті з натурних досліджень, тому після розрахунків впливає, що 2 трикутник відстані видимості перетинає будівлі та інші споруди, що є перешкодами для зорового сприйняття водіями дорожньої ситуації. У розрахунках для трикутників 1, 3, 4 використано швидкості, за яких відстані видимості не перетинають межі будівель та споруд.

На перехресті вулиць І. Франка – Самчука, використовуючи формулу (1), проведемо розрахунок сторін кожного з трикутників видимості:

1 трикутник видимості:

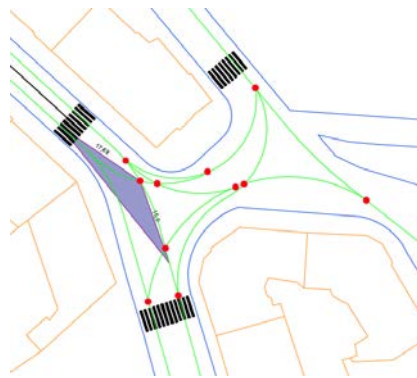
$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 30}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 24,57 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 36}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 24,57 \text{ м}$$

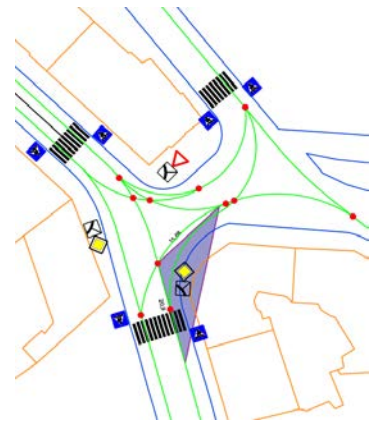
2 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 30}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 36^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 25,01 \text{ м}$$

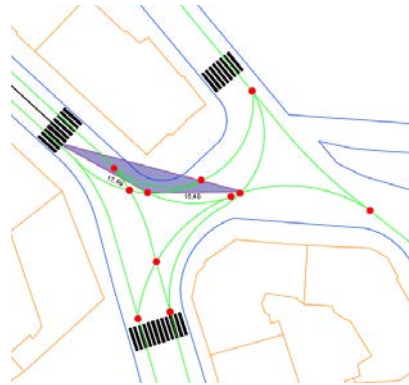
$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 36}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 37^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 26,69 \text{ м}$$



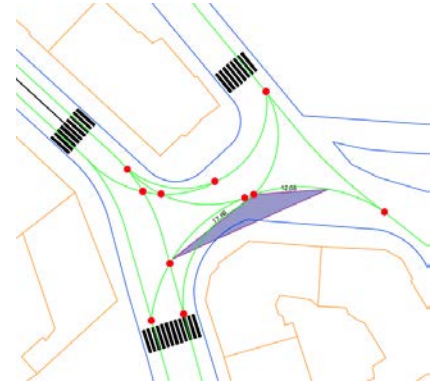
1 трикутник видимості



2 трикутник видимості



3 трикутник видимості



4 трикутник видимості

Рис. 2. Трикутники видимості на нерегульованому перехресті
вулиць І. Франка – Снопківська

На рисунку 3 зображені допустимі напрямки руху транспортних засобів на перехресті, місця взаємодії транспортних потоків (конфліктні точки) та трикутник видимості.

Відстань трикутника видимості 2 перетинає будівлю, тому необхідно вводити обмеження максимальної дозволеної швидкості руху. На перехресті для розрахунку 1 трикутника відстані видимості швидкісні режими руху взяті з натурних досліджень, тому після розрахунків швидкості не потрібно знижувати.

З урахуванням результатів натурних досліджень проведено моделювання з метою визначення порівняння транспортних затримок на перехресті за наявних умов руху та з урахуванням впливу умов руху на досліджуваних ділянках з обмеженою швидкістю руху. На досліджуваних об'єктах відбувалася ситуація, коли трикутники відстаней видимості перетинали будівлі та інші

споруди, що є перешкодами для зорового сприйняття водіями дорожньої ситуації. Тому на таких досліджуваних об'єктах встановлювався дорожній знак 3.29 «Обмеження максимальної швидкості руху».

З метою визначення транспортної затримки за різних режимів регулювання на другорядному напрямку проведено імітаційне моделювання (для п'яти циклів) зі збільшенням (зменшенням) максимальної швидкості руху за наявної вхідної інтенсивності транспортних потоків. Результати моделювання визначення величини затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях за різних режимів регулювання на другорядному напрямку наведено у таблиці 1.

На основі проведених досліджень у спеціалізованому продукті PTV VISSIM побудовано графічну залежність визначення величини затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях за різних режимів регулювання на другорядному напрямку (рисунок 4–6).

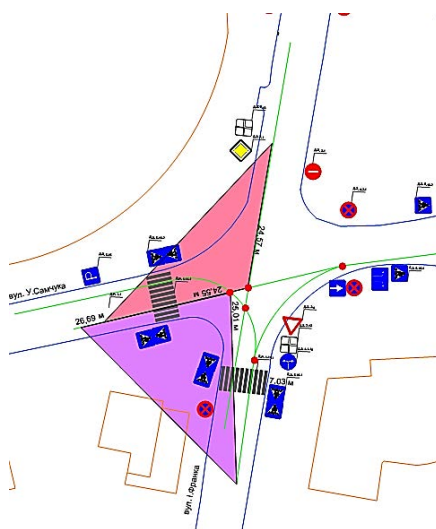


Рис. 3. Трикутники видимості на нерегульованому перехресті вулиць І. Франка – У. Самчука

Таблиця 1

Результати моделювання визначення величини затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

| Обмеження максимальної швидкості руху на другорядному напрямку, км/год | Середня транспортна затримка, с/авт. | Середня довжина черги, м | Максимальна довжина черги, м |
|--|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Перехрестя вулиць І. Франка – Зелена | | | |
| 20 | 17,56 | 48,15 | 274,15 |
| 30 | 14,26 | 35,14 | 214,61 |
| 40 | 18,54 | 39,51 | 241,01 |
| 50 | 20,35 | 53,14 | 295,36 |
| Перехрестя вулиць І. Франка – Снопківська | | | |
| 20 | 11,36 | 29,63 | 204,32 |
| 30 | 8,14 | 26,15 | 185,14 |
| 40 | 13,54 | 30,14 | 206,52 |
| 50 | 15,21 | 32,01 | 212,32 |
| Перехрестя вулиць І. Франка – У. Самчука | | | |
| 20 | 11,59 | 29,31 | 181,3 |
| 30 | 10,54 | 27,01 | 174,14 |
| 40 | 12,78 | 31,26 | 197,28 |
| 50 | 14,84 | 33,12 | 203,12 |

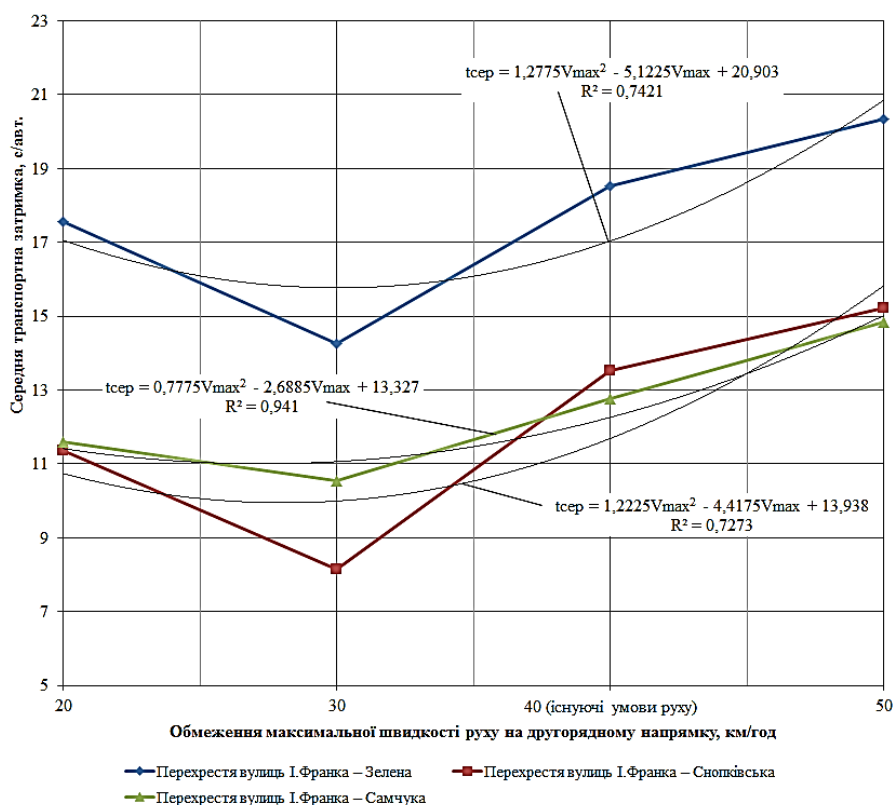


Рис. 4. Графік зміни середньої транспортної затримки за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

Проведений початковий аналіз зміни середньої транспортної затримки за різних режимів регулювання на другорядному напрямку свідчить про те, що найменша середня транспортна затримка спостерігається у разі швидкості транспортного потоку 30 км/год і становить на перехресті: вул. І. Франка – Зелена 14,26 с/авт.; вул. І. Франка – Снопківська 8,14 с/авт.; вул. І. Франка – У. Самчука 10,54 с/авт. Це пояснюється тим, що у містах із щільною забудовою за такої рекомендованої швидкості руху зменшується відстань трикутників видимості. Це своєю чергою підвищує безпеку учасників дорожнього руху.

Великі значення середньої та максимальної довжини черги за різних режимів регулювання на другорядному напрямку (рисунки 5 та 6) спостерігаються у разі максимально дозволеної швидкості руху – 50 км/год. За заданих умов руху на перехресті вул. І. Франка – Зелена середня довжина черги становить 53,14 м, максимальна довжина черги – 295,36 м; вул. І. Франка – Снопківська: середня довжина черги становить 32,01 м, максимальна довжина черги – 212,32 м; вул. І. Франка – У. Самчука: середня довжина черги становить 33,12 м, максимальна довжина черги – 203,12 м. Також великого значення довжина черги набуває за швидкості 20 км/год. Це пояснюється тим, що на підході до перехрестя транспортним засобам потрібно більше часу, щоб покинути досліджувану ділянку.

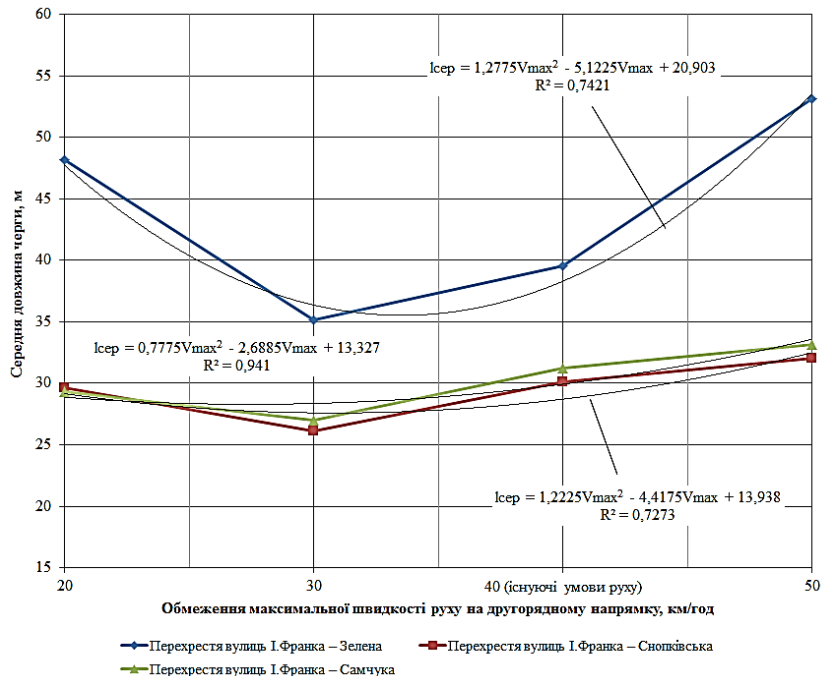


Рис. 5. Графік зміни середньої довжини черги за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

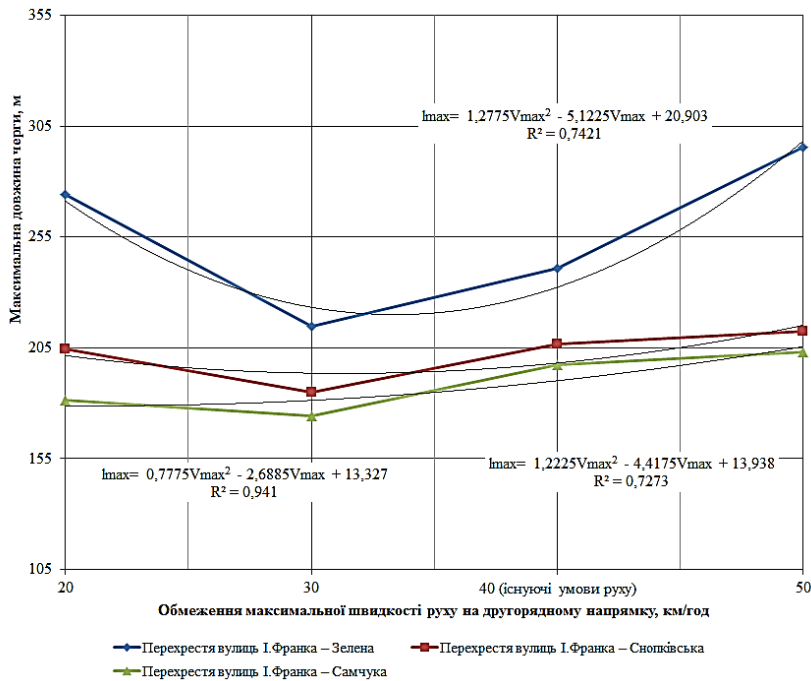


Рис. 6. Графік зміни максимальної довжини черги за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

Висновки

Таким чином, запропонована методика управління транспортними потоками другорядного напрямку на нерегульованих перехрестях дозволяє підвищити безпеку руху під час роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку.

Отже, під час обґрунтування проєктування доцільності (або заборони) введення рекомендованого швидкісного режиму на ділянках вулиць з обмеженою швидкістю руху необхідно враховувати не тільки транспортну затримку та довжину черги, але і геометричні параметри вулиці, наявність зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів, інтенсивність та склад транспортного потоку тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Врубель Ю.А. Определение потерь в дорожном движении : монография / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. Минск : БНТУ, 2006. 240 с.
2. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков : монография. Ростов-на-Дону : Изд-во журн. «Изв. вузов Сев.-Кавк. региона», 2005. 1082 с.
3. Лобанов Е.М. Пропускная способность автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1978. 247 с.
4. Васильева Г.Ю. Методи мінімізації затримок транспорту на магістральній вулично-дорожній мережі міст України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування». Київ, 2007. 21 с.
5. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5, Issue 4, December 2016, Pp. 257–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.03.002>.
6. Joewono Prasetijoa. Capacity of Unsignalized Intersections under Mixed Traffic Conditions / J. Prasetijoa, Mehdi H. Poura, Seyed M.R. Ghadiria. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden. June 28 – July 1, 2011. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 16. 2011. Pp. 676–685.
7. Satish Chandra. Microscopic Analysis of Service Delay at Uncontrolled Intersections in Mixed Traffic Conditions. / S. Chandra, A. Agrawal, A. Rajamma. *Journal of Transportation Engineering*. No. 135(6), June 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2009)135:6(323).
8. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5, Issue 4, December 2016, Pp. 257–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.03.002>.
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. Rod J. Troutbeck. Limited priority merge at unsignalized intersections/Rod J. Troutbeck, Soichiro Kako. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*. Volume 33, Issues 3–4, April 1999, pp. 291–304. URL: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00046-9).

REFERENCES

1. Vrubel', Ju. (2006). Determination of losses in road traffic [Opredelenye poter v dorozhnom dvizhenii]. Minsk: BNTU, 240 p.
2. Zhyvohliadov, V. (2005). Theory of traffic and pedestrian flows [Teoriya dvizheniya transportnykh i peshehodnykh potokov]. Rostov-na-Donu, Transport. 1082 p.
3. Lobanov, E. (1978). Road capacity [Propusknaya sposobnost avtomobilnykh dorog]. Moscow, Transport. 247 p.
4. Vasileva, G. (2007). The methods of minimization of transport delays on highway cities of Ukraine [Metody minimizatsii zatrymok transportu na mahistralnii vulychno-dorozhniy mrezhi mist Ukrainy]. Kyiv: KNUBIA, 21 p.
5. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5, Issue 4, December 2016, Pp. 257–267. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.03.002>.
6. Joewono Prasetijoa. Capacity of Unsignalized Intersections under Mixed Traffic Conditions / J. Prasetijoa, Mehdi H. Poura, Seyed M.R. Ghadiria. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden. June 28 – July 1, 2011. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 16, 2011. Pp. 676–685.
7. Satish Chandra. Microscopic Analysis of Service Delay at Uncontrolled Intersections in Mixed Traffic Conditions. / S. Chandra, A. Agrawal, A. Rajamma. *Journal of Transportation Engineering*, 135(6), June 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2009)135:6(323); Abhishek. (2019). Generalized gap acceptance models for unsignalized intersections / Abhishek, Boon M.A.A., Mandjes M. *Mathematical Methods of Operations Research*. Volume 89. Pp. 385–409. DOI: 10.1007/s00186-019-00662-0.
8. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5. Issue 4. December, 2016, Pp. 257–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.03.002>.
9. Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu: pidruchnyk [Organization and regulation of traffic] / Za zah. red. V.P. Polishchuka; O.O. Bakulich, O.P. Dziuba, V.I. Yeresov ta in. Kyiv: Znannia Ukrainy, 2012. 467 s.
10. Rod J. Troutbeck. Limited priority merge at unsignalized intersections / Rod J. Troutbeck, Soichiro Kako. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*. Volume 33, Issues 3–4, April 1999, pp. 291–304. URL: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00046-9).

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ
ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ НА КОНТЕЙНЕРНИХ
ТЕРМІНАЛАХ ВАНТАЖНИХ СТАНЦІЙ

К.В. Крячко

к.т.н., доцент кафедри «Залізничні станції та вузли»,
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3087-1272

Анотація

Вступ. Питання організації перевезень та рівень обслуговування на залізничному транспорті у найближчі роки [1] повинні в повному обсязі відповідати європейським стандартам і в першу чергу на тих напрямках, які входять до транспортних коридорів [2], де основна частина вантажів, крім масових, планується до перевезення у критому рухомому складі та контейнерах. Ці задачі, в умовах обмежених ресурсів, вимагають розробки оптимальних рішень удосконалення технології та конструкції вирішальних сортувальних і вантажних станцій [3] з метою ресурсозбереження та максимально можливого скорочення терміну доставки вантажів до споживачів при забезпеченні повного їх збереження і якісного обслуговування. **Мета.** У даній статті досліджуються питання оптимізації управління транспортними засобами на контейнерних терміналах в умовах пріоритетного обслуговування окремих потоків контейнерів із досягненням мінімальних приведених витрат, у яких знаходять відображення такі показники, як продуктивність праці, витрати енергоресурсів, дальність переміщення перевантажувальних засобів і вантажів тощо. **Результати.** За результатом хронометражних спостережень [4; 5] визначено що дальність переміщення козлових кранів при обслуговуванні рухомого складу з великотоннажними контейнерами [6] коливається у межах від 34 до 66 м при жорсткій спеціалізації ділянок і секцій секторів контейнерних площадок та від 43 до 60 м при змінній їх спеціалізації і різній інтенсивності надходження вагонопотоку; зміна інтенсивності надходження автотранспорту при аналогічних умовах спеціалізації суттєво не впливає на дальність переміщення кранів при навантажуванні-розвантажуванні на площадку і при жорсткій спеціалізації коливається від 38 до 68 м, а при змінній – від 36 до 51 м; середня дальність переміщення кранів при обслуговуванні середньотонажних контейнерів [7] скорочується у межах від 29 до 54 м при жорсткій спеціалізації та від 32 до 48 м – при змінній; обслуговування транзитних контейнерів збільшує дальність переміщення кранів у середньому до 84 м. **Висновки.** Тому дана робота спрямована на розробку теоретичного підходу до організації роботи перевантажувальних засобів на контейнерних терміналах з певними практичними висновками та рекомендаціями щодо поєднання технологічних і конструктивних параметрів [8; 9], які б створили умови щодо скорочення тривалості знаходження рухомого складу в процесі його обслуговування на вантажних фронтах і зменшення щорічних експлуатаційних витрат.

Тобто впровадження оптимальної технології управління перевантажувальними засобами [10] повинне відповідати такій конструкції станції і контейнерного терміналу, яка б дала можливість у повній змозі реалізувати розрахункові параметри з мінімальними експлуатаційними витратами [11].

Ключові слова: контейнерний термінал, енергоресурси, перевантажувальні засоби, рухомий склад, фронти навантажування-розвантажування.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF WORK OF TRANSHIPMENT MEANS ON CONTAINER TERMINALS OF CARGO STATIONS

K.V. Kryachko

Ph.D., Associate Professor at the Department "Railway Stations and Units",
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3087-1272

Summary

Introduction. The issues of transportation organization and the level of service on railway transport in the coming years should fully comply with European standards and especially in those areas that are part of transport corridors, where the bulk of cargo, except for bulk, is planned for transportation in covered rolling stock and containers. These tasks, in conditions of limited resources, require the development of optimal solutions to improve the technology and design of critical sorting and cargo stations in order to save resources and minimize the time of delivery of goods to consumers while ensuring their full safety and quality service. **Purpose.** This article examines the issues of optimizing the management of vehicles at container terminals in terms of priority maintenance of individual flows of containers with the achievement of the minimum reduced costs, which reflect such indicators as productivity, energy costs, range of transshipment vehicles and cargo and more. **Results.** According to the results of time observations, it is determined that the range of gantry cranes in the maintenance of rolling stock with large containers ranges from 34 to 66 m with strict specialization of sections and sections of container sites and from 43 to 60 m with variable specialization and different intensity of traffic; the change in the intensity of traffic under similar conditions of specialization does not significantly affect the range of cranes during loading and unloading on the site and with rigid specialization ranges from 38 to 68 m, and with variable – from 36 to 51 m; the average range of cranes when servicing medium-capacity containers is reduced from 29 to 54 m with rigid specialization and from 32 to 48 m with variable; maintenance of transit containers increases the range of cranes to an average of 84 m. **Conclusions.** Therefore, this work is aimed at developing a theoretical approach to the organization of handling transshipment facilities at container terminals with certain practical conclusions and recommendations for combining technological and design parameters that would create conditions to reduce the duration of rolling stock in the process of its maintenance on cargo fronts and reduce annual operating costs. That is, the introduction of optimal technology for handling transshipment facilities should be consistent with the design of the station and the container terminal, which would allow to fully implement the design parameters with minimal operating costs.

Key words: container terminal, energy resources, reloading means, rolling stock, loading and unloading fronts.

Вступ

Контейнерні термінали, що становлять складний комплекс пристроїв і споруд, призначених для переробки контейнерів і контрейлерів різної тоннажності, їх зберігання та перевантажування, оснащені навантажувально-розвантажувальними засобами (козловими, мостовими, автомобільними кранами, автонавантажувачами і ін.); кількість та експлуатаційна продуктивність яких залежить від багатьох факторів, серед яких дальність їх переміщення є одним із основних [12].

Згідно з [13] передбачається збільшення обсягу перевезень вантажів і в першу чергу в межах транспортних коридорів, де основна маса вантажів буде перевозитися у критих вагонах та контейнерах (крім масових вантажів). Спорудження нових контейнерних терміналів або їх розвиток в умовах обмежених капіталовкладень складають певну проблему, тому основна увага повинна бути приділена впровадженню нових та раціональній зміні наявних технологій.

Під час складання оперативних планів [14; 15] роботи контейнерних терміналів практично неможливо урахувати нерівномірність надходження рухомого складу від залізниці та автотранспорту, що суттєво впливає на заповнення секторів площадок і вимагає зміни їх спеціалізації з відправлення і надходження. В окремих випадках може змінюватися спеціалізація за окремими призначеннями плану формування. Це викликає додаткові перепробіги перевантажувальних засобів і збільшує довжину холостих рейсів.

Більшість контейнерних площадок не мають спеціальних секцій для розташування порожніх і несправних контейнерів, що скорочує корисну місткість спеціалізованих секторів для навантажених контейнерів як із боку залізничного, так і з боку автомобільного транспорту, а також викликає додаткові перепробіги [16].

Виклад основного матеріалу

Особливу невизначеність у плануванні роботи навантажувально-розвантажувальних транспортних засобів [17; 18] спричиняє сортування транзитних контейнерів, переміщення яких можливе безпосередньо з вагона у вагон [19] у районі роботи одного крана або в межах декількох районів, а також із додатковим перевантажуванням на контейнерну площадку і навіть із передачею на іншу площадку.

Крім цього, специфіка роботи перевантажувальних пристроїв залежить від виду терміналів, які спеціалізуються на обслуговуванні великотоннажних (від 10 до 30 т), середньотоннажних (до 10 т) та об'єднаних типів контейнерів. Термінали першого та третього видів розташовуються, як правило, у великих залізничних вузлах і водних портах, а другого виду – на території вантажних районів дільничних і вантажних станцій.

Хронометражні спостереження роботи козлових кранів на контейнерних терміналах першого виду показали, що дальність їх переміщення ($L_{\text{ім}}$) залежить, в основному, від інтенсивності надходження вагонів і автомобілів до фронтів навантажування-розвантажування, а також від спеціалізації ділянок і секцій відповідних секторів.

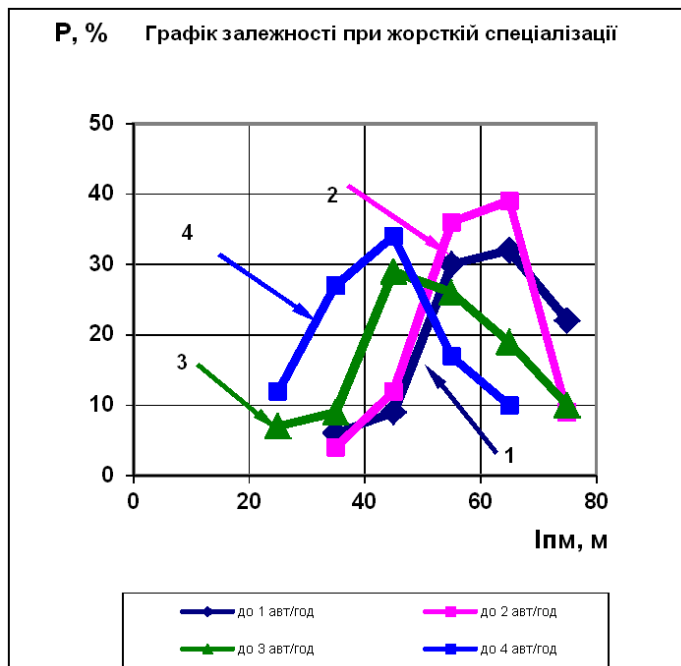


Рис. 1. Залежність дальності переміщення кранів від інтенсивності надходження вагонопотоку з контейнерами при жорсткій спеціалізації

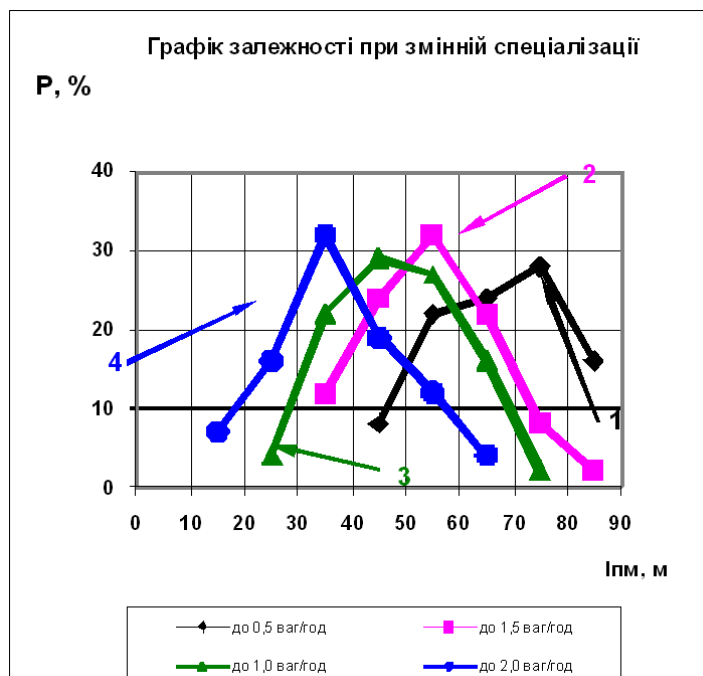


Рис. 2. Залежність дальності переміщення кранів від інтенсивності надходження вагонопотоку з контейнерами при змінній спеціалізації

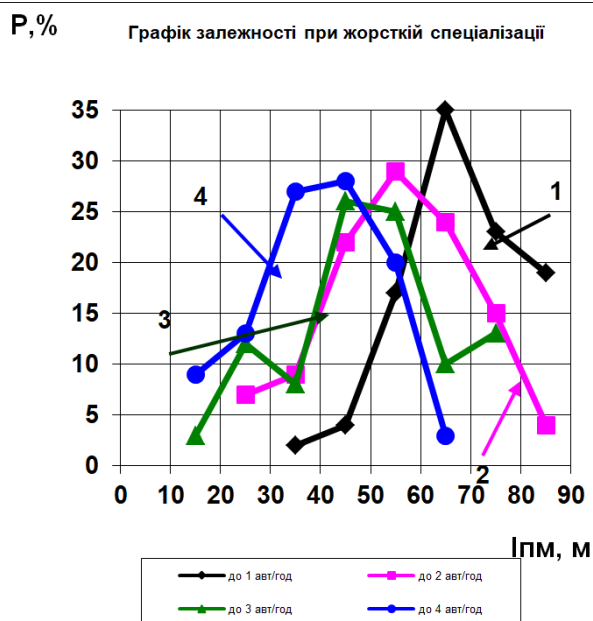


Рис. 3. Залежність дальності переміщення кранів від інтенсивності надходження автомобілів при жорсткій спеціалізації

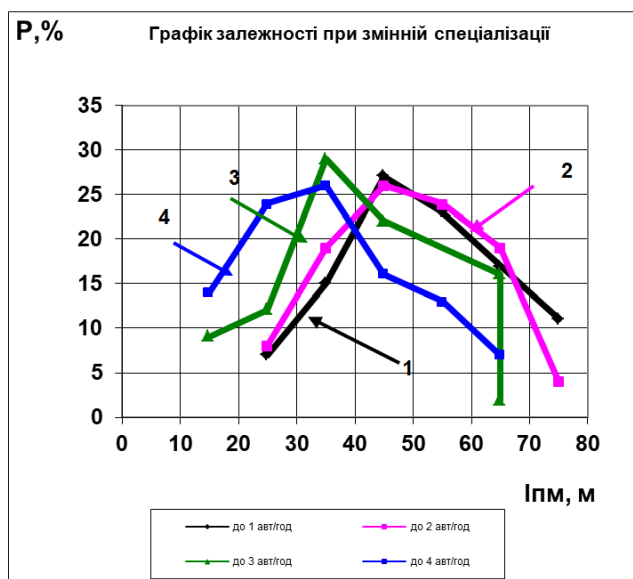


Рис.4. Залежність дальності переміщення кранів від інтенсивності надходження автомобілів при змінній спеціалізації

Аналіз розподілу величин показав, що дальність переміщення козлових кранів при обслуговуванні рухомого складу з великотоннажними контейнерами коливається в межах від 34 до 66 м при жорсткій спеціалізації ділянок (рис. 1.) і секцій

секторів контейнерних площадок та від 43 до 60 м при змінній їх спеціалізації (рис. 2) і різній інтенсивності надходження вагонопотоку.

Зміна інтенсивності надходження автотранспорту при аналогічних умовах спеціалізації суттєво не впливає на дальність переміщення кранів при навантажуванні-розвантажуванні на площадку і при жорсткій спеціалізації (рис. 3) коливається від 38 до 68 м, а при змінній (рис. 4) – від 36 до 51 м.

На контейнерних терміналах третього виду, як правило, експлуатується не менше двох площадок, що спеціалізуються з обслуговування контейнерів певної тоннажності. Середня дальність переміщення кранів при обслуговуванні середньотоннажних контейнерів скорочується у межах від 29 до 54 м при жорсткій спеціалізації і від 32 до 48 м – при змінній.

Збільшення дальності переміщення кранів спричиняє обслуговування транзитних контейнерів (в середньому до 84 м) з повторними і варіантними перестановками з вагону на вагон або на площадку та навпаки.

Зміна дальності переміщення кранів та інших навантажувально-розвантажувальних транспортних засобів зумовлює зміну їхньої кількості, капітальних та експлуатаційних витрат. Недостатня кількість кранів викликає додаткові їх переміщення, зменшення експлуатаційної продуктивності, збільшення простою рухомого складу, неритмічність роботи автотранспорту, а тому слід виконувати техніко-економічні порівняння технічного оснащення терміналів із досягненням найменших щорічних витрат у оптимальному варіанті.

Із цією метою була розроблена модель оптимального управління перевантажувальних засобів з використанням результатів аналізу і хронометражних даних функціонування контейнерного терміналу.

Критерієм оптимізації можуть бути вартісні параметри на виконання основних операцій робочого циклу з урахуванням енергетичних витрат у залежності від дальності переміщення транспортних засобів. Ці витрати визначаються окремо на протязі початково-кінцевих відрізків шляху та під час стабільного руху за допомогою цільової функції [34].

$$f(P_T; P_{\max}; P_{\omega}; P_{\text{св}}; l_n; l_k) = \sum_{i=1}^k E_i \Rightarrow \min, \quad (1.1)$$

При обмеженнях

$$P_{\min} \leq P_T \leq P_{\max}; P_{\max} \leq P_{\text{крит}};$$

$$P_T \geq P_{\omega} + P_{\text{св}}; l_n + l_k \leq l_{\text{вф}}; l_n \leq V_{\text{ном}} \cdot t_n,$$

де E_i – експлуатаційні витрати під час виконання початкових і кінцевих операцій та стабільній швидкості руху, грн.;

P_T – тягові зусилля, Н;

P_{ω} – сила опору руху, Н;

$P_{\text{св}}$ – сила опору середовища та вітру, Н;

l_n, l_k – довжина переміщення крана при виконанні початкових та кінцевих операцій, м;

$l_{\text{вф}}$ – довжина вантажного фронту, м;

t_n – тривалість виконання початкових операцій, год.

$$E_{\text{еп}} = E_{\text{ел}} + E_{\text{ут}}, \quad (1.2)$$

де $E_{\text{ел}}$ – енергетична частина експлуатаційних витрат від початку операції до моменту встановлення стабільної швидкості руху.

$$E_{\text{ел}} = N_{\text{дп}} t_{\text{п}} e_{\text{ел}}, \quad (1.3)$$

де $N_{\text{дп}}$ – розрахункова потужність двигуна при виконанні початкових операцій;

$$N_{\text{дп}} = \frac{(P_T + P_W + P_{\text{CB}}) l_{\text{п}}}{102 \eta t_{\text{п}}}, \quad (1.4)$$

$$P_T = \frac{2m_k l_n}{t_n^2}, \quad (1.5)$$

де m_k – маса крана та контейнера, т;
 η – коефіцієнт корисної дії двигуна;

$$P_{\omega} = q_k \omega_o 10^{-3}, \quad (1.6)$$

де q_k – сила тяжіння крана та контейнера, Н;
 ω_o – основний питомий опір руху крана, Н/кН;

$$P_{\text{CB}} = q_k \omega_{\text{CB}} 10^{-3}, \quad (1.7)$$

де ω_{CB} – додатковий питомий опір від дії середовища та вітру, Н/кН;

$$\omega_{\text{CB}} = \frac{K_{\text{по}} V_p^2}{q_k}, \quad (1.8)$$

де $K_{\text{по}}$ – коефіцієнт повітряного опору;
 V_p – результуюча швидкість середовища та вітру, м/с;

$$K_{\text{по}} = 0,1 F_k / q_k, \quad (1.9)$$

де F_k – площа поперечного перетину крана та контейнера, м²

$$V_p^2 = \frac{1}{t_n^2} (V_o^2 t_n^2 + l_n^2 + 2V_o l_n t_n \cos \beta), \quad (1.10)$$

де V_o – швидкість вітру, м/с;
 β – кут між напрямком дії вітру та відносним напрямком дії середовища;
 $e_{\text{ел}}$ – вартість однієї кіловат-години з урахуванням супутніх витрат, грн.;
 $E_{\text{ут}}$ – експлуатаційні витрати на утримання технічних пристроїв (колій, крана, системи управління) та обслуговуючого персоналу.

$$E_{\text{ут}} = e_{\text{ут}} t_{\text{п}}, \quad (1.11)$$

де $e_{\text{ут}}$ – питомі експлуатаційні витрати на одну годину роботи крана, грн./год.

Експлуатаційні витрати при стабільній швидкості руху визначаються аналогічно за формулами (1.2, 1.3, 1.4), але при цьому

$$P_T = \frac{m_k V_{\text{CT}}^2}{2l_{\text{CT}}}, \quad (1.12)$$

де l_{CT} – довжина переміщення крана зі стабільною швидкістю руху, м.

При визначенні V_p^2 і E_{yt} за формулами (1.10, 1.11) замість $l_{п}$ і $t_{п}$ слід приймати l_{cr} і t_{cr} .
Експлуатаційні витрати під час виконання кінцевих операцій визначаються аналогічно за формулами (1.2 – 1.11), при цьому слід зазначити, що розрахункова потужність двигуна буде витрачатися тільки на подолання сил інерції.

$$N_{\partial k} = \frac{(P_i - P_{\omega} - P_{ce})l_k}{102\eta t_k}; \quad (1.13)$$

$$P_i = \frac{2m_k(V_{cm}t_k - l_k)}{t_k^2}, \quad (1.14)$$

де t_k – тривалість виконання кінцевих операцій, год.

На наявних вантажних станціях довжина площадок для розміщення контейнерів складає від 100 до 300 і більше метрів, але інтенсивність використання довжини вантажного фронту дуже незначна, що викликає збільшення обсягу маневрової роботи, міжопераційні простої перевантажувальних засобів та рухомого складу. Якщо дану площадку обслуговує декілька кранів, то простій однієї групи вагонів залежить від простою інших груп або викликає необхідність заміни подачі із зупинкою роботи інших кранів. Отже, впровадження оптимальної технології управління перевантажувальними засобами повинна відповідати такій конструкції станції і контейнерного терміналу, яка б дала можливість реалізувати розрахункові параметри з мінімальними експлуатаційними витратами.

По-перше, схема сортувального парку повинна дозволяти безпосередню подачу накопичених вагонів на будь-який вантажний фронт контейнерного терміналу; по-друге, виставочну і навантажувально-розвантажувальну колії слід поділити з'їздами на окремі секції довжиною від 45 до 60 м з можливістю одночасної подачі – забирання вагонів з однієї секції і обслуговування вагонів на суміжній секції. Напроти з'їздів частина контейнерної площадки повинна призначатися для порожніх та несправних контейнерів, які слід накопичувати у декілька ярусів.

Висновки

За результатом хронометражних спостережень визначено:

1) дальність переміщення козлових кранів під час обслуговування рухомого складу з великотоннажними контейнерами коливається у межах від 34 до 66 м при жорсткій спеціалізації ділянок і секцій секторів контейнерних площадок та від 43 до 60 м при змінній їх спеціалізації і різній інтенсивності надходження вагонопотоку;

2) зміна інтенсивності надходження автотранспорту за аналогічних умов спеціалізації суттєво не впливає на дальність переміщення кранів під час навантажування-розвантажування на площадку і при жорсткій спеціалізації коливається від 38 до 68 м, а при змінній – від 36 до 51 м;

3) середня дальність переміщення кранів при обслуговуванні середньотоннажних контейнерів скорочується у межах від 29 до 54 м при жорсткій спеціалізації та від 32 до 48 м – при змінній;

4) обслуговування транзитних контейнерів збільшує дальність переміщення кранів у середньому до 84 м.

Збільшення дальності переміщення кранів дає можливість підвищення швидкості і скорочення загальної тривалості робочого часу, зменшення простоїв рухомого складу під навантажувально-розвантажувальними операціями, збільшення експлуатаційної продуктивності і зменшення числа перевантажувальних засобів, але, з іншого боку, обслуговування вантажних фронтів значної довжини викликає додаткові простої вагонів на коліях сортувального парку станції, збільшення необхідного числа колій, маневрових локомотивів та повторного сортування вагонів.

Разом із тим скорочення дальності переміщень збільшує загальне число включень двигунів, що різко змінює обсяги витрат електроенергії, а також зменшує середню швидкість під час виконання робочого циклу, але при цьому є можливість секціювання колій вантажного фронту, що дозволить одночасну подачу та забирання вагонів на суміжні секції, зменшити простій у сортувальному парку та скоротити міжопераційні простої під час виконання основних технологічних операцій перевантажувального процесу, а тому управління кранами необхідно організувати в оптимальному режимі за допомогою запропонованої цільової функції.

Висновки

Оптимізація управління транспортними засобами здійснюється за рахунок обладнання вантажного терміналу координатною сіткою, яка дозволяє визначати вільні місця для розташування контейнерів, ця ж сітка також враховується програмою, яка моделює процес роботи кранів. Для цього передбачено обладнання товарної контори терміналом АРМ старшого прийомоздавальника, що має безпосередній зв'язок із машиністами кранів за допомогою радіозв'язку.

Для визначення заняття ділянок підкранових колій на них встановлені спеціальні датчики, з'єднані електричними колами з АРМ старшого прийомоздавальника, який контролює і коригує переміщення кранів у межах їхніх робочих циклів.

Необхідність такого обладнання терміналу виникає у випадку збільшення обсягів обслуговування контейнерних перевезень на залізничних станціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, схвалена розпорядженням КМУ від 30.05.2018 р. № 430-р. Київ, 2018.
2. Директива ради європейського співтовариства від 26.02.2001/12 «Про розвиток залізниць у європейському співтоваристві». Київ: Міністерство транспорту України, 2001. 16 с.
3. Звіт про технічний стан залізниць України. Форма АГО – 6 Д. Київ : Укрзалізниця, 2019. С. 1–2.
4. Данько М.І., Крячко К.В. Теоретичні основи оптимального функціонування системи вантажної станції : Зб. наук. пр. УкрДАЗТ – 2003. Вип. 53. С. 5–12.
5. Котенко А.Н., Петров В.И. Прогрессивная организация работы грузовой железнодорожной станции. Київ : Техника, 1989. 56 с.
6. Контейнерная транспортная система / Под ред. А.Т. Дерибаса. Москва : Транспорт, 1974. 471 с.

7. Крячко К.В. Оптимізація роботи навантажувально-розвантажувальних механізмів на контейнерних терміналах вантажної станції: Матеріали ІІІ Міжнародної науково – практичної конференції «Динаміка наукових досліджень 2004». Том 62. Транспорт. Дніпропетровськ : Наука і освіта. С. 15–18.
8. Теоретические основы контейнерной транспортной системы / Под общей ред. С.С. Ушакова, И.Д. Ситника. Москва : Транспорт, 1975. 240 с.
9. Котенко А.М., Крячко К.В. Удосконалення технології переробки і зберігання контейнерів на вантажних станціях : зб. наук. пр. УкрДАЗТ. 2003. Вип. 56. С. 48–54.
10. Козлов Ю.Т. Автоматизация управления контейнерными перевозками. Москва : Транспорт, 1980. 236 с.
11. Бабаев С.М. Организация контейнерных перевозок в условиях рыночной экономики. *Железнодорожный транспорт*. 2002. № 6. С. 14–24.
12. Смехов А.А. Основы транспортной логистики. Москва : Транспорт, 1995. 201 с.
13. Нечаев Г.И. Технология и организация работы транспортно – складских систем : монография. Луганск : Издательство ВУГУ, 1999. 230 с.
14. Рекомендований технологічний процес роботи вантажної станції. Київ : Укрзалізниця, 2005. 224 с.
15. Козлов Ю.Т. Автоматизация управления контейнерными перевозками. Москва : Транспорт. 1998. 192 с.
16. Коган Л.А. Контейнерная транспортная система. Транспорт, 1991. 254 с.
17. Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемо-транспортных машин. Минск : «Высшая школа», 1983. 350 с.
18. Сологуб Н.К. Расчет путевого развития и технического оснащения грузовых пунктов. Тр. МИИТа. Вып. 304 Москва, 1969. 105 с.
19. Акулиничев В.М., Правдин Н.В., Болотный В.Я., Савченко И.Е. Железнодорожные станции и узлы / Под ред. В.М. Акулиничева. Москва : Транспорт, 1992. 480 с.

REFERENCES

1. National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030, approved by the order of the Cabinet of Ministers of 30.05.2018 [Nacionalna transportna strategija na period do 2030 roku, shvalena rozporjadzenyam KМУ vid 30.05.2018 roku] № 430-r., Kyiv, 2018 [in Ukrainian].
2. Directive of the Council of the European Community of 26.02.2001 / 12 "On the development of railways in the European Community" [Pro rozvitok zaliznic u evropeyskomu spivtovaristvi] – Kyiv: Ministry of Transport of Ukraine, 2001. – 16 p [in Ukrainian].
3. Report on the technical condition of the railways of Ukraine [Zvit pro tecnichny stan zaliznic Ukrainy] Form AGO – 6 D. – K.: Ukrzaliznytsia, 2019. – P. 1 – 2 [in Ukrainian].
4. Danko M.I., Kryachko K.V. Theoretical bases of optimal functioning of the freight station system [Teoretichny osnovy optimalnogo funkcionuvanya sistemy vantagnoy stancii]: Coll. Science. pr. UkrDAZT – 2003. – Volume 53. P. 5 – 12 [in Ukrainian].

5. Kotenko A.N., Petrov VI Progressive organization of the freight railway station [Progressivnaya organizacia raboty gruzovoy geleznodorognoy stancii] – Kiev: Technique, 1989 – 56 p [in Ukrainian].
6. Container transport system [Conteynernaya transportnaya sistema] / Ed. A.T. Deribasa – M.: Transport – 1974. – 471 p [in Ukrainian].
7. Kryachko K.V. Optimization of loading and unloading mechanisms operation at container terminals of the freight station [Optimizacia roboty navantaguvalno-rozvantazuvalnih mehanizmiv na conteynernih terminalah vantagnoy stancii]: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Dynamics of Scientific Research 2004". Volume 62. Transport. – Dnepropetrovsk: Science and Education. – p. 15 – 18 [in Ukrainian].
8. Theoretical foundations of the container transport system [Teoreticheskie osnovi conteynernoy transportnoy sistemy] / Under the general editorship. S.S. Ushakova, ID Sitnika. – M.: Транспорт. – 1975. 240 p [in Ukrainian].
9. Kotenko A.M., Kryachko K.V. Improving the technology of processing and storage of containers at freight stations [Udoskonalennya tehnologii pererobky i zberiganya conteyneriv na vantagnih stancyah]: Coll. Science. UkrDAZT – 2003. – Vip. 56. – p. 48 – 54 [in Ukrainian].
10. Kozlov Y.T. Automation of container transportation management [Avtomatizacia upravleniya conteynernymi perevozkami] – M.: Transport – 1980. – 236 p [in Ukrainian].
11. Babaev S.M. Organization of container transportation in a market economy [Organizacia perevozok v usloviyah rinochnoy ekonomiky]: Railway transport, 2002. № 6. P. 14 – 24 [in Ukrainian].
12. Smekhov A.A. Fundamentals of transport logistics [Osnovy transportnoy logistiki] – M.: Transport, 1995. 201 p [in Ukrainian].
13. Nechaev G.I. Technology and organization of transport and storage systems [Tehnologiya i organizacia raboty transportno-skladskih sistem]: Monograph. Lugansk.: VUGU Publishing House, 1999. 230 p [in Ukrainian].
14. Recommended technological process of cargo station operation [Recomendovaniy tehnologichniy process roboty vantagnoyi stancii] Kiev: Ukrzaliznytsia, 2005. 224 p [in Ukrainian].
15. Kozlov Y.T. Automation of container transportation management [Avtomatizaciya upravleniya conteynernymi perevozkami] – M.: Transport. 1998. 192 p [in Ukrainian].
16. Kogan L.A. Container transport system [Conteynernaya transportnaya sistema] Transport, 1991. 254 p [in Ukrainian].
17. Kuzmin A.V. Handbook for calculations of lifting mechanisms – Transport vehicles [Spravochnik po raschetam mehanizmiv podьемno-transportnyh mashin] Maron – Minsk: "Higher School", 1983. 350 p [in Ukrainian].
18. Sologub N.K. Calculation of track development and technical equipment of cargo points [Rasschet putevogo razvitiya i tehniceskogo osnacheniya gruzovih punktov] Tr. MIIT. Issue. 304 M., 1969. 105 p [in Ukrainian].
19. Akulinichev V.M., Pravdin N.V., Bolotny V.Y., Savchenko I.E. Railway stations and nodes [Geleznodorogniye stancii i uzly] / Ed. V.M. Akulinicheva. M.: Transport, 1992. 480 p [in Ukrainian].

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ І КООПЕРАЦІЇ ПЕРЕВІЗНИКА ВІД ВХІДНОГО ПОТОКУ ЗАМОВЛЕНЬ

М.С. Оліскевич¹, О.Л. Мاستикаш², М.П. Рой³

¹к.т.н., доцент,

доцент кафедри «Експлуатація та технічний сервіс машин»,
Львівський національний аграрний університет, Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6237-0785

²старший викладач кафедри «Експлуатація та ремонт автомобільної техніки»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6353-1672

³аспірант кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль»,
Національний транспортний університет, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-5788-4220

Анотація

Вступ. У статті розглядається проблема розподілу наявних і орендованих транспортних засобів для обслуговування стохастичного потоку замовлень вантажних міжміських перевезень. Зміст проблеми полягає в тому, що загальний обсяг робіт потрібно розподілити між наявними транспортними засобами і тими, які можна орендувати у партнерів, так, щоб загальна ефективність транспортних процесів і сумарний прибуток підприємства були максимальними. Задача є актуальною в даний час через те, що вимоги до перевізників зростають, їх задачі оперативно-го керування ускладнюються, а ефективні методи, які дають гарантовані точні оптимальні розв'язки, є невідомі. **Мета.** Визначити ознаки організаційно-технологічної сумісності завдань транспортного процесу, виконання яких у єдиному потоці є максимально ефективним. Застосування таких ознак повинно приводити до гарантованого точного розв'язку задачі розподілу транспортних засобів при випадковому характері вхідних потоків. **Результати.** Розподіл транспортних засобів по замовленнях, які стохастично виникають, є NP-складною задачею в сильному змісті. Запропоновано додаткові класифікаційні ознаки замовлень, які дають змогу знайти гарантований стійкий розв'язок. Такий розв'язок є можливий завдяки тому, що сумісні або частково сумісні замовлення заздалегідь об'єднуються в множини, які призначаються для виконання в єдиному потоці, одному транспортному засобу. Застосовано модель нелінійного програмування. Для розподілу динамічного вхідного потоку замовлень розподільча задача була розв'язана зі стійким результатом. Критерієм розв'язання є сумарний прибуток, який автотранспортний перевізник може отримати при запропонованій послідовності виконання замовлень. Виконано також лінійну апроксимацію сумарного прибутку від ознак сумісності замовлень. **Висновки.** Структурне моделювання інтегрованого транспортного процесу доцільно проводити для конкретних ознак сумісності вхідного потоку. Коефіцієнт сумісності замовлень є прямою ознакою доцільності кооперації транспортних компаній. Лінійна апроксимація моделі дає більші, як 100% похибку результатів.

Ключові слова: вантажні перевезення, вхідні потоки замовлень, сумісність замовлень, кооперація перевізників.

**DEPENDENCE OF CARRIER EFFICIENCY
AND COOPERATION ON INPUT ORDER FLOW**

M.S. Oliskevych¹, O.L. Mastykash², M.P. Roi³

¹Ph.D., Associate Professor at the Department “Operation and Technical Service of Machines”,
Lviv National Agrarian University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6237-0785

²Senior Lecturer at the Department “Operation and Repair of Automotive Engineering”,
National University “Lviv Polytechnic”, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6353-1672

³Postgraduate Student at the Department “International Transportation and Customs Control”,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-5788-4220

Summary

Introduction. The article considers the problem of distribution of available and leased vehicles for servicing the stochastic flow of long-distance freight orders. The content of the problem is that the total amount of jobs should be divided between the available vehicles and those that can be rented from partners, so that the overall efficiency of transport processes and the total profit of the enterprise are maximum. The problem is relevant today because the requirements for carriers are growing, their operational management tasks are becoming more complicated, and effective methods that provide guaranteed accurate optimal solutions are unknown. **The purpose** of research is to determine the signs of organizational and technological compatibility of transport process tasks, the implementation of which in united flow is effective. The use of such features should lead to a guaranteed accurate solution of the problem of distribution of vehicles with a random nature of input flows. **Results.** The vehicles ordering that arise stochastically is NP-difficult task of strong sense. Additional classification features of orders are offered, which allow us to find a guaranteed stable solution. This solution is possible due to the fact that compatible or partially compatible orders are pre-combined into sets that are intended to be executed in a single flow, and single vehicle. The model of nonlinear programming is applied. To distribute the dynamic input flow of orders the distribution problem was solved with a stable result. The solution criterion is the total profit that the road carrier can receive with the proposed sequence of orders. Optimization at linear approximation of total profit on signs of compatibility of orders is executed. **Conclusions.** Structural modeling of the integrated transport process should be carried out for specific signs of compatibility of the incoming flow of orders. A sign of compatibility of orders is the coefficient of time unevenness, has a positive effect on the ability to obtain a higher maximum total profit. Linear approximation of the model gives more than 100% error of results.

Key words: freight transportation, incoming order flows, order compatibility, carrier cooperation.

Вступ

Для ефективної діяльності автотранспортного підприємства (АТП) необхідна виробнича структура, що складається з функціональних одиниць, які поєднані відповідними зв'язками і може бути адекватно застосована для задоволення

існуючого попиту. Однак є випадки, коли АТП, під впливом змінного вхідного потоку замовлень на перевезення, відчуває брак функціональних елементів, або потужність таких елементів є недостатньою. У цьому випадку трапляються відмови клієнтам, або ж власний транспорт перевізника простоє. Додатковими ресурсами можна поповнити транспортну компанію із зовнішніх джерел (аутсорсингу). Однак для цього потрібно обґрунтувати потенційну вигоду від взаємодії. Замовлення, які виконує один перевізник, повинні бути технологічно сумісними, а послідовність їх виконання має приводити до вищих показників ефективності. При цьому вхідний потік замовлень є стохастичним. Це ускладнює процес планування перевезень. Тому актуальною задачею є встановлення впливу структури випадкового вхідного потоку замовлень на ефективність процесу його виконання.

Постановка проблеми

Стохастичний характер вхідного потоку замовлень для транспортних підприємств, які можуть взаємодіяти, ускладнює досягнення мети – підвищення ефективності вантажних перевезень та отримання вищого прибутку при самостійній діяльності, та по кооперації. Адже при цьому потрібно виконати розподіл завдань між наявними у підприємства транспортними засобами, а також обмінятися частиною замовлень із партнерами. Зміст проблеми полягає в тому, що при стохастичному вхідному потоці розподіл наявних ресурсів (транспортних засобів) є задачею динамічного планування перевезень, яка до того ж повинна враховувати додаткові ресурси по кооперації. Ці змінні умови роблять дану розподільчу задачу NP-складною в сильному змісті, тобто такою, яку не завжди можна розв'язати недетермінованими алгоритмами за поліноміальний час [1]. Для спрощення умов задачі застосовують певні ознаки оптимальності, однак для стохастичного вхідного потоку замовлень на перевезення унітарних вантажів для міжміських маршрутів такі ознаки є невідомими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Незважаючи на випадковий характер замовлень, між ними можна встановити відношення, які слугуватимуть ознаками для побудови оптимального за структурою інтегрованого транспортного процесу. У статті [2] встановлено, що такими відношеннями є показники сумісності, концентрації, нерівномірності, впорядкованості. Сумісність замовлень означає, що включення їх в єдиний потік виконання не приводить до зниження ефективності перевезень через непродуктивні їздки або простої. У відомих дослідженнях [3] застосовано оцінку сумісності замовлень попарно. Відповідно, використано дискретний показник сумісності замовлень трьох категорій: цілком сумісні, частково сумісні і несумісні. Однак така оцінка є неповною і недостатньою для підбору замовлень в один проект, коли їх є більш, ніж два. Таку ж оцінку неможливо застосувати для обґрунтування взаємодії перевізників-партнерів. Сумісними назвемо такі замовлення i, j , виконання яких у послідовності $i \rightarrow j$ одним транспортним засобом характеризується повною відсутністю незавантажених їздок і простоїв в очікуванні завантаження.

У роботі [4] зроблено огляд методів моделювання руху матеріальних потоків у транспортних системах (ТС). Найбільшої значимості надається в цій дисертації методам теорії систем масового обслуговування (СМО) і мережам Петрі. Автор наголошує, що найбільш вагомим недоліком обох методологій є те, що вони не описують в явному вигляді поведінку, а саме динаміку транспортного процесу (ТП). Виконаний у роботі аналіз методів дав підстави стверджувати, що їх треба обирати гнучко, враховуючи властивості конкретної ТС.

Великої уваги у вирішенні проблеми моделювання СМО заслуговують періодичні потоки [5]. Їх основною перевагою є те, що стохастичні періоди, які відтворюються з певним тактом, є джерелами інформації для корегування правил наступних кроків моделювання. Однак теорія стохастичних періодичних потоків є мало розвинена на даний час. Тому першочергово потрібно виявити вплив параметрів періодичних потоків на виконання ТП.

Згідно із СМО, для вхідного потоку замовлень вагоме значення має післядія випадкових подій. У зв'язку з такими обставинами СМО, як єдину методику аналітичного подання ТС, застосувати неможливо. Крім цього, ТС, які охоплюють вхідні потоки випадкових замовлень і стохастичні процеси їх виконання, є складними і не мають відповідного аналітичного апарату для відображення їх у динаміці. Натомість застосовуються методи імітаційного моделювання [5]. Аналіз переваг і недоліків наявних методів моделювання ТП показано у статті [6]. Доведено, зокрема, що особливо продуктивним є сполучення в одному дослідницькому процесі методів ІМ та методів математичного програмування. Проте основна мета поданих результатів – це наукове обґрунтування методів, моделей та інструментальних засобів інформатизації управління ТП. Дослідженням вхідних потоків і вибору стратегії та методів курування ТП у статті приділено дуже мало уваги.

У дисертації [7] її автор розглядає організацію виконання випадкових разових замовлень. Застосовано СМО для планування сукупності відомих, а для верифікації – імітаційну модель. Проте сумнівними видаються припущення автора про найпростіший потік таких замовлень, особливо якщо йдеться про спеціалізовані вантажі, обслуговування невеликого регіону, або використання малого парку транспортних засобів.

Підсумовуючи опубліковані методи, можна стверджувати, що на даний час відомі лише загальні принципи формування системи прийняття рішень в організації процесів міжміського перевезення вантажів. Проте такі рішення нерідко доводиться приймати в умовах невизначеності або неповної визначеності, що применшує їх ефективність.

Метою досліджень було визначити ознаки організаційно-технологічної сумісності завдань ТП, виконання яких у єдиному потоці є ефективним. Застосування таких ознак повинно приводити до гарантованого точного розподілу транспортних засобів при випадковому характері вхідних потоків.

Виклад основного матеріалу

На основі відомих досліджень [8; 9] прийнято припущення, що виконання кожного замовлення на вантажні перевезення автомобілями залежить від структури ТП, тобто

від ланцюга операцій, які послідовно виконує кожен автомобіль. У такому ланцюгу виконання окремих замовлень може виявитись нераціональним, якщо завдання для АТЗ є несумісними. Для оцінки раціональності структури ТП застосуємо показник, який характеризує сумісність виконання замовлень у послідовності $j \rightarrow i$:

$$K_{i,j}^c = \frac{a_{0,i}}{a_{j,i}}, \quad (1)$$

де $a_{0,i}$ – тривалість виконання замовлення Z_i ізольовано, без попереднього виконання жодних замовлень, а також без підготовчих дій (нульового пробігу, очікування відвантаження тощо);

$a_{j,i}$ – тривалість виконання замовлення Z_i після замовлення Z_j .

Аналогічно можна використати обернений показник, який вказує на сумісність виконання замовлення в порядку $i \rightarrow j$:

$$K_{j,i}^c = \frac{a_{0,j}}{a_{i,j}}. \quad (2)$$

Очевидно, що менше значення K_c відповідає меншій організаційній сумісності. Найвище значення – $K^c=1$. Беручи до уваги відому класифікацію замовлень, $K^c=1$ відповідає цілком сумісним замовленням, а $K^c=0$ – цілком несумісним. Два замовлення, для яких $0 < K^c < 1$, назвемо частково сумісними. Часові зв'язки $a_{i,j}$, $a_{j,i}$ можна оцінити для будь-якої пари замовлень із наперед заданої множини $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$, яку отримано на деякому горизонті планування T , і яка складатиме інтегрований ТП. У зв'язку із цим можна побудувати матрицю часових зв'язків $|a_{i,j}|$, $i, j = 0 \dots F$, де $0, F$ – фіктивні замовлення, які означають формальний початок і завершення ТП. Також можна побудувати матрицю коефіцієнтів сумісності $|K_{i,j}^c|$ для тієї ж самої множини замовлень. Для оцінки сумісності усіх замовлень горизонту використаємо середнє значення коефіцієнта сумісності:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N K_c^{i,j}}{N}. \quad (3)$$

Коефіцієнт (3) показує, наскільки сумісними у плані організації процесу вибрані замовлення в одній множині, яка планується до виконання. При обчисленні цього коефіцієнта не береться до уваги те, що замовлення можуть виконуватись різними перевізниками по кооперації. Тому даний коефіцієнт не є достатнім для оцінки ефективності організаційно-технологічної взаємодії АТП з партнерами. Для оцінки концентрації замовлень на заданій території обслуговування використано коефіцієнт концентрації:

$$K_k = \frac{N_z}{N_q}. \quad (4)$$

де N_z – кількість замовлень, готових до виконання впродовж заданого періоду T ; N_q – кількість транспортних пунктів (пунктів відвантаження і приймання вантажів), які стосуються множини замовлень, яка запланована на період T .

Потрібно взяти до уваги, що пункти відправлення вантажів, пункти приймання вантажів в інтегрованому транспортному процесі можуть збігатись. У зв'язку із цим раціонально застосовувати коефіцієнти:

1) концентрації замовлень у пунктах відправлення вантажів:

$$K_{k,d} = \frac{N_z}{N_{q,d}} . \quad (5)$$

де $N_{q,k}$ – кількість транспортних пунктів відвантаження на період T ;

2) концентрації замовлень у пунктах приймання вантажів:

$$K_{k,a} = \frac{N_z}{N_{q,a}} . \quad (6)$$

де $N_{q,a}$ – кількість транспортних пунктів приймання вантажів на період T .

Вкажемо деякі властивості коефіцієнтів концентрації. Коефіцієнт K_k – це динамічний показник. Його числове значення для однієї і тієї ж території (множини транспортних пунктів) залежить від тривалості й від періоду планування виконання замовлень. Максимальне числове значення коефіцієнта концентрації обмежено лише двома пунктами, незалежно від того, скільки замовлень заплановано. Мінімальне значення коефіцієнта концентрації стосується випадку, за якого кожне замовлення стосується двох окремих транспортних пунктів. Отже, числове значення коефіцієнта K_k коливатиметься в межах $0,5N_z \dots 2N_z$. Коефіцієнти $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ є також динамічними і залежать від періоду T . Максимальне числове значення коефіцієнтів $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ обмежено одним транспортним пунктом, який може бути або відправником, або споживачем вантажу. Мінімальне числове значення коефіцієнтів $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ зумовлене тим, що практично усі транспортні пункти можуть бути відправниками і споживачами вантажів для одного проекту. Тому діапазон їх числових значень становить $1 \dots N_z$. Співвідношення коефіцієнтів $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ із загальним коефіцієнтом K_k а також між собою вказує на тип маршрутів (рис. 1).

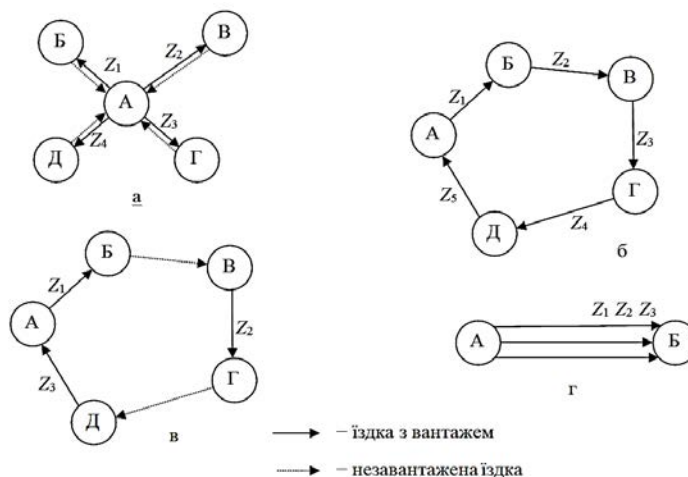


Рис. 1. До розрахунку коефіцієнтів концентрації замовлень

Так, на рис. 1, а відображено модель виконання чотирьох замовлень Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , що полягає в перевезенні вантажу від єдиного пункту відвантаження до чотирьох споживачів. Коефіцієнт концентрації при цьому за формулою (5) визначиться як $K_k=0,8$, коефіцієнти $K_{k,d}=4, K_{k,a}=1$.

На рис. 1, б показано модель послідовного кільцевого виконання замовлень із розривами вантажопотоків, тобто за відсутності незавантажених їздок. Коефіцієнт концентрації визначиться як $K_k=1$, коефіцієнти $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. На рис. 1 в показано модель послідовного кільцевого виконання замовлень, за наявності незавантажених їздок. Коефіцієнт концентрації визначиться як $K_k=0,6$, коефіцієнти $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. На рис. 1, г показано модель виконання трьох замовлень на маятниковому маршруті зі зворотною незавантаженою їздкою. Коефіцієнт концентрації визначиться як $K_k=1,5$, коефіцієнти $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. Очевидно, що коефіцієнт концентрації, разом з його похідними величинами, відображає ті витрати часу, які потрібні для їздки з вантажем, або без вантажу. Із поданих чотирьох прикладів видно, що найбільш сприятливі значення коефіцієнтів є ті, для яких $K_k=1$, $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. Чим більше основний, або частковий показники відхиляються від одиниці, тим більш несприятливими є умови організації ТП. Замовлення, які надходять перевізникові до виконання, відрізняються середньою тривалістю. Різниця тривалості впливає на впорядкованість транспортного процесу [9], отже, на ефективність взаємодії транспортних засобів одного або декількох перевізників. Часову нерівномірність замовлень оцінюємо коефіцієнтом нерівномірності:

$$\eta_i = \frac{a_{0,i,\max}^s}{a_{0,i}^s}, \quad (6)$$

де $a_{0,i,\max}^s$ – максимальні витрати часу, пов'язані з рухом транспортних засобів, на виконання i -го замовлення без врахування будь-яких, попередньо виконаних замовлень;

$a_{0,i}^s$ – середні витрати часу, пов'язані з рухом транспортних засобів, на виконання i -го замовлення.

На відміну від попередніх коефіцієнтів, η_i стосується лише «чистої» тривалості виконання, тобто без врахування перехідних та підготовчих операцій. Мінімальне значення коефіцієнта нерівномірності – $\eta_i=1$. Чим більшою є нерівномірність тривалості виконання замовлень, тим складніше побудувати ефективний ТП для однотипних транспортних засобів одного і того ж АТП. З іншого боку, наявність різних за тривалістю транспортно-логістичних операцій дає можливість побудови більш впорядкованого інтегрованого процесу для декількох перевізників, які взаємодіють. Отже, η_i має оптимальне значення, яке відповідає вибраному рівню взаємодії перевізників.

Показники впорядкованості замовлень розкривають взаємозалежність замовлень, яка зумовлена організаційно-економічними, або технологічними факторами. Замовлення Z_i , наприклад, може мати пріоритет у виконанні перед замовленням Z_j , що пов'язано з технологією виконання деякого ТП, якого стосуються замовлення. У такому випадку часовий зв'язок $a_{j,i} \rightarrow \infty$, а часовий зв'язок $a_{i,j}$ – скінченне число. Це узгоджується із прийнятим визначенням $a_{i,j}=\infty$, якщо замовлення Z_j не може виконуватись після замовлення i безпосередньо, одним і тим ж транспортним засобом. У зв'язку із цим для того, щоб порівняти пріоритети заданого замовлення i з іншими замовленнями, які є на горизонті планування T , застосуємо коефіцієнт часової впорядкованості:

$$K_{tw,i} = \frac{\sum_{j=1}^N a_{i,j}}{\sum_{j=1}^N a_{j,i}}, \quad (8)$$

де N – загальна кількість замовлень на горизонті планування.

З формули (8) видно, що коли i -те замовлення має найвищий пріоритет серед N заданих, то будь-яке $a_{j,i} > a_{i,j}$. Отже, чим вищий пріоритет i -го замовлення, тим коефіцієнт $K_{tw,i} \rightarrow 0$.

Організаційно-технологічна взаємодія АТП із партнерами тісно пов'язана зі його спеціалізацією, в даному випадку – стосовно властивостей вхідних потоків замовлень. Тому раціональні взаємозв'язки вантажних перевізників потрібно також пов'язувати з ознаками сумісності транспортних завдань, враховуючи їх часові вікна. Сформульована задача планування виконання замовлень є розподільчою за своїм змістом, багатопараметричною і нелінійною – за видом моделі. Задачу потрібно розв'язувати методами нелінійного програмування. Для оцінювання потоку вхідних замовлень на міжміські перевезення вантажів запропонована система показників, яка складається з показників сумісності, концентрації, нерівномірності, впорядкованості. Такі показники можуть бути ознаками для вибору рівня взаємодії АТП з партнерами. Успішна діяльність АТП із взаємодією з партнерами та конкурентами залежить від попиту на послуги перевезень [8; 9]. Для того щоб дослідити закономірності цієї залежності, було виконано структурне моделювання з оптимізацією за критерієм сукупного прибутку від діяльності перевізника для впорядкованих вхідних потоків замовлень. Моделювання проведено з використанням відомої методики [10].

Для того щоб дослідити вплив коефіцієнтів сумісності і часової нерівномірності замовлень на можливість АТП досягнути мети діяльності – максимального прибутку Π , – було побудовано матрицю $|a_{i,j}|$ зв'язків (5), елементи якої обчислюються за виразом:

$$a_{i,j} = a_{i,j-1} + a_{i,j-1} \cdot B, \quad (9)$$

де $i=1..N, j=0..N$ – номери замовлень;

B – емпіричний коефіцієнт, числове значення якого підбиралось так, щоб середнє значення коефіцієнта сумісності K_c , обчислене за виразом (7), дорівнювало наперед заданому значенню $K_{c,3}$.

Для того щоб підібрати значення матриці $|a_{i,j}|$ за виразом (9), необхідно задатись початковими значеннями $a_{0,j}$, які залежать від коефіцієнта часової нерівномірності замовлень η_t . Для того щоб підібрати вектор початкових значень $a_{0,j}$, де $j=1..N$, використано вираз:

$$a_{0,j} = a_{0,j-1} + a_{0,j-1} \cdot C, \quad (10)$$

де $j=2..N$; C – емпіричний коефіцієнт, числове значення якого впливає на формування необхідного значення коефіцієнта нерівномірності η_t серед величин $a_{0,j}$ за формулою (10).

Для того щоб підготувати вхідні дані для дослідження замовлень, вибрано початкове значення $a_{0,1}=2$ год., що відповідає середній тривалості їздки з вантажем на під-

приємстві ТОВ «Орлан-Транс Сервіс» (Львівська область), яке здійснює вантажні автомобільні великогуртові перевезення. Для генерації ряду початкових даних $a_{0,j}$, $j=1..N$ застосовано пакет аналізу «What-if» з електронних таблиць *Excel*. Даний пакет дає змогу знайти таке значення змінної/константи, за якого задана формула набуває потрібного значення. Бажані значення коефіцієнта нерівномірності η_i вибирались послідовно із кроком 0,1, з множини $\{1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 2,0, 2,2\}$. Так, якщо потрібно, щоб $\eta_i=1,1$, то пакет аналізу «What-if» видав значення $C=0,02186$. При цьому ряд початкових значень для $N=10$ за формулою (10) набуває вигляду: $a_{0,1}=2,0$; $a_{0,2}=2,0$; $a_{0,3}=2,1$; $a_{0,4}=2,1$; $a_{0,5}=2,2$; $a_{0,6}=2,2$; $a_{0,7}=2,3$; $a_{0,8}=2,3$; $a_{0,9}=2,4$; $a_{0,10}=2,4$. Усі інші елементи матриці $|a_{i,j}|$ встановлюються залежно від наперед заданого коефіцієнта сумісності K_c , який послідовно вибирався із множини ймовірних значень $K_c \in \{0,9, 0,8, 0,7, 0,6, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2\}$. Для обчислення матриці $|a_{i,j}|$ використано формулу (9), у якій коефіцієнт B вибирався з допомогою пакету аналізу «What-if». Так, наприклад, при $\eta_i=1,8$ вектор даних $a_{0,j}=\{2,0, 2,3, 2,7, 3,1, 3,7, 4,3, 5,0, 5,8, 6,7, 7,8\}$. Задано було, що коефіцієнт сумісності має бути $K_c=0,6$. При застосуванні пакету аналізу для формули (9) знайдено $B=0,112418$ і побудовано відповідну матрицю. Для повнофакторного дослідження впливу коефіцієнтів K_c і η_i на структуру інтегрованого ТП та на прибуток від діяльності та від кооперації перевізника потрібно побудувати $K_c \times \eta_i$ таких матриць, які охоплюють увесь вектор початкових значень, як K_c так і η_i . Для розв'язання задачі структурної оптимізації застосовано прикладний пакет *Solver*. Описана в [10] і застосована нами модель оптимізації структури ТП має такий вигляд. Критерій – сумарний прибуток АТП за період T :

$$\begin{aligned} \Pi = & (R - R_z) \cdot P_r - (R_z - R) \cdot C_r - (R_z - R) \cdot C_z + \\ & + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot (1 - x_{i,j}) \cdot P_z + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot P_m - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot C_m - \\ & - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^s \cdot x_{i,j} \cdot C_s \Rightarrow \max \end{aligned} \quad (11)$$

де R_z – кількість фактично задіяних власних транспортних засобів;

P_r – ринкова ціна здавання в оренду транспортного засобу, грн.;

C_r – витрати на оренду одиниці транспортного засобу, грн.;

C_z – вартість інформації про одне замовлення;

C_m, C_t – витрати коштів АТП на 1 год., відповідно, руху і простою транспортних засобів;

$a_{i,j}^m$ – тривалість руху транспортного засобу при виконанні замовлення j , після виконання замовлення i ;

$a_{i,j}^s$ – витрати часу на простій транспортних засобів у пунктах відправлення і призначення вантажу;

$x_{i,j}$ – двійкова змінна задачі.

Обмеження:

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} - \sum_{i=1}^N x_{i,j} = 0, \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{i,j} = -R_z, \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{j,F} = R_z, \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N (|x_{0,i} - x_{i,F}|) = R_z \quad (17)$$

де $x_{i,F}$, $x_{j,F}$, $x_{0,i}$, $x_{0,j}$ – формальні змінні, які означають, відповідно, завершення/ початок виконання замовлень Z_i , Z_j .

Через вирази (11) і (17) модель ТП є нелінійною. Це потрібно обумовити в панелі діалогового вікна програми Solver. Для успішного знаходження розв'язку потрібно вибрати градієнтний метод. Однак розв'язування потрібно починати з крайових умов, тобто тоді, коли $R=1$, $\eta_i=1$, $K_c=1$. Друга крайня точка, – коли $R=10$, $\eta_i=1$, $K_c=1$. Далі методом швидкого спуску, змінюючи умови, знаходимо проміжні розв'язки. Результати оптимізації подано на рис. 2. З результатів видно, що максимальний прибуток АТП залежить від коефіцієнта сумісності замовлень в єдиному потоці.

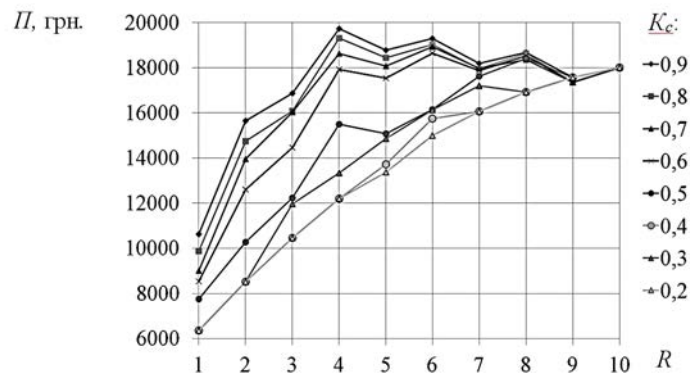


Рис. 2. Залежність сукупного прибутку АТП від кількості задіяних транспортних засобів та коефіцієнта сумісності замовлень

Так, при $K_c = 0,9$ максимальний прибуток становить 19,75 тис. грн. При цьому не усі замовлення приймаються до виконання. Частина замовлень продається партнерам. А вже при $K_c=0,2$ максимальний прибуток становить 18,1 тис. грн. При цьому усі замовлення з горизонту прогнозування T виконуються власним і орендованим транспортом. Як можна помітити, максимальний прибуток при зменшенні коефіцієнта сумісності замовлень зміщується в сторону збільшення задіяних власних + орендованих транспортних засобів. У цілому при збільшенні коефіцієнта сумісності замовлень максимальний прибуток починає зростати майже лінійно, але починаючи від числового значення $K_c=0,4$. Це пов'язано з тим, що при низьких значеннях коефіцієнта сумісності АТП цілком перекладає функції виконання замовлень на орендовані транспортні засоби, тобто на партнерів. Низький

коефіцієнт сумісності спричинює більші витрати на перевезення при тій самій ціні. А орендна плата – фіксована величина. Тому числове значення K_c можна цілком пов'язати з рівнем спеціалізації та концентрації АТП. Результати оптимізації ТП при лінійній апроксимації моделі (11) – на рис.3. Розв'язки лінійної моделі отримуються без уведення крайових умов. Якщо порівняти ці результати з нелінійною моделлю (рис. 4), то максимальний прибуток отримується удвічі більший.

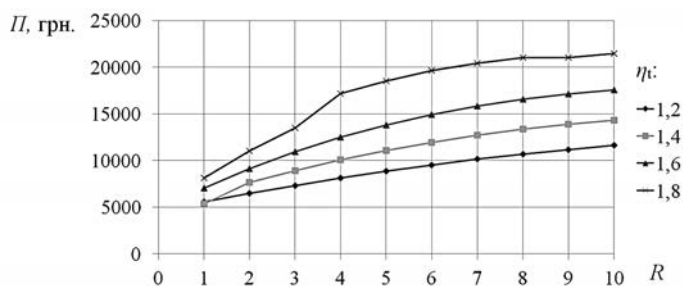


Рис. 3. Залежність сумарного прибутку АТП від кількості задіяних (власних і орендованих) транспортних засобів та коефіцієнта нерівномірності η_1 при лінійній апроксимації моделі

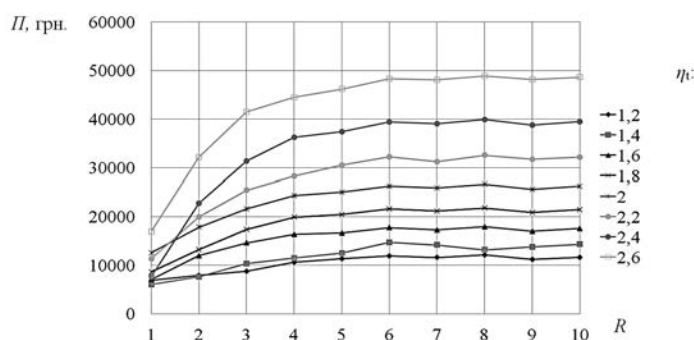


Рис. 4. Залежність сумарного прибутку АТП від кількості задіяних (власних і орендованих) транспортних засобів та коефіцієнта нерівномірності η за нелінійною моделлю

При лінійній апроксимації власні транспортні засоби АТП виконують лише по одній завантаженій їзді за цикл, що пов'язано з недосконалістю моделі. Нелінійний варіант моделі дає складніші цикли для кожного транспортного засобу, у тому числі – для орендованих, коли вибираються сумісні замовлення, які включаються в єдиний маршрут.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Коефіцієнт часової нерівномірності замовлень позитивно впливає на можливість отримати більший максимальний сумарний прибуток АТП. Це пояснюється наявністю в горизонті планування різних за тривалістю замовлень, які дають змогу побудувати досконалі цикли.

Структурне моделювання інтегрованого ТП доцільно проводити для конкретних умов заданого АТП.

Коефіцієнт сумісності замовлень є прямою ознакою доцільності кооперації транспортних компаній, оскільки максимальні прибутки прямо-пропорційно залежать від його числового значення.

Лінійна апроксимація моделі господарської діяльності АТП при відомій інформації про потік замовлень дає більш, як 100% похибку результатів. Побудована нелінійна модель дає вищі результати, однак для її розв'язку потрібно використовувати крайові умови.

ЛІТЕРАТУРА

1. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. Москва : Наука, 1989. 328 с.
2. Oliskevych, M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми транспорту»*. 2019. С. 141–151.
3. Apfelst A., Dashkovskiy S., Nieberding B. Modeling, optimization and solving strategies for matching problems in cooperative full truckload networks. *IFAC Papers OnLine*. 2016. Vol. 49. Issue 2. P. 18–26. URL : <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.004>.
4. Нагорний Є.В., Наумов В.С., Омельченко Т.О., Літвінова Я.В. Аналіз теоретичних підходів до вдосконалення логістичного управління в транспортних вузлах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 4/4. Вып. (64). С. 61–64.
5. Приймак М.В., Мацюк О.В., Маєвський О.В., Прошин С.Ю. Моделі та методи дослідження систем масового обслуговування марківського типу в умовах стохастичної періодичності та їхнє застосування в енергетиці. *Технічна електродинаміка*. 2014. № 2. С. 11–16.
6. Samimi, A., Mohammadian A., Kawamura K., Pourabdollahi Z. An activity-based freight mode choice microsimulation model. *Transportation Letters, The International Journal of Transportation Research*. 2014. № 6(3). P. 142–151. URL : <https://doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000021>.
7. Мосьпан Н.В. Формування стратегій автотранспортних підприємств по обслуговуванню разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні : дис ... канд. техн. наук : 05.20.01 «Транспортні системи». Харків, 2018. 238 с.
8. Naumov V. Definition of the optimal strategies of transportation market participants. *Transport Problems*. 2012. № 7(1). P. 43–52.
9. Аземша С. Статистическое моделирование работы грузовых автомобилей на международных маршрутах при различных стратегиях принятия обратной загрузки. *Transport and Telecommunication*. 2007. Vol. 8. No 1. P. 53–61.
10. Dai B., Chen H. A multi-agent and auction-based framework and approach for carrier collaboration. *Logistics Research*. 2011. № 3(2-3). С. 101–120.

REFERENCES

1. Tanaev, V.S., Sotskov, Yu.N., & Strusevich, V.A. (1989). Scheduling theory: Multistage systems. The Science. Ch. ed. physical-mat. lit. [Tanaev V. S.,

- Sotskov Iu. N., Strusevich V. A. Teoriia raspisaniia. Mnogostadiiinye sistemy. Moskva. Nauka [In Russian].
2. Oliskevych, M. (2019). Dynamic scheduling of highway cargo transportation. Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine, 141-151. Available: <https://iccpt.tntu.edu.ua>.
 3. Apfelst A., Dashkovskiy S., Nieberding B. (2016). Modeling, optimization and solving strategies for matching problems in cooperative full truckload networks, IFAC PapersOnLine. Available: <https://www.sciencedirect.com/S2405>.
 4. Nagorniy, E. V., Naumov, V.S., Omelchenko, T.O., & Litvinova, Ya. V. (2013). Analysis of theoretical approaches to thoroughly logistic management in transport. Eastern European Journal of Advanced Technologies, (4 (4)), 61-64. 4/4. [Nagornii E. V., Naumov V. S., Omelchenko T. O., Litvinova Ia. V. Analiz teoretichnikh pidkhodiv do vdoskonalennia logistichnogo upravlinnia v transportnikh vuzlakh. Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii, 4 (4)), 61-64. 4/4 [In Ukrainian].
 5. Priymak, M.V., Matsyuk, O.V., Majeviskiy, O.V., & Proshin, S. Yu. (2014). Models and methods for the advancement of mass service systems of the mark type in the minds of stochastic periodicity and storage in the power industry. Tekhnichna elektrodynamika, (2), 11-16. [Pryimak, M. V., Matsiuk, O. V., Maievskiy, O. V., & Proshyn, S. Yu. (2014). Modeli ta metody doslidzhennia system masovoho obsluhovuvannia markivskoho typu v umovakh stokhastychnoi periodychnosti ta yikhnie zastosuvannia. Tekhnichna elektrodynamika, (2), 11-16) Available: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456> [In Ukrainian].
 6. Samimi, A., Mohammadian A., Kawamura K., Pourabdollahi Z. (2014). An activity-based freight mode choice microsimulation model. Transportation Letters, The International Journal of Transportation Research 6(3) July. 142–151. doi: <https://doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000021>.
 7. Mospan, N.V. (2018). Formation of strategies of motor transport enterprises on service of one-time orders for transportation of cargoes in long-distance communication (Doctoral dissertation). [Mospan, N. V. (2018). Formuvannia stratehii avtotransportnykh pidpriemstv po obsluhovuvanniu razovykh zamovlen na perevezennia vantazhiv u mizhmiskomu spoluchenni Available: <http://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/handle/123456789/2291> [in Ukrainian].
 8. Naumov, V. (2012). Definition of the optimal strategies of transportation market participators. Transport Problems, 7, 43-52.
 9. Azemsha, S.A. (2007). Statistical modeling of the work of trucks on international routes with different strategies for accepting the return load [Electronic resource]. Transport and Telecommunication, 8(1), 53-61. [Azemsha, S. A. (2007). Statisticheskoe modelirovanie raboty gruzovykh avtomobilei na mezhdunarodnykh marshrutakh pri razlichnykh strategiakh priniatiia obratnoi zagruzki [Elektronniy resurs] Available: http://www.tsi.lv/sites/default/files/Research_journals/Tr_Tel/V1/7.pdf. [In Russian].
 10. Dai, B., & Chen, H. (2011). A multi-agent and auction-based framework and approach for carrier collaboration. Logistics Research, 3(2-3), 101-120.

ОРГАНІЗАЦІЯ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВАНТАЖНИХ МИТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Г.С. Прокудін¹, І.О. Ремех², Т.Г. Хоботня³

д.т.н., професор,

¹завідувач кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль»,
Національний транспортний університет, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-9701-8511

²асистент кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль»,
Національний транспортний університет, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3548-6090

³старший викладач кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль»,
Національний транспортний університет, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-7094-6297

Анотація

Вступ. Унаслідок соціально-економічних змін, які відбуваються в Україні, та під впливом явищ глобалізації зазнають змін логістичні ланцюги постачання товарів та сировини на підприємствах. Вони стають довшими і складнішими за структурою. Під впливом інформаційних технологій, які супроводжують матеріальні та фінансові потоки, посилюється інтеграція окремих ланок ланцюгів постачання, які є самостійними господарськими одиницями. Також розширюється географія руху матеріальних потоків, що проявляється, зокрема, у збільшенні вантажообігу, як у міжміському так і у міжнародному сполученні на автомобільному транспорті.

Мета. Сучасний підхід до організації вантажних перевезень вимагає використання сучасних засобів інформаційних технологій під час оптимізації схем доставки вантажів. Зважаючи на склад автопарку України, згідно євростандартам, доцільним є введення руху за системою тягових плечей. У цьому випадку ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу. У статті досліджується застосування багаторічної транспортної задачі для розподілення вантажних потоків, що поступають на вантажні митні комплекси, та використання інформаційних технологій для розв'язання цих задач.

Результати. Ефективність використання багаторічної транспортної задачі під час роботи вантажних митних комплексів (ВМК) полягає в можливості прийняття всіма складськими приміщеннями, які доступні для організації такого виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні складські термінали (ПСТ). Розглядаючи дві умови для розв'язання поставленої задачі, а саме: коли загальна кількість вантажу від постачальників є рівною сумарним можливостям прийняття вантажу ВМК та ПСТ та за умови, якщо загальна кількість вантажу від постачальників є більшою, ніж сумарні можливості прийняття вантажу ВМК та ПСТ, було проілюстровано розв'язання транспортної задачі, відповідно, у два та три етапи в середовищі Excel і за допомогою спроектованого програмного комплексу.

Висновки. У цій статті продемонстровано, що багатоетапна транспортна задача вирішує проблему управління вантажопотоками для оптимальної організації роботи логістичного ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує раціональні схеми доставки вантажу в міжнародному сполученні.

Ключові слова: вантажний митний комплекс, термінал, міжнародні вантажні перевезення, система тягових плечей, тимчасове зберігання, багатоетапна транспортна задача, інформаційні технології.

ORGANIZATION OF UNBALANCED FREIGHT TRANSPORTATION WITH THE USE OF FREIGHT CUSTOMS COMPLEXES

G.S. Prokudin¹, I.O. Remekh², T.G. Khabotnia³

¹Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head at the Department “International Transportation and Customs Control”,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-9701-8511

²Assistant at the Department “International Transportation and Customs Control”,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3548-6090

³Senior Lecturer at the Department “International Transportation and Customs Control”,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-7094-6297

Summary

Introduction. As a result of socio-economic changes taking place in Ukraine and under the influence of globalization, the logistics chains of supply of goods and raw materials at enterprises are changing. They become longer and more complex in structure. Under the influence of information technologies that accompany material and financial flows, the integration of individual links in the supply chain, which are independent business units, is intensifying. The geography of material flows is also expanding, which is manifested, in particular, in the increase in freight turnover, both in long-distance and in international traffic.

Purpose. The modern approach to the organization of freight transportations demands use of modern means of information technologies at optimization of schemes of delivery of freights. Given the composition of the fleet of Ukraine, according to European standards, it is advisable to introduce traffic on the system of traction arms. In this case, we are faced with the need to use intermediate points for the temporary storage of excess cargo. The article investigates the application of a multi-stage transport problem for the distribution of cargo flows arriving at cargo customs complexes and the use of information technology to solve these problems.

Results. The effectiveness of the use of a multi-stage transport task in the work of cargo customs complexes (CCC) is the possibility of acceptance by all warehouses that are available for the organization of this type of transportation, including both CCC and intermediate warehouse terminals (IWT). Considering two conditions for solving the problem, namely: when the total amount of cargo from suppliers is equal to the total capacity of acceptance of cargo CCC and IWT and provided that the total amount of cargo from suppliers is greater than the total capacity of acceptance of cargo CCC and

IWT was illustrates the solution of the transport problem, respectively, in two and three stages in Excel and with the help of the designed software package.

Conclusions. This article demonstrates that a multi-stage transport problem solves the problem of cargo flow management for the optimal organization of the logistics chain, which works with the use of a traction arm system and offers rational schemes of cargo delivery in international traffic.

Key words: cargo customs complex, terminal, international transportation, traction shoulder system, temporary storage, multi-stage.

Вступ

Багатоетапна транспортна задача вирішує проблему розташування і направлення вантажів для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує найраціональніші схеми для відправлення вантажу на ВМК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У міжнародних перевезеннях вантажів за системою тягових плечей за маршрутом Україна-ЄС та ЄС-Україна пунктом перевантаження може виступати вантажний термінал, що знаходиться на українській стороні кордону [2; 3]. Західні області України, що межують з державами-членами ЄС, за умови ефективного транскордонного співробітництва, дозволяють використовувати вигідний геополітичний потенціал держави [4]. Довгострокові проекти щодо використання ВМК вздовж західного кордону – один із варіантів раціоналізації вантажних перевезень, тому оптимізація організації роботи і співпраці транспортних компаній із термінальними і складськими є важливою.

Формулювання цілей

Організація міжнародних вантажних перевезень на сьогодні вимагає сучасних підходів до вирішення питань, тому використання сучасних засобів інформаційних технологій під час оптимізації схем доставки вантажів є необхідною складовою частиною дослідження. Оскільки обсяги імпорту товарів з ЄС в Україну і експорту в зворотному напрямку є різними, проблема з надлишками вантажу, що поступає до ВМК, є досить актуальною, тому ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і, як наслідок, із багатоетапною транспортною задачею, що дозволить сформувати оптимізовані графіки надходження вантажів до складських приміщень вантажних митних комплексів.

Виклад основного матеріалу

У роботі наведемо опис підходу, який вирішує задачу поетапного транспортування вантажів в її мережевому поданні у середовищі Excel та інтеграцію задачі

в програмування Delphi за допомогою макросів VBA. При цьому розглянемо два варіанти багатоетапної задачі:

1. Коли сумарні об'єми складських приміщень замовника і проміжних пунктів рівні обсягам вантажу, що надсилається постачальниками.

2. Коли загальні об'єми поставок вантажу постачальниками перевищують загальні об'єми можливості прийому складськими приміщеннями замовника та проміжних пунктів.

Для першого варіанту розглянемо 2 ($m = 2$) постійних оптових постачальників однорідного вантажу (продукти харчування) – пунктів постачання (ПП) в містах Черкаси (A_1) та Київ (A_2), які мають його, відповідно, в обсягах: $a_1 = 210_{\text{т/міс}}$ та $a_2 = 318_{\text{т/міс}}$ і 4 ($n = 4$) ВМК – пункти споживання (ПС) в населених пунктах: м. Дрогобич (B_1), м. Городок (B_2), с. Шегині (B_3) та м. Судова Вишня (B_4), які розташовані вздовж кордону України у Львівській області, на яких здійснюватиметься перевантаження експортних товарів. ВМК мають заявки на цій вантаж в обсягах, відповідно: $b_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $b_2 = 44_{\text{т/міс}}$, $b_3 = 132_{\text{т/міс}}$ та $b_4 = 88_{\text{т/міс}}$. Причому загальні об'єми поставок цього вантажу ($528_{\text{т/міс}}$) перевищують загальні об'єми можливості прийому вантажу ВМК ($330_{\text{т/міс}}$) на величину Δ , а саме:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j, \quad (1)$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j. \quad (2)$$

Також ми маємо 3 ($l = 3$) проміжні складські термінали (ПСТ), які розташовані у наступних населених пунктах Львівської області: с. Малехів (C_1), с. Солонка (C_2) та м. Львів (C_3) для тимчасового зберігання надлишків вантажу (2), які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $c_2 = 44_{\text{т/міс}}$ та $c_3 = 88_{\text{т/міс}}$.

Враховуючи вихідні дані, між $\sum_{i=1}^m a_i$, $\sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$

виникає співвідношення (3) при обов'язковому виконанні умови (1):

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k. \quad (3)$$

Вибір даної умови обумовлений необхідністю завчасно спрогнозувати точні обсяги вантажу, що будуть направлені до складських приміщень на кожному із етапів доставки для укладення довгострокових договорів на обслуговування постачальників.

На першому етапі розв'язання задачі здійснюється розподіл вантажу від постачальників (A_m) між ВМК (B_n) та ПСТ (C_l). Витрати за кожним із напрямів це умовні одиниці, що враховують віддаленість постачальників вантажу від ВМК та ПСТ, ПСТ від ВМК. Другий етап розв'язання задачі розподіляє вантажі, що опинилися в ПСТ між ВМК для подальшої їх відправки в Європу. Результати багатоетапної задачі доставки вантажу за допомогою середовища Excel представлені на рисунку 1.

| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси | | C1 | C2 | C3 | Запаси |
|--------|------|------|------|------|--------|--------|----------|------|------|--------|
| A1 | 76 | 75 | 81 | 75 | 210 | A1 | 72 | 74 | 73 | 12 |
| A2 | 63 | 57 | 62 | 57 | 318 | A2 | 53 | 56 | 54 | 186 |
| Заявки | 66 | 44 | 132 | 88 | | Заявки | 66 | 44 | 88 | |
| | | | | | | | | | | |
| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси | | C1 | C2 | C3 | Запаси |
| A1 | 66 | 44 | 0 | 88 | 198 | A1 | 0 | 12 | 0 | 12 |
| A2 | 0 | 0 | 132 | 0 | 132 | A2 | 66 | 32 | 88 | 186 |
| Заявки | 66 | 44 | 132 | 88 | | Заявки | 66 | 44 | 88 | |
| 23100 | 5016 | 3300 | 8184 | 6600 | | 10930 | 3498 | 2680 | 4752 | |
| | | | | | | | 1-й етап | | | |

| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси |
|--------|-----|-----|-----|-----|----------|
| C1 | 9 | 5 | 10 | 8 | 66 |
| C2 | 7 | 3 | 8 | 3 | 44 |
| C3 | 8 | 3 | 8 | 3 | 88 |
| Заявки | 66 | 44 | 132 | 88 | |
| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси |
| C1 | 66 | 0 | 0 | 0 | 66 |
| C2 | 0 | 0 | 0 | 44 | 44 |
| C3 | 0 | 44 | 0 | 44 | 88 |
| Заявки | 66 | 44 | 0 | 88 | |
| 990 | 594 | 132 | 0 | 264 | |
| | | | | | 2-й етап |

Рис. 1. Excel-таблиця розв'язання багатоетапної задачі перевезення вантажу

За результатами розрахунків отримуємо прогноз для розміщення на 1-му і 2-му етапах перевезення вантажу, а також зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об'ємах, відповідних їх первинним заявкам. Обсяги поставок за кожним етапом розв'язання задачі представлені на оптимальній схемі перевезення вантажу, рисунок 2.

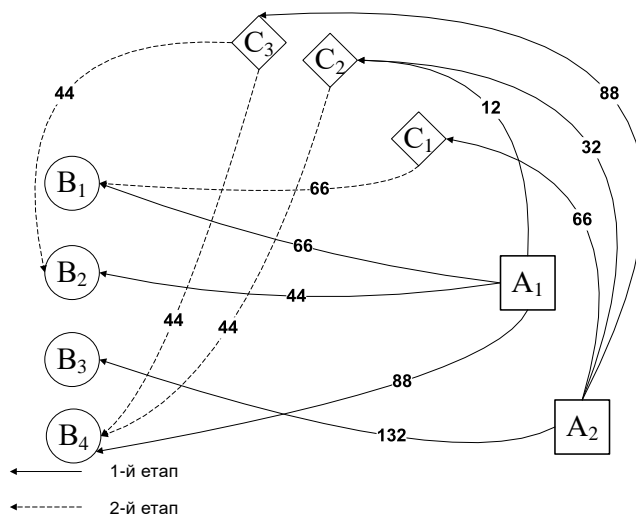


Рис. 2. Оптимальна схема перевезення вантажу (в тонах/місяць) за результатами першого варіанту багатоетапної транспортної задачі

Таким чином, вантаж 2-х постачальників, згідно умов задачі, розподілився між ВМК та проміжними терміналами(ПТ).

Для другого варіанту розглянемо аналогічно до попереднього 2 ($m = 2$) постійних оптових постачальників однорідного вантажу (продукти харчування) – ПП в містах Черкаси(A_1) та Київ(A_2), але які мають його, відповідно, в обсягах: $a_1 = 300_{\text{т/міс}}$ та $a_2 = 318_{\text{т/міс}}$ і 4 ($n = 4$) ВМК – ПС в населених пунктах: м. Дрогобич (B_1), м. Городок (B_2), с. Шегині (B_3) та м. Судова Вишня (B_4), які розташовані вздовж кордону України у Львівській області, на яких здійснюватиметься перевантаження експортних товарів. ВМК мають заявки на цей вантаж в обсягах, відповідно: $b_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $b_2 = 44_{\text{т/міс}}$, $b_3 = 132_{\text{т/міс}}$ та $b_4 = 88_{\text{т/міс}}$. Причому загальні об'єми поставок цього вантажу перевищують загальні об'єми можливості прийому вантажу ВМК, як і в першому варіанті задачі.

Також ми маємо 3 ($l = 3$) ПСТ, які розташовані в таких населених пунктах Львівської області: с. Малехів (C_1), с. Солонка (C_2) та м. Львів (C_3) для тимчасового зберігання надлишків вантажу (2), які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $c_2 = 44_{\text{т/міс}}$ та $c_3 = 88_{\text{т/міс}}$. Враховуючи вихідні дані, між

$\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$ виникає співвідношення (1) та (4):

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k \quad (4)$$

Вибір даної умови зумовлений необхідністю завчасно спрогнозувати розміщення вантажу з урахуванням надлишків, що будуть направлені до складських приміщень на кожному з етапів доставки для укладення довгострокових договорів на обслуговування постачальників.

На першому етапі розв'язання задачі здійснюється розподіл вантажу від постачальників (A_m) між ВМК (B_n) та проміжними пунктами(терміналами) (C_l). Витрати за кожним із напрямів – умовні одиниці, що враховують віддаленість постачальників вантажу від ВМК. Другий етап розв'язання задачі розподіляє вантажі, що опинилися в проміжних пунктах між ВМК для подальшої їх відправки в Європу. На третьому етапі розв'язання задачі залишки вантажу розподіляються від постачальників між ВМК. Результати багатетапної задачі доставки вантажу за допомогою середовища Excel представлені на рисунках 3 та 4.

| | V1 | V2 | V3 | V4 | Запаси | | C1 | C2 | C3 | Запаси |
|--------|------|------|------|------|--------|----------|------|------|------|--------|
| A1 | 76 | 75 | 81 | 75 | 300 | A1 | 72 | 74 | 73 | 102 |
| A2 | 63 | 57 | 62 | 57 | 318 | A2 | 53 | 56 | 54 | 186 |
| Заявки | 66 | 44 | 132 | 88 | | Заявки | 66 | 44 | 88 | |
| | | | | | | | C1 | C2 | C3 | Запаси |
| | V1 | V2 | V3 | V4 | Запаси | A1 | 0 | 39 | 0 | 39 |
| A1 | 66 | 44 | 0 | 88 | 198 | A2 | 66 | 5 | 88 | 159 |
| A2 | 0 | 0 | 132 | 0 | 132 | Заявки | 66 | 44 | 88 | |
| Заявки | 66 | 44 | 132 | 88 | | 11416 | 3498 | 3166 | 4752 | |
| 23100 | 5016 | 3300 | 8184 | 6600 | | 1-й етап | | | | |

Рис. 3. Excel-таблиця розв'язання другого варіанту багатетапної задачі перевезення вантажу (етап 1)

| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси |
|--------|----|----|-----|----|--------|
| C1 | 9 | 5 | 10 | 8 | 66 |
| C2 | 7 | 3 | 8 | 3 | 44 |
| C3 | 8 | 3 | 8 | 3 | 88 |
| Заявки | 66 | 44 | 132 | 88 | |

| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси |
|--------|----|----|-----|----|--------|
| A1 | 76 | 75 | 81 | 75 | 63 |
| A2 | 63 | 57 | 62 | 57 | 27 |
| Заявки | 66 | 44 | 132 | 88 | |

| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси |
|--------|-----|-----|----|-----|--------|
| C1 | 66 | 0 | 0 | 0 | 66 |
| C2 | 0 | 7 | 0 | 37 | 44 |
| C3 | 0 | 37 | 0 | 51 | 88 |
| Заявки | 66 | 44 | 0 | 88 | |
| 990 | 594 | 132 | 0 | 264 | |

| | B1 | B2 | B3 | B4 | Запаси |
|--------|----|------|----|------|--------|
| A1 | 0 | 30 | 0 | 33 | 63 |
| A2 | 0 | 14 | 0 | 13 | 27 |
| Заявки | 0 | 44 | 0 | 46 | |
| 6264 | 0 | 3048 | 0 | 3216 | |

Рис. 4. Excel-таблиця розв'язання другого варіанту багатоетапної задачі перевезення вантажу (етапи 2, 3)

За результатами розрахунків отримуємо прогноз для розміщення на 1-му і 2-му етапах перевезення вантажу а також зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об'ємах, відповідних їх первинним заявкам. Обсяги поставок за першим та другим етапом розв'язання задачі представлені на оптимальній схемі перевезення вантажу, рисунок 6, обсяги поставок за третім етапом, рисунок 5.

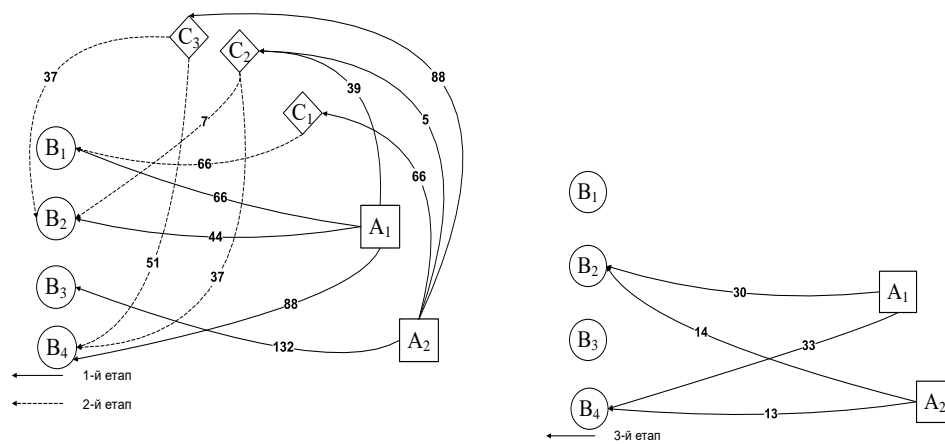


Рис. 5. Оптимальна схема перевезення вантажу(в тонах/місяць) за результатами другого варіанту БТЗ

Таким чином, вантаж 2-х постачальників, згідно умов задачі, розподілився між ВМК та проміжними терміналами (ПТ).

Із метою розв'язання проблеми планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ був спроектований програмний комплекс (ПК) за допомогою алгоритмічної мови програмування *Delphi* та макросів *Visual Basic for Application* для сумісної роботи з табличним процесором *Excel* [5].

Процес функціонування ПК включає 4 кроки:

1. Діалогове вікно задання структури перевезень, тобто кількості ПП, ПС та СП.
2. Діалогове вікно введення обсягів перевезення вантажу.
3. Діалогове вікно введення матриці транспортних комунікацій ТМ, тобто найкоротших відстаней між ПП і ПС, ПП і СП, СП і ПС.
4. Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК, на якому схематично представлені результати його виконання, рисунок 6 – перший варіант БТЗ, рисунок 7 – другий варіант БТЗ.

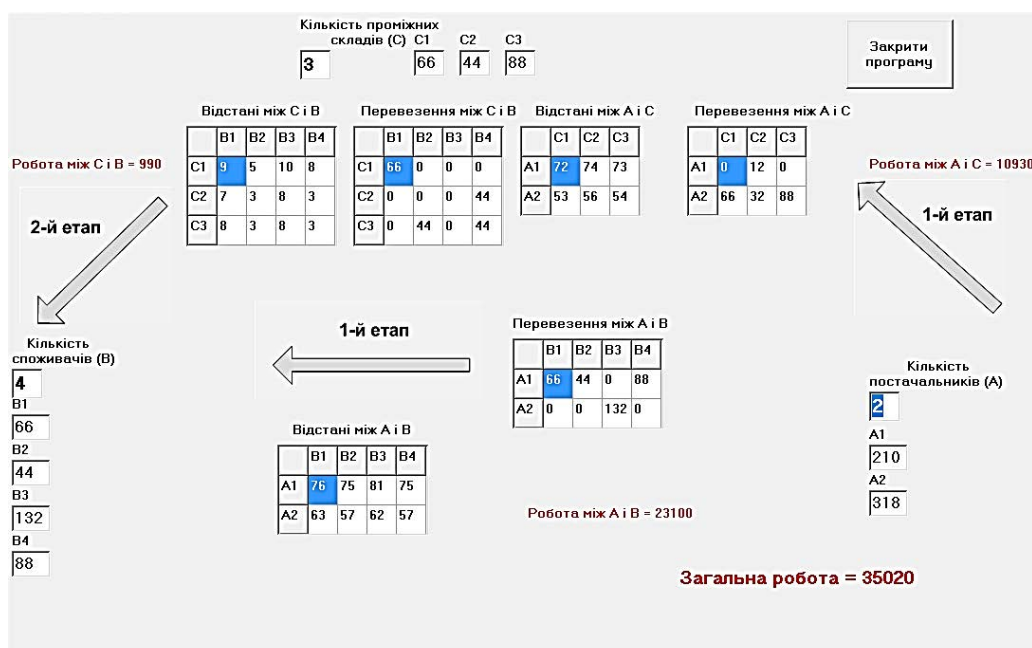


Рис. 6. Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК для першого варіанту БТЗ

Для першого варіанту БТЗ як результат роботи ПК ми отримуємо схематично представлені кроки його виконання, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 23100 у.г.о.); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і СП C_1, C_2, C_3 також на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 10930 у.г.о.); обсяги перевезення вантажу між СП C_1, C_2, C_3 і ПС B_1, B_4 на *другому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 990 у.г.о.); і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх етапів доставки вантажу, яка складає 35020 у.г.о., рисунок 6.

Для другого варіанту БТЗ, як результат роботи ПК ми отримуємо схематично представлені кроки його виконання, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 22524 у.г.о.); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і СП C_1, C_2, C_3 також на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 11506 у.г.о.); обсяги перевезення вантажу між СП C_1, C_2, C_3 і ПС B_1, B_4 на *другому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 990 у.г.о.); обсяги

перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *третьому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 6750 у.з.о.); і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх етапів доставки вантажу, яка складає 41770 у.з.о., рисунок 7.

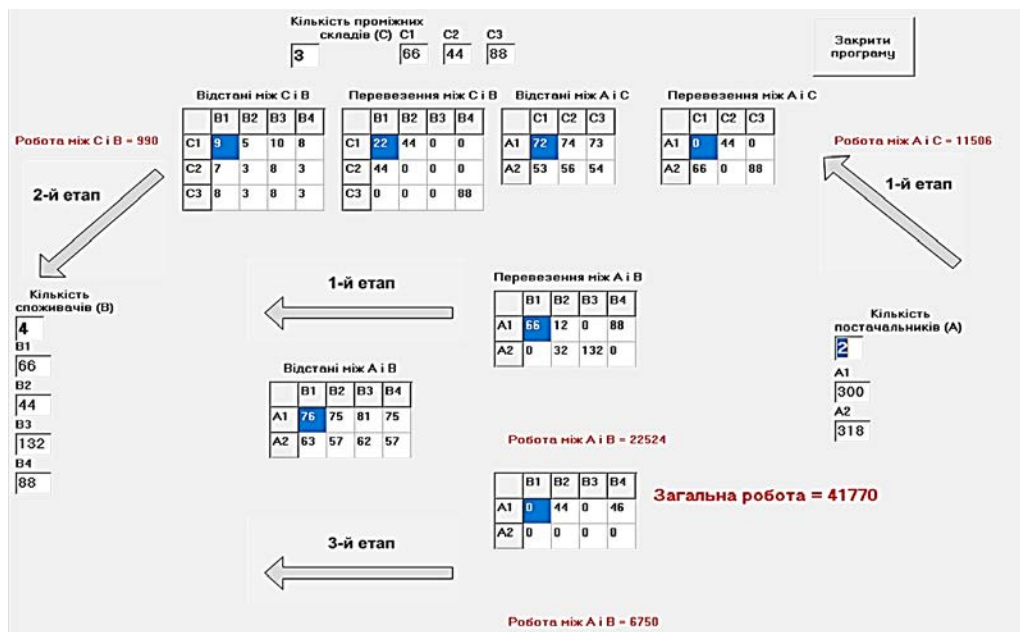


Рис. 7. Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК для другого варіанту БТЗ

Запропонований логістичний підхід до організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах був реалізований у вигляді програмно-інструментального комплексу (ПК) [6; 7], який об'єднує етап зведення мережевого представлення схеми доставки вантажів до табличного вигляду і етап планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ.

Цей підхід до оптимізації масових вантажних перевезень на ДТМ, який базується на використанні сучасних засобів інформаційних технологій, демонструє один з напрямів цього рішення [8], але має такі обмеження:

1. На 2-ому етапі (а для інших варіацій БТЗ і подальших) зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в обсягах, відповідних їх первинним замовленням.

2. Для успішного застосування запропонованого підходу необхідно попередньо перетворити мережеву модель представлення перевезень вантажу до табличного вигляду.

3. ПК може бути застосований для ТМ малої та середньої розмірності у зв'язку з обмеженістю програмного середовища його реалізації – табличного процесора *Excel*.

Висновки

Ефективність багатоетапної транспортної задачі у оптимізації використання ВМК полягає у врахуванні даних щодо можливості прийняття всіма складськими

приміщеннями, які доступні для організації такого виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні термінали. Розглядаючи дві умови для розв'язання задачі: коли загальна кількість вантажу від постачальників є рівною сумарним можливостям прийняття вантажу ВМК та ПТ та за умови, якщо загальна кількість вантажу від постачальників є більшою, ніж сумарні можливості прийняття вантажу ВМК та ПТ – було проілюстровано розв'язання транспортної задачі у два та три етапи. Багатоетапна транспортна задача вирішує проблему розташування і направлення вантажів для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує найраціональніші схеми для відправлення вантажу на ВМК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мосьпан Н.В. Формування стратегій автотранспортних підприємств по обслуговуванню разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.01 – транспортні системи, ХНАДУ. Харків, 2018. 212 с.
2. Державна служба статистики України. Статистична інформація. Транспорт. Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
3. Стратегія сталої логістики та план дій для України. URL : <https://mtu.gov.ua/files/Logistics.pdf> (дата звернення: 20.05.2018).
4. Г.С. Прокудін, І.О. Ремех, К.О. Майданик та ін. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезенні вантажів у міжнародному сполученні. Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. 2017. № 10. С. 79–86.
5. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Пилипенко Ю.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 92194 «Метод перетворення мережевих моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі». Київ : Мінекономрозвитку України, 20.09.2019. 5 с.
6. Миротин Л.Б. Логистические информационные системы и технологии интегрированных цепочек поставок. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы): Учебник для транспортных вузов. / Под общ. ред. Л.Б. Миротина. Москва : Издательство «Экзамен», 2003. С. 61–99.
7. Є.А. Ерфан, М.Ю. Король. Сучасний стан розвитку прикордонної інфраструктури України з країнами ЄС. *Науковий вісник Мукачівського державного університету*. 2017. № 1. С. 22–29.
8. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. N. 2/3(92). P. 51–59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2016.85211).

REFERENCES

1. Mospan N.V. (2018). Formation of strategies of motor transport enterprises on service of one-time orders for transportation of cargoes in long-distance

- communication [Formuvannia stratehii avtotransportnykh pidpriemstv po obsluhovuvanniu razovykh zamovlen na perevezennia vantazhiv u mizhmiskomu spoluchenni] : transport systems candidate's thesis: KNADU. Kharkiv, 212-212 [in Ukrainian]
2. State Statistics Service of Ukraine. Statistical information. Transport. Volumes of transported cargoes by types of transportz. (2018). Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian]
 3. Sustainable logistics strategy and action plan for Ukraine. (2018). Retrieved from <https://mtu.gov.ua/files/Logistics.pdf> [in Ukrainian]
 4. G.S. Prokudin, I.O. Remekh, K.O. Majdanik and oth. (2017). The efficiency of the traction arm system in the transportation of goods in international traffic. [Efektyvnist zastosuvannia systemy tiahovykh plechei pry perevezenni vantazhiv u mizhnarodnomu spoluchenni]. Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia, Rzeszow. 10, 79 – 86. [in Ukrainian]
 5. Prokudin G.S. , Chupaylenko O.A., Dudnik O.S., Pilipenko Y.V. (2019). Certificate of registration of copyright to a scientific work № 92194 «A method of transforming network models of the freight process into matrix models»[Metod peretvorennia merezhevykh modelei protsesu vantazhnykh perevezen u matrychni modeli]. Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine. 5 [in Ukrainian]
 6. Mirotin L.B. (2003). Logistics information systems and technologies of integrated supply chains. Integrated logistics of storage and distribution complexes (warehouses, transport hubs, terminals): Textbook for transport universities [Logisticheskie informacionnye sistemy i tehnologii integrirovannyh cepochek postavok. Integrirovannaja logistika nakopitel'no-raspredelitel'nyh kompleksov (sklady, transportnye uzly, terminaly): Uchebnik dlja transportnyh vuzov] Moscow: Ekzamen, 61-99 [in Russian]
 7. Ye. A. Erfan, M. Yu. Korol. (2017). The current state of development of Ukraine's border infrastructure with EU countries. [Suchasnyi stan rozvytku prykordonnoi infrastruktury ukrainy z krainamy YeS]. Scientific Bulletin of Mukachevo State University. 1, 22–29 [in Ukrainian]
 8. G. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, O. Prokudin, V. Svatko. (2018). Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2/3 (92), 51-59. DOI:10.15587/1729-4061.2016.85211 [in English]

Наукове видання

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Випуск 1(6), 2020

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською
та англійською мовами*

Видається з жовтня 2016 р.

Формат 70x108/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 11,20.
Замов. № 1220/340. Наклад 200 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (0552) 39 95 80
+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(6), 2020

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 11,20.
Order No 1220/340. Edition of 200 copies.

Publishing House “Helvetica”
65101, Ukraine, Odessa, 6/1 Inglizi St.
Phone +38 (0552) 39-95-80
+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