

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ



# **ВІСНИК**

**Східноукраїнського  
національного університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 5 (261)  
2020**

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

Сєвєродонецьк 2020

# ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

**№ 5 (261) 2020**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ

ВИХІД З ДРУКУ - ДВНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК

Засновник

Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано

в Міністерстві юстиції України

Свідоцтво про державну реєстрацію

серія КВ № 15607-4079ПР

від 18.08.2009 р.

# VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAHL EAST  
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

**№ 5 (261) 2020**

THE SCIENTIFIC JOURNAL

WAS FOUNDED IN 1996

IT IS ISSUED TWELVE TIMES A YEAR

Founder

Volodymyr Dahl East Ukrainian National  
University

Registered by the Ministry

of Justice of Ukraine

Registration Certificate

KB № 15607-4079ПР

dated 18.08.2009

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН № 886 02.07.2020 р.), (Наказ МОН №1188 24.09.2020 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних (122, 131, 132, 133, 141, 151,161, 273) та економічних (051, 073, 075) наук відповідно.

Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2018: 59.34).

ISSN 1998-7927

## Головна редакційна колегія:

*Поркуян О.В.*, докт. техн. наук (голова редакційної колегії),

Галгаш Р.А., докт. екон. наук, (заступник голови  
редакційної колегії),

Кудрявцев С.О., канд. техн. наук, (заступник голови  
редакційної колегії),

Білобородова Т.О. канд. техн. наук,

Глікін М.А., докт. техн. наук,

Глікіна І.М., докт. техн. наук,

Горбунов М.І., докт. техн. наук,

Грицюк В.Ю., канд. техн. наук,

Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,

Ковтанець М.В., канд. техн. наук,

Кравченко К.О., канд. техн. наук,

Лорія М.Г., докт. техн. наук,

Ноженко В.С., канд. техн. наук,

Носко О.П., канд. техн. наук,

Проказа О.І., канд. техн. наук,

Семененко І.М., докт. екон. наук,

Сергієнко О.В., канд. техн. наук,

Скарга-Бандурова І.С., докт. техн. наук,

Соколов В.І., докт. техн. наук,

Суворін О.В., докт. техн. наук,

Целіщев О. Б., докт. техн. наук

**Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Чернецька-Білецька Н.Б.**

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 3 від 29 вересня 2020 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2020

© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2020

## ЗМСТ

<b>Кельріх М.Б., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С.</b> ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ .....	5
<b>Кириченко І.О., Кашура О.Л.</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗМЕНШЕННЯМ ЗНОСУ В ПАРІ ТЕРТЯ КОЛЕСО-РЕЙКА .....	10
<b>Клюєв С.О.</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ .....	14
<b>Ковтанец М.В., Горбунов Н.И., Ковтанец Т.Н.</b> МОДЕРНИЗАЦІЯ ПЕСОЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКОМОТИВА ДЛЯ ЕНЕГРГО-И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕННЯ, ПОВЫШЕННЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ «КОЛЕСО-РЕЛЬС» .....	19
<b>Михайлов Є.В.</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ ВАНТАЖНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКЗОСКЕЛЕТІВ .....	25
<b>Полупан Є.В., Шевченко С.І., Медведєв Є.П.</b> ВПЛИВ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ І ХАРАКТЕР ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ .....	29
<b>Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Прокудін О.Г.</b> ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ УКРАЇНИ .....	33
<b>Роговой А.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ВИХРЕКАМЕРНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ .....	40
<b>Рубан М.Ю., Фомін А.В.</b> ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ БУДІВНИЦТВА ТА РОЗВИТОК ПЕРСПЕКТИВНИХ ПРОЕКТІВ ПАРОВОЗІВ СЕРІЇ ФД НА ЛУГАНСЬКОМУ ПАРОВОЗОБУДІВНОМУ ЗАВОДІ (1925 – 1941 РР.) .....	47
<b>Сулим А.О., Сіора О.С., Мельник О.О., Хозя П.О., Третьак Е.В.</b> РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА МЕТРОПОЛІТЕНУ .....	57
<b>Фомін О.В., Ловська А.О., Горбунов М.І.</b> ВПЛИВ ПОВЗДОВЖНЬО-ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ ГАЛЬМОВОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІЗКА ВАГОНА, ОБЛАДНАНОГО НОВИМ КОНЦЕПТОМ УПРЯЖНОГО ПРИСТРОЮ .....	67
<b>Фомін О.В., Ловська А.О., Сапронова С.Ю.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗДОВЖНЬОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ З ПОНИЖЕНИМ ЦЕНТРОМ ВАГИ .....	74
<b>Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О., Мірошникова М.В.</b> РОЗРОБКА СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОЇЗДІВ .....	81
<b>Шворнікова Г.М., Сорока С.І.</b> ВПЛИВ МАРКЕТИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОГО СЕРВІСУ .....	86

---



---

## CONTENTS

<b>Kelrich M.B, Fomin O.V., Prokopenko P.M., Sova S.S.</b> THEORETICAL ASPECTS OF DETERMINING THE RESIDUAL RESOURCE OF THE WAGON-TANK FOR DANGEROUS GOODS .....	5
<b>Kyrychenko I.O., Kashyra O.L.</b> ENSURING THE EFFICIENCY AND SAFETY OF TRANSPORTATION BY REDUCING WEAR IN A PAIR OF FRICTION WHEEL-RAIL .....	10
<b>Kliuiev S.O.</b> ENSURING THE SAFETY OF RAILWAY TRANSPORT IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION .....	14
<b>Kovtanets M.V., Gorbunov M.I., Kovtanets T.M.</b> MODERNIZATION OF THE LOCOMOTIVE SAND SYSTEM FOR ENERGY AND RESOURCE SAVING, INCREASE AND CONTROL OF THE «WHEEL-RAIL» SYSTEM INTERACTION .....	19
<b>Mikhailov E.V.</b> INCREASING EFFICIENCY OF PERFORMING CARGO LOGISTIC OPERATIONS USING EXOSKELETONS .....	25
<b>Polupan Y.V., Shevchenko S.I., Medvediev I.P.</b> FLOW OF FACTORS TO THE PROCESS OF GALMUVANIA ON THE SIZE I CHARACTER OF ZMINI KOEFITSIENIA TERTYA .....	29
<b>Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Dudnik O.S., Prokudin O.G.</b> WAYS TO SOLVE THE PROBLEM TRUCK MANAGEMENT IN UKRAINE TRANSPORT SYSTEMS .....	33
<b>Rogovyi A.S.</b> THE INVESTIGATION OF THE VORTEX CHAMBER FORM INFLUENCE ON THE VORTEX CHAMBER SUPERCHARGERS OPERATION PARAMETERS .....	40
<b>Ruban M.Y., Fomin A.V.</b> HISTORICAL PREREQUISITES OF THE CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT OF PROSPECTIVE PROJECTS F FD SERIES LOCOMOTIVES AT THE LUHANSK STEAM LOCOMOTIVE ENGINEERING PLANT (1925 – 1941) .....	47
<b>Sulym A.O., Siora O.S., Melnyk O.O., Khozia P.O., Tretiak E.V.</b> DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC AND SOFTWARE SUPPORT FOR DETERMINATION OF RATIONAL MODE OF THE METRO TRAIN OPERATION .....	57
<b>Fomin O.V., Lovska A.O., Horbunov M.I.</b> THE INFLUENCE OF LONGITUDINAL-DYNAMIC LOADS ON THE STRENGTH OF THE BRAKE LEVEL TRANSMISSION OF A WAGON FURNISHED WITH A NEW CONCEPT OF A DRIVE .....	67
<b>Fomin O.V., Lovska A.O., Sapronova S.Yu.</b> INVESTIGATION OF THE LONGITUDINAL LOADING OF THE SUPPORTING STRUCTURE OF AN ARTICULATED PLATFORM WAGON WITH A REDUCED CENTER OF GRAVITY .....	74
<b>Chernetska-Biletska N.B., Baranov I.O., Miroshnykova M.V.</b> DEVELOPMENT CONTROL SYSTEMS FOR CRITICAL TRAIN PARAMETERS .....	81
<b>Shvornikova H., Soroka S.</b> THE IMPACT OF MARKETING ACTIVITY ON THE QUALITY OF TRANSPORT AND LOGISTIC SERVICE .....	86

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-5-9>

УДК 629.463.65

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

Кельріх М.Б., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С.

## THEORETICAL ASPECTS OF DETERMINING THE RESIDUAL RESOURCE OF THE WAGON-TANK FOR DANGEROUS GOODS

Kelrich M.B, Fomin O.V., Prokopenko P.M., Sova S.S.

*В статті виконаний детальний аналіз сучасного стану експлуатаційного парку залізничних вагонів-цистерн для транспортування небезпечних вантажів залізницями України. Аналіз показує, що залізничні вагони-цистерни для перевезення небезпечних вантажів значною мірою вичерпали свій ресурс. Технічний стан вагонів-цистерн після проведення планових видів ремонту свідчить про те, що більша їх частина знаходиться в справному технічному стані. З метою продовження безпечної експлуатації з терміном служби, що вичерпаний виконується технічне діагностування і випробування вагонів-цистерн.*

**Ключові слова:** цистерна, випробування, аварійна ситуація, герметичність, продовження строку служби.

**Вступ.** За останній час відбулося значне старіння цистерн для небезпечних вантажів які знаходяться в експлуатаційному парку. На даний момент на залізницях України експлуатуються цистерни з закінченим призначеним терміном служби. З метою вирішення проблеми можливості подальшої експлуатації з закінченим терміном служби виконується технічне діагностування та випробування. Проаналізувавши технічний стан цистерн визначено, що більшість вагонів - цистерн знаходиться в доброму технічному стані. Недостатня кількість фінансування для придбання та побудови нових вагонів призводить до зменшення перевезень, тому питання визначення залишкового ресурсу цистерн для небезпечних вантажів є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми.** Дослідження, які описують питанням зменшення вартості вагонів, зокрема, праця [4] висвітлює особливості інноваційних конструкцій напіввагонів та їх проектування. Автори статті [5] описують інноваційні напрямки покращення технічних та економічних показників залізничних кузовів напіввагонів. Робота [8] висвітлює показники які характеризують динаміку руху вагона - платформ. Матеріал [9] описує методи оцінки динамічних харак-

теристик вагона для різних несучих конструкцій вагона. Сучасні публікації присвячені інноваційним конструкціям вагонів з нових матеріалів. Робота [6], відображено результати моделювання нового вагона з несучими основними елементами, які виконані без надлишкових зв'язків. Матеріал [7] описує особливості інноваційних змін в ходовій частині вагона. Праця [8] висвітлює роботи генерування нових варіантів профілів, які можна використовувати у виробництві різних вагонів. Робота [10, 12] описує способи аналізу несучих конструкцій нового покоління та розширення їх функціональності. Також важливу роль у вагонобудуванні відіграють деякі підходи в проектуванні, робота [11] описує методологічний апарат для визначення рішень які є оптимальними. У роботах [13, 14, 15] описані результати та особливості досліджень про визначення технічних складових вагонів для створення напружено-деформованого стану, на основі принципу попередніх напружень. Роботи [16, 17] відображають результати впровадження круглих труб в конструкцію вантажного вагона та дослідження міцності кузова піввагона при перевезенні на залізничному поромі. З урахуванням викладено впливає висновок, що оглянуті інформаційні джерела свідчать про недостатню кількість теоретичних та практичних матеріалів з проведення випробувань на аварійні ситуації, технічного діагностування вагонів - цистерн для транспортування небезпечних вантажів.

**Мета і завдання дослідження.** Описання особливостей виконання технічного діагностування несучих конструкцій, випробувань на співудар і випробувань на аварійні ситуації цистерн для транспортування небезпечних вантажів.

Експлуатаційний парк та технічні показники цистерн для транспортування небезпечних вантажів складається з: цистерн моделі: 15-1597, 15-1408-02, 15-1407, 15-1408-01, 15-1408, 15-1440, та ін. Вище

зазначені вагони мають гарний технічний стан. Названі вагони-цистерни конструктивно відрізняються один від одного такими ознаками: матеріал з якого виготовляється котел цистерни, діаметр котла, кількість обичайок в котлі, захисним обладнанням днища котла від пошкоджень під час катастроф та захистом арматури котла.

**Основний матеріал.** Парк цистерн для транспортування небезпечних вантажів налічують цистерни моделі: 15-1408-01, 15-1408, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597– для аміаку 15-1407 – для пропану, 15-1409, 15-1556, – для хлору, 15-1780, 15-1519 – для пропану-бутану.

Аналіз експлуатації залізницею показує, що більша частина аварій на залізничних шляхах включають цистерни, які транспортують вантажі різного асортименту: нафтопродукти, скраплений газ, кислоти, вибухонебезпечні і токсичні вантажі хімічного походження. Більшість аварій, які відбуваються під час сходження вагона з колій, наїзд вагону на вагон або інші перешкоди, також характерним є саморозчеп вагона та удар автозчепом у сусідній вагон або довгомірним вантажем в днище котла (рис. 3).



Рис. 1. Модель цистерни 15-1408-02



Рис. 2. Модель цистерни 15-1556

На даний момент захист днища цистерни під час аварій використовують додаткові накладки з сталі на днище (фальшдно) або торцеві щити. Накладні сталеві елементи, посилюють нижню частину котла днища та повторюючи його форму, встановлюються на цистернах моделей 15-1408, 15-1619

(рис. 4). Дані накладки володіють низькою енергоємністю, оскільки щільно прилягають до днища цистерни.

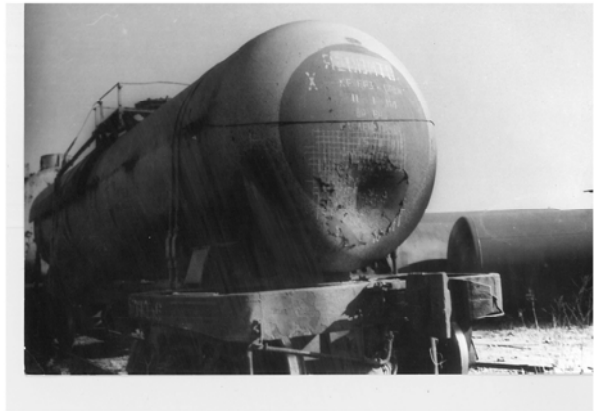


Рис.3. Пошкодження котла цистерни



Рис. 4. Цистерна для пропану

Об'єктом досліджень є цистерна моделі 15-1408 (рис. 5) для транспортування аміаку, із вичерпаним строком експлуатації (20 р.) та вагон - цистерна модель 15-1619 (рис. 6) котел діаметром 3200 мм.



Рис. 5. Вагон-цистерна 15-1408 для аміаку

Контрольні випробування складаються з: статичних випробувань на вертикальне навантаження, випробувань малоциклічним навантаженням котла тиском, випробування на співудар і випробування аварійними ситуаціями.



Рис. 6. Модель цистерни 15-1619

Випробування на малоциклічним навантаженням котла виконується шляхом наповнення котла водою до повного завантаження, з подальшим накачуванням води в котел насосною станцією, для утворення надлишкового тиску до 2 МПа. Через кожні 75 циклів навантажень робочим тиском, виконується навантаження тиском до 3 МПа.

Випробування на співудар виконувались зі швидкістю вагона бойка вагою 102 тони на випробувальну цистерну від 1 до 12 км / год, цистерна знаходиться в загальмованому стані, та в підпорі з 4-х вагонів які мають масу 300 т. Горизонтальні поздовжні сили котрі діють на цистерну через автозчеп до 3,0МН та декілька ударів 4,2 МН.

Аварійна ситуація. Перед та після випробувань проводилась контроль герметичності котла способом створення надлишкового тиску від 0,5 до 3 МПа на час 5 хв.

Створення наднормативних навантажень котлу цистерни:

- подача тиску до пошкодження котла цистерни або втрата герметичності;
- удар бойка з масою 90 тон в автозчепний пристрій цистерни із швидкістю 22 км/год
- удар автозчепом бойка з масою 102 тони в днище котла цистерни та швидкість 10,2 км/год.



Рис. 7. Графік напружень в контрольних точках

В ході ударних ресурсних досліджень проведено дослідження напруженого стану в дослідних місцях котла цистерни. На рис. 7 наведені напруження в дослідних зонах не перевищували допустимих значень в 230 МПа.

Визначення міцності котла цистерни, від надлишкових навантажень, є герметичність котла і збереження вантажу після виконання випробувань, способом створення тиску в котлі.

**Висновки.** В результаті технічного діагностування несучих конструкцій вагона та ударних випробувань цистерни визначено:

- напруження котла вагона-цистерни від прикладення ударних навантажень та статичних знаходились в межах 230 МПа;

- під час випробувань шляхом малоциклічного навантаження котла цистерни тиском від 0 до 2 МПа, проведено 225 циклів, що дорівнює 5 рокам експлуатації;

- комплекс досліджень з на аварійні ситуації складався з: створення максимального тиску в котлі (6 МПа), ударні навантаження в днище котла, зіткнення цистерни з бойком на швидкості 22 км/год.

В результаті проведеного комплексу досліджень розгерметизації та пошкоджень котла вагона-цистерни не виявлено. З вище викладеного слідує висновок, що котел цистерни та несучі металеві конструкції не вичерпали ресурс.

#### Л і т е р а т у р а

1. Фомін О.В., Розробка методик впровадження різних профілей в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів. Вісник національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2012 С.29-33.
2. Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Sapronova S., Vambura O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów. 2016. P. 114–126.
4. Фомін, О.В, Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям. Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Северодонецьк: СХУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.
5. V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: [10.15587/1729-4061.2017.109791](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109791)
6. Fomin, O.V., Gostra A.V. Variations describe the structural designs of freight cars. Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series Transport systems and technologies. 2015. №26-27. - P.137-147.

7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., Shvets, A. Spatial vibration of cargo cars in computer modelling with the account of their inertia properties. *Mechanika*. 2010: Proc. of 15th Intern. Conference. P. 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., Kyryl'chuk O. Mathematical modeling of dynamic loading of cassette bearings for freight cars. *transport means. Proc. of 21st Intern. Scientific Conference – 2017*. P. 973-976.
9. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків., 2009. С. 121 – 131.*
10. Кельріх М. Б., Мороз В.І. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ. 2014. № 2. С. 210.*
11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. *Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України»*. Київ. 2014. № 5. С. 107.
12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон». *Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків. 2008. С. 72-81.*
13. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. 2012. № 3/7(57). P. 32-35 p.
14. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. Кременчук. 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.
15. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. *Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства»*. Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83-89.
16. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. Вип. 33. С. 28 – 32.
17. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі. *Зб. наук. праць ДУІТ. Київ. 2018. Вип. 32, Т. 1. С. 71 – 80.*
18. Fomin O.V. (2012). Rozrobka metodiki vprovadnennja riznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantagnih vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars]. *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»* [Bulletin of Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»], P.29-33.
19. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Saponova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
20. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów, 114–126.*
21. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Saponova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahonakhopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam [Improvement of the carrier capacity of the hopper car to transport the grain in order to increase the resistance by dynamic effort]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya* [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], № 5(235). P. 88-99/
22. V. Tkachenko, S. Saponova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. (2017) Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
23. Fomin, O.V. (2015) Variacijne opisanja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars]. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies"*. 26-27, P. 137-147.
24. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. *Mechanika. Proc. of 15th Intern. Conf.*, 325-328.
25. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf.*, 973-976.
26. Moroz V.I. (2009). Matematychnyy zapys zadachi optyimizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. *Zbirnyk naukovykh prats* [Collection of scientific papers]. № 111. P. 121-131.
27. Kelrikh M. B., Moroz V. I. (2010). Strukturno-funktsionalne opysannia konstruktivni modulja kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv [The structural and functional design of the module body of modern universal gondola cars]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], 2 (210). P. 94-103.
28. Makarenko M. V. (2014). Kompleksnyi analiz ekonomichnogo efektu vid zhyttievoho tsykladu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola], *Naukovo-praktychny zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy»*. № 5. – С. 107.
29. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstruktivni napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE" Ukrspetsvagon"]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu*, 72-81.
30. Fomin, A. V. (2012). The determination of the perspective directions of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. 3/7(57), P. 32-35.
31. Fomin O.V. (2013). Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya

### References

- matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv [Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons]. Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». 6(83). P. 87-91.
15. Fomin, O. V. (2015). Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpecheny razvaliny pokaznikov mcnet. The journal "Technology audit and production reserves". № 4/1(24) – P. 83-89.
  16. Lov's'ka A. O. (2018). Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tsysterny pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyizda na zaliznychnomu poromi [Simulation of load of tank-container during transportation in the combined train on a railway ferry], Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI» [Bulletin of Nacionalhogo tehnicnoho universitetu «KHPI»], 33. P. 28 – 32.
  17. Lov's'ka A.O. (2018). Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi [Investigation of the durability of the bearing structure of the gondola body during transportation on the railway ferry], Zb. nauk. prats'. DUIT [Collection of scientific works DUIT].32, T. 1. P.71 – 80.

**Кельрих М.Б., Фомин А.В., Прокопенко П.Н., Сова С.С. Теоретические аспекты определения остаточного ресурса вагона-цистерны для опасных грузов.**

*За последние годы произошло значительное старение эксплуатационного парка грузовых вагонов, в т.ч. вагонов-цистерн для перевозки особо опасных грузов. В настоящее время на сети железных дорог Украины находятся в эксплуатации вагоны-цистерны со сроком службы превышающий установленный заводом-изготовителем и продлен срок службы. Анализ технического состояния вагонов-цистерн после проведения плановых видов ремонта показывает, что значительная их часть находится в удовлетворительном состоянии. Для решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации с истекущим сроком службы проводится их техническое диагностирование и ко-рольной испытания*

**Ключевые слова:** вагон-цистерна, ударные испытания, аварийные испытания, повреждения, герметичность, продление срока эксплуатации.

**Kelrich M.B., Fomin O.V., Prokopenko P.M., Sova S.S. Theoretical aspects of determining the residual life of a wagon-tank for dangerous goods.**

*In recent years, there has been a significant aging of the operating fleet of freight wagon, incl. tank wagons for the transport of especially dangerous goods. At present, tank wagons with a service life exceeding those established by the manufacturer and operating life are extended on the railway network of Ukraine. An analysis of the technical condition of*

*tank wagons after carrying out planned types of repairs shows that a significant part of them are in satisfactory condition. In order to resolve the issue of the possibility of further safe operation with an expired service life, their technical diagnostics and root tests are carried out. Description of the peculiarities of performing technical control of load-bearing metal structures, impact tests and tests with simulation of emergency situations of tank wagons for the transport of particularly dangerous goods. The park and technical condition of tank wagons for the transportation of dangerous goods includes: tank wagons models 15-1407, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597 and others. and they are in good technical condition. The above-mentioned tank wagons are structural different from each other by the following features: the material of which the tank boiler is made, the diameter of the boiler, the number of shells in the boiler, the protective equipment of the bottom of the boiler against damage during accidents and the protection of the boiler fittings. Recently, there has been a significant aging of the freight wagon fleet, incl. tank wagons for dangerous goods. At present, the railways of Ukraine operate tank wagons with an exhausted life. Technical diagnostics and testing are performed to resolve the issue of the possibility of further exploitation with the end of the service life. Analyzing the technical condition of the tanks, it is established that a large part of them is in satisfactory condition. Due to the lack of financing for the purchase of new wagons to ensure uninterrupted delivery of freight by rail, the task of carrying out research on residual resource determination and the possibility of continuing the safe operation of tank wagons for the transport of particularly dangerous goods remains relevant. As a result of the complex research of depressurization and damage to the boiler, the tank was not found. It follows from the foregoing that the tank boiler and the supporting metal structures have not exhausted the resource.*

**Keywords:** wagon-tank, shock tests, emergency tests, damage, tightness, extension of the service life.

**Кельріх М.Б.** – д.т.н., професор, кафедра «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій.

**Фомін О.В.** – д.т.н, доцент, кафедра «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: fomin1985@ukr.net.

**Прокопенко П.М.** – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: prokopenko1520mm@gmail.com.

**Сова С.С.** – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, e-mail: gorbunov0255@gmail.com.

Стаття подана 19.05.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-10-13>

УДК 629.4

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗМЕНШЕННЯМ ЗНОСУ В ПАРІ ТЕРТЯ КОЛЕСО-РЕЙКА

Кириченко І.О., Кашура О.Л.

## ENSURING THE EFFICIENCY AND SAFETY OF TRANSPORTATION BY REDUCING WEAR IN A PAIR OF FRICTION WHEEL-RAIL

Kyrychenko I.O., Kashyra O.L.

*У статті розглянуто питання, пов'язані із зниженням інтенсивності зносу колісних пар і рейок до прийнятних значень для підвищення безпеки залізничних перевезень; показано ефективність застосування мастильних матеріалів в парі тертя колесо - рейка. Запропоновано математичну модель розрахунків розподілів навантаження та температури по плямі контакту гребня колеса та бічної поверхню рейки, що дозволяє отримувати миттєві значення цих величин по поверхні. Ці результати дозволять підібрати відповідні характеристики мастил, що використовуються для зменшення тертя та зносу.*

**Ключові слова:** залізничний транспорт, колісні пари, режими тертя, знос колісних пар, трибосистема, гребінь.

**Вступ.** Залізничний транспорт відіграє ключову роль в забезпеченні транспортних потреб населення і підприємств. За допомогою рейкового транспорту здійснюється до 70% всіх перевезень. Від якості і безпеки роботи залізничного транспорту залежить рівень соціально-економічного стану суспільства. Проблема взаємодії рухомого складу та залізничної колії відноситься до числа найважливіших у транспортній галузі. Незважаючи на певний прогрес в вивченні фізичних процесів при контакті колеса з рейкою, ця проблема до кінця не досліджена [1].

**Постановка проблеми.** Актуальність досліджень, присвячених даній проблемі, обумовлена тим, що саме від процесів, що відбуваються в контактній взаємодії колеса і рейки, залежать безпека і техніко-економічні показники тягового рухомого складу залізниць (швидкість руху, втрати, пов'язані з подоланням опору руху, знос коліс, рейок і т.і.) [2]. Тому проблема зношування колісних пар та рейок важлива та актуальна.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багаторічна експлуатація рухомого складу показує, що ресурс бандажів колісних пар визначається прокатом і, в більшій мірі, зносом гребнів. Про це свідчать численні публікації, присвячені наднорматив-

ному зносу гребнів колісних пар і бічній поверхні головки рейки. Так, наприклад, в [1] представлені діаграми структури обточувань колісних пар з експлуатаційного парку локомотивів на мережі залізниць СНД. Їх аналіз показує, що вироблені обточування бандажів колісних пар по допустимій величині прокату становлять 4%, в той час як по зносу гребня їх значення досягає 65%.

Багаторічна експлуатація рухомого складу показує, що ресурс бандажів колісних пар визначається прокатом і, в більшій мірі, зносом гребнів. Про це свідчать численні публікації, присвячені наднормативному зношуванню гребнів колісних пар і бічній поверхні головки рейки. Зокрема, проблемні аспекти розглянуті у роботах Голубенка О.Л., Бартенєва Л.І., Нікітіна В.Є. та ін.

**Мета статті.** З урахуванням вищевказаного, метою статті є аналіз зниження інтенсивності зносу і температурного режиму з ростом значення спрямовуючої сили може бути досягнуто при в'язкості масла, відповідної температури значно меншим ніж розрахункова температура в зоні тертя.

**Результати досліджень.** У процесі тертя бічної поверхні гребня колеса по рейці в залежності від навантажувальних, швидкісних і температурних режимів реалізуються різні режими тертя: сухого, граничного і напіврідкого тертя, зміна режимів тертя, в тому числі і створення змішаного мастила, може бути розглянуто на діаграмі Герсі - Штрібріка (рис. 1), яка показує залежність коефіцієнта тертя від характеристики режиму змащення  $\lambda$  [5]. Безрозмірна величина  $\lambda$  визначається за формулою

$$\lambda = \frac{\mu \cdot V}{P} \text{ або } \lambda = \frac{\mu \cdot \omega}{p},$$

в яку входять основні параметри режимів тертя (в'язкість масла, швидкість, навантаження).

Ця крива має дві характерні гілки: ліву, яка зменшується для області граничного змащення і праву, яка зростає, для області рідинного змащення. Між ними є перехідна ділянка, відповідна до області напіврідкого мастила (область Б). При переході в область нестійкого напіврідкого мастила зміна будь-якого параметра, що сприяє зниженню  $\lambda$  (зменшення в'язкості, збільшення навантаження, збільшення швидкості ковзання), призводить до підвищення коефіцієнта тертя і робочої температури трибосистеми. Зростання коефіцієнта тертя в даній області відбувається за рахунок зростання частки граничного змащення до утворення чисто граничного змащення (область А).

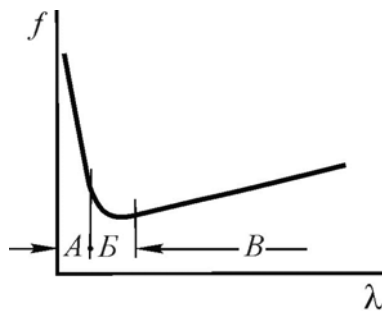


Рис. 1. Діаграма Герсі-Штрібек

Моделювання теплових процесів в парі тертя гребінь колеса-рейка, визначення силових і геометричних умов контактування, здійснюється згідно з описаною в [3] послідовністю.

При взаємодії гребня колеса з бічною поверхнею головки рейки в присутності між ними мастильного матеріалу коефіцієнт граничного тертя можна обчислити за формулою, наведеною в роботі [4]:

$$f_{mz} = f_{mp} - k \frac{\eta_{cm} \cdot v_{ck}}{P_{noz}}$$

де  $f_{mp}$  - коефіцієнт тертя незмазаних поверхонь;

$\eta_{cm}$  -динамічна в'язкість масла;

$v_{ck}$  -швидкість ковзання;

$P_{noz}$  - погонне навантаження;

$k$  -коефіцієнт пропорційності.

Моделюючи режими тертя розглянутої трибосистеми, необхідно мати на увазі, що при сухому терті другий член рівняння (1) може не розглядатися. Друга частина рівняння (1) в загальному випадку є функцією характеристики режиму змащення [5]. З рівняння (1) зрозуміло, що трьома чинниками, що впливають на режим мастила є швидкість, навантаження і в'язкість масла. Коефіцієнт тертя  $f_{mz}$  залежить, від фактичної (робочої) в'язкості мастила при температурі Т на поверхні контакту, а не від номінального значення, що визначається у віскозиметрі при умовній температурі і атмосферному тиску. В'яз-

кість всіх крапельних рідин і їх сумішей з підвищенням температури зменшується. Для перерахунку в'язкості з однієї температури на іншу рекомендується формула [6]:

$$\eta_T = \eta_u \cdot \left( \frac{t_u}{t_T} \right)^n,$$

де  $\eta_T$  - в'язкість масла, що визначається, при температурі  $t_T$  в  $[н \cdot с / м^2]$ ;

$\eta_u$  - наведена в таблицях ГОСТ в'язкість (в  $нс / м^2$ ) при температурі випробування масла;

$t_u$  - температура випробування масла на визначення його в'язкості;

$t_T$  - температура, для якої розраховують в'язкість;

$n$  - коефіцієнт - показник ступеня для кожного сорту масла. Значення коефіцієнта можна приймати за таблицями [6].

Результати розрахунку параметрів даної трибосистеми при наявності між ними мастильного матеріалу представлені на рис. 2-5.

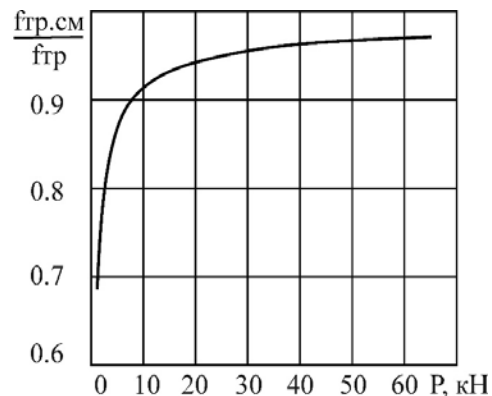


Рис. 2. Залежність відносини  $f_{mz} / f_{mp}$  від величини бічної сили в контакті гребня колеса з бічною поверхнею рейки ( $f_{mp}$  і  $f_{mz}$  - коефіцієнт тертя незмазаних поверхонь і при граничному терті)

Виходячи з даних розрахунку температури на плямі контакту в присутності мастильного шару, процеси, що протікають на поверхні тертя, можна представити в наступному вигляді. Так, при постійній швидкості ковзання та дедалі більшому навантаженні відбувається поступове збільшення інтенсивності виділення тепла тертя рис. 3 і, отже, підвищення температури шару масла, що розділяє поверхні тертя. Як видно з рис. 2, в зоні сили взаємодії контактуючих тіл 3 ... 25 кН є перегин. Наявність перегину можна пояснити зміною фізико-хімічного стану мастила за рахунок тепловиділення в контакті.

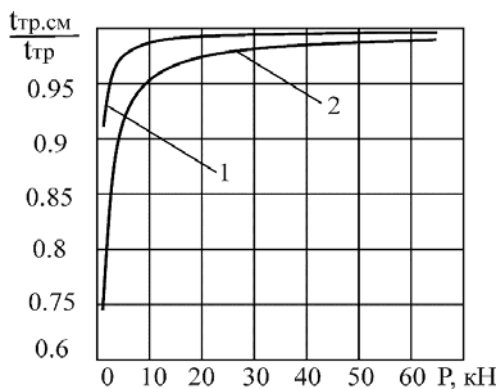


Рис. 3. Залежності максимальної (крива 1) і середньої (крива 2) відносної температури в контактї гребня колеса з бічною поверхнею рейки від величини бічної сили ( $T_{см.max}/T_{max}$ -крива 1,  $T_{гр.см}/T_{гр}$  - крива 2)

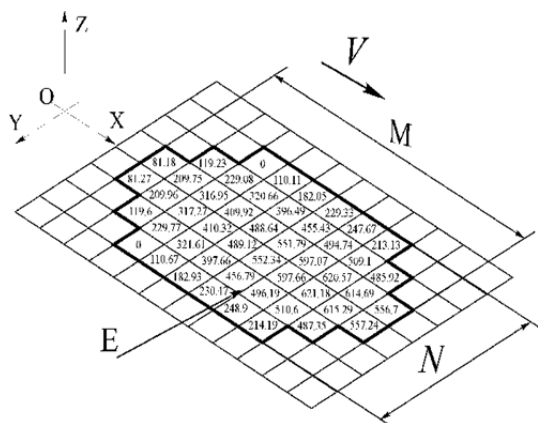


Рис. 4. Поле температур ( $t$ , °C) на поверхні контакту гребня колеса з рейкою при наявності між ними мастила МС-20, (швидкість руху  $V_{лин} = 60$  км/год., ковзання  $\varepsilon = 10\%$  і  $P = 65$  кН)

Подальше зростання температури призводить до того, що масляний шар втрачає захисні властивості і коефіцієнт тертя стає таким же, як для незмазаних поверхонь. Аналогічний результат отримано в роботах [7].

За допомогою даного розрахунку можна оцінити можливу температуру в контактї сполучення при найбільш важких умовах його роботи і підібрати мастильний матеріал з необхідними експлуатаційними властивостями.

Для оцінки впливу застосовуваних при лубрикації матеріалів на умови контактування в розглянутій парі тертя скористаємося енергетичним критерієм зносу [8, 9]. Якісну оцінку зносу зробимо обчисленням потужності сил тертя в зоні контакту для серії мастил, відповідно до описаного розрахунку.

Результати розрахунку потужності сили тертя на поверхні контакту гребня колеса з рейкою при наявності між ними мастила МС-20, (швидкість руху  $V_{лин} = 60$  км/ч., ковзання  $\varepsilon = 10\%$  і  $P = 65$  кН) показані на рис. 5.

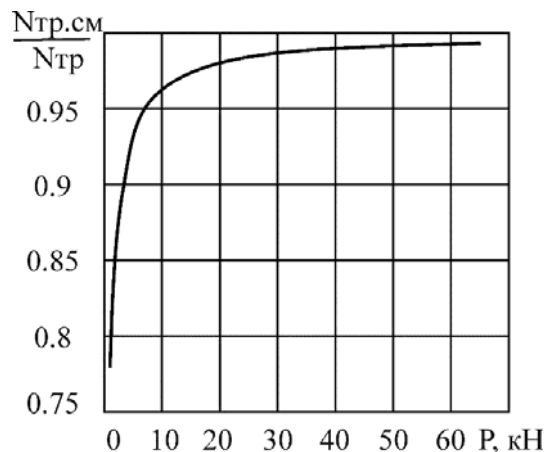


Рис. 5. Залежність відносин ( $N_{гр.см} / N_{гр}$ ) потужності тертя в контактї гребня колеса з бічною поверхнею рейки при наявності мастила і без неї від величини направляючої сили

**Висновки.** Аналіз отриманих результатів показує, що ефект від нанесення мастила на поверхні, що труться, спостерігається при порівняно невеликих значеннях спрямовуючої сили до 10 кН. У цих умовах спостерігається порівняно незначний знос. Зниження інтенсивності зносу і температурного режиму з зростанням значення спрямовуючої сили може бути досягнуто при відповідній в'язкості масла. Таким чином можна досягти температури, значно менші, ніж розрахункова температура в зоні тертя.

#### Література

1. Бартенєва Л.І., Нікітін В.Є. Технологія комплексного зниження зносу гребня колеса і рейки с допомогою пересувних рельсосмазиватели // Залізничі світу. - М.: 2004. - №1. с. 62-65
2. Богданов В.М., Захаров С.М. Сучасні проблеми системи колесо-рейка // Залізничі світу. - 2004. - № 1. - С. 57-62.
3. G.Basov, N.Gorbunov, A.Kashura, S.Popov The modeling of the heat processes in the pair wheel flange-rail // "Modern Electric Traction in Integrated XXI st century Europe", Poland, Warsaw. - 2005.
4. Довідник по триботехніке / За заг. ред. М. Хебда, А.В. Чичинадзе. У 3 т. Т.1. Теоретичні основи. - М.: Машинобудування, 1989. - 400 с.: іл.
5. Ю.А. Розенберг. Вплив мастил на довговічність і надійність деталей машин. М., «Машинобудування», 1970, 315 стор.
6. Мастило заводського обладнання. /І.І. Міхєєв, Г.І. Попов. - М.: «Машинобудування», 1967.
7. Лужний Ю.М., Попов В.А., Студентова В.Ф. Втрати енергії і їх роль при реалізації зчеплення коліс з рейками // Тертя, знос та мастильні матеріали / Праці доп. Міжнар. наук. - техн. конфер., Ташкент, 22-26 травня 1985р. - М., 1985. - Т.1. - С.133-138.
8. Fomin O., Lovska A., Gorobchenko O., Turpak S., Kyrychenko I., & Burlutski O. / Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under

operational load modes //EUREKA: Physics And Engineering ". – 2019. - №2– p.61-70.

9. Голубенко О.Л. Зчеплення колеса з рейкою: 2-е вид. доп. і перераб. - Луганськ: Вид-во ВУГУ, 1999. - 476 с.

#### References

1. Barteneva L.I., Nikitin V.Є. The technology of the integrated lowering of the flange of the wheel and rail with the help of the old rail lubricators // Zaliznitsviy svitu. - M.: 2004. - No. 1. from. 62-65
2. Bogdanov V.M., Zakharov S.M. Nowadays problems with wheel-rake systems // Zaliznitsi svitu. - 2004. - No. 1. - S. 57-62.
3. G. Basov, N. Gorbunov, A. Kashura, S. Popov The modeling of the heat processes in the pair wheel flange-rail // "Modern Electric Traction in Integrated XXI st century Eu-rope", Poland, Warsaw - 2005.
4. Dovidnik on tribotechnology / For zag. ed. M. Hebda, A.V. Chichinadze. At 3 t. T. 1. Theoretical basis. - M.: Mashinobuduvannya, 1989. -- 400 p.: Il.
5. Yu.A. Rosenberg Injection mastered on dovghichnist i nadiynist details of machines. M., "Mashinobuduvannya", 1970, 315 st.
6. The mast of the factory. / II.II. Mikhov, G.I. By the way. - M.: "Machine-driven", 1967.
7. Luzhny Yu.M., Popov V.A., Studentova V.F. Loss of energy and role in realizing the number of racks // Tertia, znos ta kastilni materialy / Prats additional. Mizhnar. sciences. - tech. confer., Tashkent, 22-26 grass 1985 rub. - M., 1985. - T.1. - S.133-138.
8. Fomin O., Lovska A., Gorobchenko O., Turpak S., Kyrychenko I., & Burlutski O. / Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes //EUREKA: Physics And Engineering ". – 2019. - №2– p.61-70.
9. Golubenko O.L. Wheel mounting with rake: 2nd view. add. i rev. - Lugansk: View of the University, 1999. - 476 p.

**Кириченко І.О., Кашура А.Л. Прогнозирование эффективности и безопасности перевозок уменьшением износа в паре трения колесо – рельс.**

*В статье рассмотрены вопросы, связанные со снижением интенсивности изнашивания колесных пар и рельсов до приемлемых значений, для повышения безопасности железнодорожных перевозок, показана эффективность смазочных материалов в паре трения колесо – рельс. Предложена математическая модель расчетов распределений нагрузки и температуры по пятну контакта гребня колеса и боковой поверхностью рельса, позволяющая получать мгновенные значения этих величин по поверхности. Эти результаты позволят подобрать соответствующие характеристики смазочных материалов, используемых для уменьшения трения и износа.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, колесные пары, режимы трения, износ колесных пар, трибосистема, гребень.

**Kyrychenko I.O., Kashyra O.L. Ensuring the efficiency and safety of transportation by reducing wear in a pair of friction wheel-rail.**

*The problem of the interaction of rolling stock and railway is among the most important in transport science. The relevance of numerous studies on this problem is due to the fact that the safety and technical and economic indicators of traction rolling stock of railways (speed of movement, losses associated with overcoming resistance to movement, wear of rails, wheels, etc.), depend on the processes occurring in the point of wheel and rail interaction.*

*Long-term operation of the rolling stock shows that the life of the wheel tires is determined by the rolling and, to a greater extent, the wear of the flanges. This is evidenced by numerous publications dedicated to the over-standard wear of the wheel couples and the side surface of the rail head. The analysis of which shows that the produced turns of the wheel tires of the wheel couples by the permissible value of rolling are 4%, while the wear of the flange their value reaches 65%.*

*In order to reduce the intensity of wear of wheel couples and rails to acceptable values, a number of technical and organizational-technological measures have been carried out in recent years. For example, lubrication, improvement of the structure of the track and rolling stock, improvement of the geometry of the profile of the surface of rolling wheels and rails, monitoring in the wheel-rail system, etc. Of all these areas of work, the most quickly implemented is the introduction into the contact zone of the third body with the specified characteristics. The choice of materials used for cooling and lubrication of the contact surfaces of the flanges of wheel pairs and rails should be made taking into account the temperature conditions of interaction of the friction couple under consideration. Just as friction temperature causes the thin surface layers of conjugated bodies to be heated and the lubricant layer separated, it is one of the most important factors influencing the entire complex of service properties of lubricants that determine their antifriction properties.*

*In this paper, simulations of thermal processes in a pair of wheel-rail flanges determine the force and geometric conditions of contact. With this calculation, it is possible to estimate the possible contact temperature of the pairing under the most difficult conditions of its operation and to select a lubricant with the required performance properties.*

*The analysis of the obtained results shows that the effect of lubrication on friction surfaces is observed at relatively small values of the guiding force up to 10 kN. Under these conditions, there is relatively little wear and tear. A decrease in the intensity of wear and temperature with increasing directional force can be achieved with an oil viscosity corresponding to temperatures much lower than the design temperature in the friction zone.*

**Keywords:** railway transport, wheel sets, friction modes, wear of wheel sets, tribosystem, crest.

**Кириченко І.О.** – д.т.н., професор, професор кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: i\_kir@ukr.net

**Кашура О.Л.** – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-14-18>

УДК 656.2:629.4

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Клюєв С.О.

## ENSURING THE SAFETY OF RAILWAY TRANSPORT IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Kliuiev S.O.

*У статті розглянуто стан та перспективи безпеки залізничного транспорту в умовах цифровізації. Визначено, що функціонування програми з безпеки залізничного транспорту в умовах цифровізації базується на наступних технологіях та стандартах: ERTMS, ETCS, GSM-R, GoA, ATO, ATP, ATC, BIM Rail, CBTC, TMS. Аналіз стану та перспективи безпеки залізничного транспорту в умовах цифровізації встановив необхідність застосування штучного інтелекту. Зазначено, що безпека залізничного транспорту зумовлена спільною взаємодією багатьох технологій, які привели до створення концепцій «Індустрія 4.0» і «Індустріальний Інтернет речей (IIoT)».*

**Ключові слова:** цифровізація, безпека залізничного транспорту, штучний інтелект, система управління, інформація.

**Вступ.** Складність створення єдиного архітектурного простору, залізничних станцій та інфраструктури залізниці полягає саме в поїздах. У поїздах дуже обмежені можливості для розміщення електронного устаткування і його енергоживлення. Для самого складного варіанта – пасажирського це ще необхідність задовольнити потреби клієнта в різних видах зв'язку, інформаційних з'єднаннях, послугах та розвагах. При цьому пріоритетним залишаються питання управління рухом поїзда і питання безпеки [1, 2].

Рухомий залізничний парк сьогодні складається з величезної кількості типів транспортних засобів, починаючи від застарілих аналогових рейкових транспортних засобів до дуже складних нових високошвидкісних поїздів. До сих пір існує велика кількість пристроїв і бортових систем, якими не можуть керувати оператори і диспетчери [3].

В теперішні часи відбувається зростання обсягів загальної торгівлі, а також і зростання обсягів перевезень залізниць і це представляє значні виклики з безпеки і можливості для учасників галузей логістики та транспорту.

**Постановка проблеми.** Транспортні вектори розвитку цифрової економіки та цифровізація залізничного транспорту надзвичайно важливі. Зростання попиту на транспорт, перевантаженість, безпека енергопостачання та зміна клімату є одними з основних проблем, з якими стикаються Європейський Союз і все більш широкий світ. Вирішення цих проблем вимагає, щоб в найближчі кілька десятиліть залізничний сектор отримав велику частку попиту на транспорт. Тому розвитку саме залізниць ЄС в TEN-T приділяється величезний вплив, і іноді TEN-T вважають тільки залізничним проектом, що не так, але відображає важливість саме залізничного транспорту для Європи.

Цифровізація сприяє розробці і впровадженню на ринок кращих поїздів (більш тихих, більш комфортних, більш безпечних і т. д.), які надійно працюють з інноваційною інфраструктурою залізничної мережі з першого дня впровадження сервісу при більш низьких життєвих циклах, та забезпечують високу здатність справлятися з зростанням попиту на пасажирські і вантажні перевезення.

Вимоги до інфраструктури та рухомого складу обумовлюють цифрові транспортні коридори TEN-T. Тому залізнична промисловість також прагне до створення більш стійкої і безпечної інфраструктури, і деяка частина цієї стійкості може бути отримана кращими системами для оптимальної маршрутизації трафіку.

«Безпека завжди була головним питанням при перевезеннях, в основі кожного відкриття, інновацій та науково-технічного прогресу. Сучасні перевезення сильно залежать від міжнародних стандартів безпеки та надійності». Технічний комітет ТС 9 «Електричне обладнання і системи для залізниць» розробляє міжнародні стандарти на електричне обладнання рухомого складу, сигнальне та телекомунікаційне обладнання, тягові трансформатори і індуктори на рухомому складі [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З багатьох причин моделлю перетворень в цифрову економіку стала Великобританія, яка використовує і розвиває свою інноваційну систему, що стала однією з кращих в світі, таким чином вона вже стала помітним експортером інновацій та розробок [5].

Згідно Міжнародної електротехнічної комісії або ІЕС – «Залізничний транспорт є більш енергоефективним, ніж будь-який інший вид транспорту, і цю енергоефективність можна поліпшити ще більше» [6].

Міжнародний стандарт залізничної промисловості (International Railway Industry Standard, IRIS) розроблений робочою групою Європейської асоціації залізничної промисловості (UNIFE) і спрямований на створення системи менеджменту бізнесу, що дозволяє впроваджувати постійні поліпшення, запобігати і знижувати кількість невідповідностей в ланцюзі поставчань [7].

**Метою роботи** є аналіз стану та перспективи безпеки залізничного транспорту в умовах цифровізації.

**Основний зміст.** Роланд Бергер [8] визначив чотири важелі цифрового перетворення для залізничної галузі:

- цифрові дані, які після збору і аналізу забезпечують найкращі прогнози і рішення;
- системи автоматизації, які збільшують швидкість, знижують частоту появи помилок і експлуатаційні витрати;
- зв'язність, яка синхронізує ланцюг поставок і скорочує інноваційні цикли;
- цифровий доступ клієнтів, який дозволяє компаніям пропонувати клієнтам прозорість і нові послуги.

Спільна взаємодія багатьох технологій привела до створення концепцій «Індустрія 4.0» і «Індустріальний Інтернет речей (IIoT)». Це відноситься до автоматизованого виробництва на основі обміну даними в режимі реального часу, що може знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність і розширити спектр пропонованих продуктів і послуг. Залізничний виробничий сектор ЄС активний учасник цього процесу і саме в цьому секторі вже сьогодні відбувається практична цифровий зв'язок між рухомими рейковими засобами та шляхом.

Системи управління (ERTMS і АТО), спільно з інтелектуальними комп'ютерними технологіями (ІКТ) стають визначальним фактором переходу до цифрових залізниць і в центрі уваги безпека перевезень.

Одним з найдієвіших напрямів забезпечення безпеки на залізницях є єдина науково-практична постійно діюча програма-підприємство Shift2Rail (S2R): інновація для залізниць, яку в 2014 році ЄС запровадив як спільне державно-приватне підприємство Shift2Rail, щоб забезпечити платформу, координувати і розвивати дослідну та інноваційну діяльність для інтеграції в передові залізничні рішення [9].

Shift2Rail не визначає цифровізацію собі за мету як таку, він виконує дії, пов'язані з нею, в деяких з своїх п'яти інноваційних програм (IP):

1. IP1 призначена для посилення оцифрування залізничних підсистем і устаткування (тяга, гальма і двері).

2. IP2 цілком орієнтований на підтримку європейської системи управління залізничним рухом (ERTMS) в якості рішення для систем сигналізації та контролю по всьому світу.

3. IP4 представляє інновації в цифрових послугах для пасажирів (продаж квитків, відстеження поїздки).

4. IP5 фокусується на нових цифрових функціях, що підвищують пунктуальність залізничних перевезень.

Безпеці залізничного транспорту в умовах цифровізації приділено увагу Комісією ЄС в 2018 році та прийнята пропозиція за програмою «Цифрова Європа» на 2021-2027 роки. Програма з безпеки залізничного транспорту в умовах цифровізації базується на наступних технологіях та стандартах: ERTMS, ETCS, GSM-R, GoA, АТО, АТР, АТС, BIM Rail, CBTC, TMS.

В ЄС налічується близько 30 національних систем залізничної сигналізації, що може викликати технічні або експлуатаційні проблеми безпеки на кордонах. Щоб подолати цей недолік, ЄС вирішив розробити, прийняти і впровадити єдиний стандарт управління, командування, сигналізації і зв'язку, ERTMS, що встановлює сумісну залізничну структуру на всій території ЄС [10]. Встановлена система як стаціонарно на шляху, так і на борту, вона складається з європейської системи управління поїздом (ETCS), яка забезпечує рух поїзда без перевищення безпечної швидкості і безпечно відстань від інших поїздів, та глобальної системи мобільного зв'язку на залізницях (GSM-R), яка представляє стандарт радіозв'язку для залізничних перевезень. Переваги ERTMS різноманітні. На додаток до функціональної сумісності, ERTMS підвищує безпеку поїздів, які рухаються зі швидкістю до 500 км/год, пропускну здатність на лініях – так як це зменшує мінімальний інтервал між поїздами і підвищує безпеку. Це дозволяє залізничним компаніям встановлювати на борту тільки одну систему сигналізації, що знижує витрати і витрати на навчання машиністів. Нарешті, це допомагає підвищити конкурентоспроможність залізниць і просувати індустрію постачальників в ЄС, оскільки система також використовується на інших континентах. Фактичне значення ERTMS збігається з визначенням цифровізації і суттю цифрової економіки для залізниць, так як встановлює зв'язки між фізичним і цифровим світами, рухомим складом і залізничними шляхами, приносить величезні економічні та інші результати і служить основою для накопичення даних і знань необхідних для штучного інтелекту (ШІ).

Технічно системи управління рухом поїздів є механізми, що забезпечують зупинку поїздів там, де це необхідно, і рух з безпечною швидкістю для лінії.

ERTMS – це дуже велика промислова програма, спрямована на гармонізацію системи автоматичного управління і зв'язку поїздів і забезпечення сумісності всієї залізничної системи в Європі. Оскільки відмінності між великим розмаїттям національних систем управління рухом поїздів є досить істотний бар'єр для взаємодії європейської залізничної системи, розгортання ERTMS забезпечить основу для безпечної цифрової єдиної європейської залізничної зони.

ERTMS складається з:

- ETCS (Європейська система управління поїздом), стандарт управління поїздом, заснований на обладнанні яке в кабіні, бортового пристрою, здатного контролювати рух поїздів і зупиняти їх відповідно до дозволеної швидкості на кожній ділянці лінії, здійснювати постійний контроль максимальної швидкості поїзда. Інформація надходить від обладнання ETCS поруч з трасою. Реакція машиніста постійно контролюється, і в разі необхідності, аварійні гальма будуть взяті під контроль.

- GSM-R (Глобальна система мобільного зв'язку залізниці) – це друга система ERTMS, європейський стандарт радіозв'язку для залізничних перевезень. Заснована на технології радіозв'язку GSM, GSM-R використовує ексклюзивні смуги частот для зв'язку поїзда з центрами управління рухом і пристроями, розташованими поруч з рейкою.

Більшість працюючих систем ERTMS сьогодні засновані на специфікації Baseline 2 (версія 2.3.0d1). Специфікація Baseline 3 була розроблена для того, щоб включити в себе повернення досвіду з Baseline 2, включити нові функції і впровадити механізм “Управління версіями системи”, щоб дозволити майбутнім доповненням зберігати сумісність. Комісія ЄС прийняла в 2016 році нову Технічну специфікацію по функціональній сумісності, що відноситься до команд управління і сигналізації (CCI TSI), яка надає юридичний статус специфікації ERTMS і вважається функціонально завершеною.

Рівень ETCS визначає оснащеність шляху і спосіб передачі інформації між шляхом і рейковим транспортним засобом:

- Рівень 1: інформація передається через Eurobalise, які є транспондерами, встановленими на коліях і підключеними до сигнального устаткування. Цей рівень потребує систему виявлення поїздів.

- Рівень 2: інформація передається через GSM-R. Рейковий транспортний засіб автоматично повідомляє про своє місцезнаходження і напрям руху в центр управління і отримує дозвол на рух. Це дозволяє повністю видалити сигнальну частину з лінії шляхів, але необхідна система виявлення поїздів.

- Рівень 3: інформація передається через GSM-R. Транспортний засіб автоматично повідомляє про своє місцезнаходження, напрямок руху в центр управління і отримує дозвіл на рух. Це дозволяє по-

вністю видалити сигнальну частину на бічній частині шляхів, і система виявлення поїздів не потрібна.

Глобальна система мобільного зв'язку залізниці (GSM-R) забезпечує цифровий, безпечний і надійний зв'язок між водіями та сигналізаторами. Це допомагає підвищити безпеку, скоротити затримки і підвищити продуктивність, забезпечити краще обслуговування пасажирів.

Існує два ключові чинники впровадження GSM-R: вимога відповідати загальноєвропейському стандарту цифрової передачі даних і голосового зв'язку в залізничних додатках і слідувати рекомендаціям з розслідування великих інцидентів. Як показує статистика, це дає значне поліпшення безпеки, так як GSM-R забезпечує прямий надійний радіозв'язок між учасниками процесу організації руху. Це включає в себе такі області, як тунелі і глибокі земляні виїмки, де радіозв'язок раніше був неможливим. Тому система підвищує безпеку для машиністів, ремонтних бригад і пасажирів, забезпечує більш швидке і ефективне реагування на потенційні небезпеки за допомогою таких додатків, як екстрений виклик на залізниці, який усуває необхідність для машиністів виходити з поїзда в разі виникнення проблем.

GSM-R так само сприяє скороченню експлуатаційних витрат. Замінивши собою все більш неефективні і дорогі застарілі системи, GSM-R знижує поточні витрати на технічне обслуговування, підвищує надійність і забезпечує основу для цифрової залізничної мережі. Попередній зв'язок між машиністами та службами ґрунтувався на аналогових радіомережах. Вони мали обмежену функціональність і ставали все більш дорогими в обслуговуванні. Нові цифрові технології на базі GSM-R також означають, що вони узгоджуються з галузевими розробками, такими як ERTMS (Європейська система управління залізничним рухом) і ETCS (Європейська система управління поїздом).

За даними Міжнародної асоціації громадського транспорту (UITP), існує п'ять ступенів автоматизації (GoA) поїздів [11]:

GoA 0 – це потяг на місці, схожий на трамвай у вуличному русі.

GoA 1 – це потяг з ручним керуванням, в якому машиніст керує пуском і зупинкою, роботою дверей і аварійними ситуаціями або раптовими відхиленнями.

GoA 2 – це напівавтоматичне управління поїздом (STO), в якому запуск і зупинка автоматизовані, але водій керує дверима, при необхідності приводить в рух поїзд і обробляє аварійні ситуації. Багато систем АТУ є системи рівня GoA 2.

GoA 3 – це потяг без водія (DTO), в якому запуск і зупинка автоматизовані, але стюардеса керує дверима і керує поїздом в разі надзвичайних ситуацій.

GoA 4 – це потяг без сторонньої допомоги (UTO), в якому запуск і зупинка, управління дверима

ма та управління аварійними ситуаціями повністю автоматизовані без участі персоналу.

Штучний інтелект може стати, наприклад, «доповненням» для існуючих і майбутніх систем управління, надаючи пропозицію/дію для вирішення проблем в реальному часі, щоб відповідати основним вимогам безпеки та продуктивності, а також він може направляти процес проектування (наприклад, підготовка даних і конфігурації) і стати активним помічником машиніста.

Штучний інтелект може поліпшити виробництво, експлуатацію та технічне обслуговування залізничних операторів і менеджерів інфраструктури. Отже, його можна сприймати як важіль для поліпшення управління, зниження витрат і підвищення конкурентоспроможності по відношенню до прямих конкурентів або інших видів транспорту.

**Висновок.** Подальший розвиток, що припускає обмін даними, створення досить жорсткої бізнес-моделі залізниць в сторону більшої позитивної динаміки мережі, що об'єднує технологічні платформи, постачальників послуг мобільного зв'язку і клієнтів, є складним завданням. Це може виявитися складнішим, ніж перемикання з електричних на цифрові прилади і пристрої або впровадження автономних або автоматизованих систем.

Сучасна сенсорна технологія дозволяє замінювати ручні вимірювання і забезпечувати безперервний моніторинг для виявлення аномалій і запобігання збоїв, що викликають затримки. У поєднанні з розширеними аналітичними можливостями, заснованими на машинному навчанні, сенсорні системи надають менеджерам по обслуговуванню інфраструктури цінну інформацію про стан інфраструктури комутаторів, допомагаючи прокладати шлях до інфраструктури 4.0.

Аналіз стану та перспективи безпеки залізничного транспорту в умовах цифровізації показав необхідність застосування штучного інтелекту для:

- підвищення безпеки в транспортних засобах з самостійним водінням (наприклад, навчаючи машину від виявлення перешкод до висновку стану інфраструктури, пов'язаної з декількома змінними);
- розробки додатків великих даних на залізницях (наприклад, прогнозне обслуговування, BIM і процеси оптимізації);
- виявлення вторгнення в кібербезпеку (наприклад, на основі обмінів з безліччю інтелектуальних об'єктів, підключених до IP);
- гнучкого розподілу пропускної спроможності (потужності) по мережі;
- надання в реальному часі інноваційних гнучких послуг (наприклад: для об'єднання повної пропускної здатності, що забезпечується довгими маршрутними поїздами уздовж вантажних маршрутів – починаючи з залізничних вантажних коридорів – з гнучкими послугами – зупинка і рух в автоматизованих терміналах);
- управління розкладом екіпажу для оптимізації використання наявного/відповідного рухомого

складу і існуючого екіпажу в даній мережі і в рамках даної сервісної пропозиції.

### Література

1. Эффективные системы менеджмента: качество и цифровая трансформация: материалы VIII Международного научно-практического форума, 24–25 апреля 2019 г. / под ред. д. э. н., профессора И. И. Антоновой. – Казань : Изд-во «Познание» Казанского инновационного университета имени В. Г. Тимирязова (ИЭУП), 2019. – 352 с.
2. Sapronova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hatchenko, V., Maliuk, S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 19–25. doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194
3. Ключев С.О. Підвищення безпеки руху на залізниці. *Вісник СХУ ім. В. Даля. Сєвєродонецьк*, 2016. № 1 (225). С. 104–107.
4. Ключев С.О. Підвищення безпеки систем залізничної автоматики і телемеханіки / С.О. Ключев // *Збірник наукових праць державного університету інфраструктури та технологій. Серія "Транспортні системи і технології"*. – Київ: ДУІТ. – 2018. – Вип. № 32 (Т.2). – С.32–40. doi:10.32703/2617-9040-2018-32-2-32-40
5. Куприяновский В. П. и др. Информационные технологии в системе университетов, науки и инновации в цифровой экономике на примере Великобритании // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. - Т. 4. - №. 4. - С. 30-39.
6. Electrical energy... the IEC helps keep the power on. IEC 2013 г. [http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/technology/IEC\\_Electrical%20Energy\\_Keep\\_the\\_power\\_on.pdf](http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/technology/IEC_Electrical%20Energy_Keep_the_power_on.pdf) Retrieved: Jul, 2016
7. Elena A. Skorayeva, Konstantin V. Gundyrev Automatic control system for designing of Signalling devices in meeting requirements of railway industry standard ISO/TS 22163-2017(IRIS) // *Innotrans*. – 2019. – 2(32). P. 38-41. doi: 10.20291/2311-164X-2019-2-38-41
8. Digital Transformation Industry. Режим доступу: <https://www.rolandberger.com/en/Publications/The-digital-transformation-industry.html>
9. Kupriyanovsky V. et al. On development of transport and logistics industries in the European Union: open BIM, Internet of Things and cyber-physical systems // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2018. – Т. 6. – №. 2. – С. 54-100.
10. Sinyagov S. et al. Digital Railroad-create digital assets. Based on materials from Network Rail (UK) project asset management system modernization // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 43-54.
11. Куприяновский В. П. и др. Цифровая железная дорога-ertms, bim, GIS, PLM и цифровые двойники // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. – 2017. – Т. 13. – №. 3.-С.129-166.

### References

1. Effektivnye sistemy menedzhmenta: kachestvo i tsifrovaia transformatsiia: materialy VIII Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, 24–25 apreliia 2019 g. / pod red. d. e. n., professora I. I. Antonovoi. – Kazan : Izd-vo «Poznanie» Kazanskogo innovatsionnogo universiteta imeni V. G. Timiriasova (IEUP), 2019. – 352 s.

2. Saprionova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hatchenko, V., Maliuk, S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 19–25. doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194
3. Kliuiev S.O. Pidvyshchennia bezpeky rukhu na zaliznytsi. *Visnyk SNU im. V. Dalia. Sievierodonetsk*, 2016. # 1 (225). S. 104–107.
4. Kliuiev S.O. Pidvyshchennia bezpeky system zaliznychnoi avtomatyky i telemekhaniky / S.O. Kliuiev // *Zbirnyk naukovykh prats derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohii. Seriya "Transportni systemy i tekhnolohii"*. – Kyiv: DUIT. – 2018. – Vyr. # 32 (T.2). – S.32–40. doi:10.32703/2617-9040-2018-32-2-32-40
5. Kupriianovskii V. P. i dr. Informatcionnye tekhnologii v sisteme universitetov, nauki i innovatsii v tcfrovoi ekonomike na primere Velikobritanii // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – T. 4. – №. 4. –S. 30-39.
6. Electrical energy... the IEC helps keep the power on. IEC 2013 [http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/technology/IEC\\_Electrical%20Energy\\_Keep\\_the\\_power\\_on.pdf](http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/technology/IEC_Electrical%20Energy_Keep_the_power_on.pdf) Retrieved: Jul, 2016.
7. Elena A. Skorayeva, Konstantin V. Gundyrev Automatic control system for designing of Signalling devices in meeting requirements of railway industry standard ISO/TS 22163-2017(IRIS) // *Innotrans*. – 2019. – 2(32). P. 38-41. doi: 10.20291/2311-164X-2019-2-38-41
8. Digital Transformation Industry. *rezhym dostupu: https://www.rolandberger.com/en/Publications/The-digital-transformation-industry.html*
9. Kupriyanovsky V. et al. On development of transport and logistics industries in the European Union: open BIM, Internet of Things and cyber-physical systems // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2018. – T. 6. – №. 2. – C. 54-100.
10. Sinyagov S. et al. Digital Railroad-create digital assets. Based on materials from Network Rail (UK) project asset management system modernization // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – T. 4. – №. 10. – C. 43-54.
11. Kupriianovskii V. P. i dr. Tcfrovaia zheleznaia dorogartms, bim, GIS, PLM i tcfrovyye dvoyniki // *Sovremennyye informatcionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*. – 2017. – T. 13. – №. 3.-S.129-166.

**Клюев С.О. Обеспечение безопасности железнодорожного транспорта в условиях цифровизации.**

*В статье рассмотрены состояние и перспективы безопасности железнодорожного транспорта в условиях цифровизации. Определено, что функционирование программы по безопасности железнодорожного транспорта в условиях цифровизации базируется на следующих технологиях и стандартах: ERTMS, ETCS, GSM-R, GoA, АТО, АТР, АТС, BIM Rail, CBTC, TMS. Анализ и перспективы безопасности железнодорожного транспорта в условиях цифровизации установил необходимость применения искусственного интеллекта. Отмечено, что безопасность железнодорожного транспорта обусловлена общим вза-*

*имодействием многих технологий, которые привели к созданию концепций «Индустрия 4.0» и «Индустриальный Интернет вещей (IIoT)».*

**Ключевые слова:** цифровизация, безопасность железнодорожного транспорта, искусственный интеллект, система управления, информация.

**Kliuiev S.O. Ensuring the safety of railway transport in the context of digitalization.**

*It is established that modern sensor technology allows to replace manual measurements and to provide continuous monitoring for detection of anomalies and prevention of delays causing delays. In combination with advanced machine learning-based analytics, sensor systems provide infrastructure maintenance managers with valuable information about the state of switch infrastructure, helping to navigate the path to infrastructure 4.0.*

*The article discusses further developments that involve data sharing, creating a rather rigid rail business model towards more positive network dynamics that unites technology platforms, mobile service providers and customers is a daunting task. This can be more complicated than switching from electrical to digital devices or devices, or implementing autonomous or automated systems.*

*Digitization has been shown to facilitate the development and implementation of better trains (quieter, more comfortable, more reliable, etc.) that operate reliably with the innovative railway infrastructure from the first day of service implementation at lower life cycles, with higher the ability to cope with the growing demand for passenger and freight.*

*The analysis of the state and prospects of railway safety in the conditions of digitalization showed the necessity of using artificial intelligence for:*

- improving safety in self-driving vehicles;
- development of big data applications on railways;
- detection of cyber security intrusion;
- flexible bandwidth allocation (capacity) across the network;
- providing innovative flexible services in real time;
- crew schedule management to optimize the use of existing/relevant rolling stock and existing crew within the network and within the scope of this service offer.

*It is stated that railway safety is conditioned by the joint interaction of many technologies that have led to the creation of the concepts "Industry 4.0" and "Industrial Internet of Things (IIoT)".*

*The article states that modern sensor technology allows to replace manual measurements and to provide continuous monitoring for the detection of anomalies and the prevention of delays causing delays.*

**Keywords:** digitization, railway safety, artificial intelligence, control system, information.

**Клюев С.О.** – к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк, e-mail: sergistreet@gmail.com.

Стаття подана 16.04.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-19-24>

УДК 629.4.067.4

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕСОЧНОЙ СИСТЕМЫ ЛОКОМОТИВА ДЛЯ ЭНЕГРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ, ПОВЫШЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»

Ковтанец М.В., Горбунов Н.И., Ковтанец Т.Н.

## MODERNIZATION OF THE LOCOMOTIVE SAND SYSTEM FOR ENERGY AND RESOURCE SAVING, INCREASE AND CONTROL OF THE «WHEEL-RAIL» SYSTEM INTERACTION

Kovtanets M.V., Gorbunov M.I., Kovtanets T.M.

*В работе описана целесообразность улучшения сцепления колес локомотива с рельсами. Установлено, что для повышения коэффициента сцепления наиболее широкое распространение на железных дорогах мира, получила подача кварцевого песка на рельсы под колеса движущегося локомотива. Представлен анализ неэффективности работы песочных систем локомотивов. Предложено и экспериментально обосновано в три последовательных этапа по модернизации песочной системы локомотива для повышения тягово-сцепных и тормозных качеств локомотива, которые позволяют снизить затраты эксплуатационных материалов, повысить безопасность движения, снизить затраты на обслуживание, повысить тягово-сцепные и тормозные качества локомотива, а также устранить другие присущие песочной системе недостатки.*

**Ключевые слова:** локомотив, коэффициент сцепления, песочная система, абразивный материал.

**Введение.** В настоящее время сложились условия, когда помимо постепенного обновления парка локомотивов на более совершенные с улучшенными тяговыми и эксплуатационными характеристиками, проводится большая работа по улучшению тяговых свойств ранее построенных локомотивов.

Одним из основных требований, предъявляемых к локомотиву, является реализация большой силы сцепления в контакте «колесо-рельс», так как именно ее величиной определяется вес состава, который может перевозить данный локомотив и обеспечивается безопасность эксплуатации в частности безюзного торможения.

**Анализ исследований и публикаций.** Экспериментальные исследования [1, 2, 3] показывают большой разброс значений коэффициентов сцепления (от 0,45 при

благоприятных условиях до 0,1 при неблагоприятных) в результате действия множества случайно изменяющихся в процессе движения факторов: наличие на рельсах различного характера поверхностных загрязнений и влаги, погодноклиматические условия, температура колес и рельсов, нагрузка от колеса на рельс, скорость движения и т.д.

Стремление к реализации более высоких значений коэффициентов сцепления привело к возникновению множества научных школ и целого ряда направлений по улучшению сцепления колес локомотива с рельсами, которые можно разделить на две основные группы:

1. Работы, направленные на более эффективное использование существующих свойств колес и рельсов.

2. Работы по воздействию на коэффициент сцепления, способствующие на стабилизации и улучшению фрикционных свойств колес и рельсов.

Для повышения коэффициента сцепления применяются различные меры конструктивного характера, однако, наиболее эффективным и распространенным методом, который относится ко второй группе и получил наиболее широкое распространение на железных дорогах мира, является подача кварцевого песка на рельсы под колеса движущегося локомотива.

В работах [4, 5, 6] авторы показали, что для обеспечения высоких тяговых свойств локомотива к контакту колеса с рельсом следует подавать определенное количество песка.

При эксплуатации песочной системы необходимо, помимо правильного распределения подачи песка под колеса разных осей, обязательно добиваться одинаковой подачи песка в каждую пару

трубопроводов, идущих к колесам одной колёсной пары.

Детальное изучение песочной системы локомотива позволило определить ее основные недостатки [7, 8, 9, 10, 11]:

- чрезмерная и неконтролируемая подача песка снижает эффективность его применения (наибольший эффект достигается при подаче песка в один слой), а также вызывает загрязнение балластной призмы и рельсошпальной решетки;

- увеличение сопротивления движению проходящего состава, что особенно заметно при прохождении кривых участков пути, где наличие остатков песка на рельсах затрудняет поперечное перемещение вагонных колёс и препятствует свободной установке тележек вагонов по направлению кривой, соответственно повышает расход топливно-энергетических ресурсов;

- слеживание песка, что приводит к снижению надежности работы форсунки и бункера для хранения песка;

- повышенный износ или повреждение рельсов и экипажной части (бандажей) локомотива в виде дефектов № 14 (пробоксовка рельсов колесами локомотивов, в режиме устойчивого боксования) и № 40 (волнообразная деформация головки рельса – короткие волны), которые представлены на рис. 1 [12];



Рис. 1. Виды дефектов рельсов из-за чрезмерной подачи песка:  
а – дефект № 14; б – дефект № 40

- в случае подачи песка при прохождении локомотивом стрелочного перевода, излишек песка засоряет промежуток между острием и рамным рельсом, нарушая тем самым нормальное функционирование переводного механизма, от чего зависит безопасность движения поезда [8];

- невозможность обеспечения точной подачи необходимого количества песка в зону фрикционного контакта, так как трубопровод с соплом закреплены на раме тележки, которая не повторяет сложную траекторию движения колеса [13], что приводит к его рассыпанию и повышенным затратам, за счет подачи на всю ширину головки рельса вызывая попадание песка на боковые поверхности гребня колеса и рельса и их ускоренному износу;

- засорение упругих прокладок между подошвами рельсов и шпалами, что приводит к их износу, который влечет за собой изменение жесткости рельсошпальной решетки;

- выделение конденсата в снежную сырую погоду в стальных трубопроводах и соплах труб, что при отрицательной температуре окружающего воздуха вызывает его намерзание внутри, препятствуя нормальному функционированию песочной системы, что требует долгого и трудоемкого ремонта, который выполняется слесарями с помощью паяльных ламп (для растопления намерзания) и простукивания трубопровода молотком, вызывая появления при этом вмятин и дефектов;

- возможность возникновения (при повышенной толщине слоя песка) автоколебаний в тяговом приводе при боксовании или юзе, что неизбежно сопровождается значительными динамическими и ударными нагрузками в элементах привода и подвески.

В связи с перечисленными проблемами, существующая (эксплуатируемая) песочная система локомотивов требует модернизации ее основных узлов, резкого упрощения и постепенного перехода к системам с низким расходом песка, с целью его эффективного использования, как средства повышения и управления состоянием взаимодействия трибологической системы «колесо-рельс».

**Цель статьи.** Усовершенствование песочной системы локомотива для повышения тягово-сцепных и тормозных качеств локомотива, связанное с уменьшением расхода песка путем непосредственной его подачи, в один слой, в контакт колеса с рельсом, а также снижение трудоемкости и материалоемкости производства и эксплуатации новой системы подачи песка.

**Результаты исследования.** Известно, что общей тенденцией развития песочной системы, является ее упрощение и постепенный переход к системам с низким расходом песка. В работах [6, 14, 15] авторы показали, что для обеспечения высоких тяговых и тормозных свойств локомотива к контакту колеса с рельсом следует подавать дозированное количество песка. Максимально возможный коэффициент сцепления колеса с рельсом достигается при заполнении их контакта песком насыщенностью  $0,6 \text{ кг/м}^2$ .

Модернизацию песочной системы локомотива для повышения тягово-сцепных и тормозных качеств локомотива, возможно, осуществить в три последовательных этапа [11, 16, 17].

1. Снижение трудоемкости и материалоемкости производства и эксплуатации новой системы подачи песка за счет выполнения сопла и трубопровода, соединяющего сопло с форсункой, из резины (рис. 2), а также уменьшения диаметра трубопровода и выходного отверстия сопла, в сравнении с существующей конструкцией песочной системы [18, 19].

2. Создание адаптивной, повторяющей практически все перемещения колеса, системы подачи песка, за счет крепления резинового сопла и трубопровода с помощью кронштейна на буксе тележки для точной, дозированной подачи песка (рис. 2). Свободный ход колесной пары относительно

но буксы равняется 2 мм, что позволит соплу, закрепленному на буксе, выполнять перемещения с меньшей амплитудой, чем при креплении на раме тележки, и компенсировать это перемещение углом распыла песко-воздушной струи [20].

На рис.2 изображен общий вид буксы трехосной тележки локомотива оборудованной предлагаемой песочной системой.

3. Уменьшение расхода песка путем непосредственной его подачи в один слой в контакт колеса с рельсом (рис. 3).

Для подтверждения целесообразности применения модернизированной песочной системы на локомотиве, проведены экспериментальные исследования на натурном стенде «Колесо-рельс», построенного на кафедре железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин ВНУ им. В. Даля [21].

При проведении эксперимента использовались стандартное тепловозное колесо диаметром 1,05 м и рельс марки Р65, изъятый из эксплуатации, а поэтому имеющий наклеп и небольшой износ поверхности катания. Параметры нагружений и режимов реализации силы тяги соответствовали работе колесных пар тепловоза 2ТЭ116.

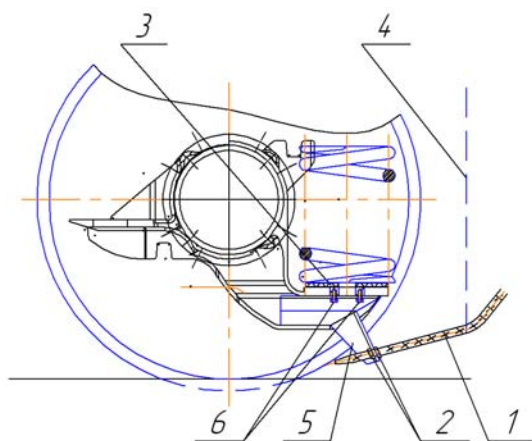


Рис. 2. Общий вид буксы трехосной тележки локомотива оборудованной предлагаемой песочной системой:  
1 – трубопровод, 2 – зажимные гайки, 3 – опора пружины, 4 – предохранительная цепочка с хомутом (показана условно), 5 – кронштейн, 6 – болты крепления кронштейна

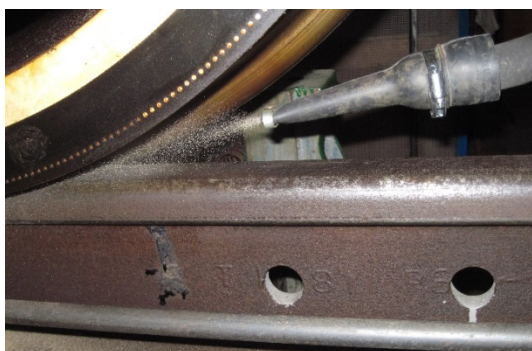


Рис. 3. Процесс подачи песка непосредственно в контакт колеса с рельсом

Анализ полученных результатов свидетельствует, что использование предложенного способа подачи песка непосредственно в один слой в контакт колеса с рельсом позволяет повысить физический коэффициент сцепления на:

- 20% для чистого и сухого рельса;
- 39,8% для рельса, покрытого водой;
- 49,5% для рельса, покрытого отработанным маслом.

Для проверки надежности работы модернизированной песочной системы в эксплуатации, выполнена установка проектной системы на маневровый ЧМЭЗ №2247 (рис. 4) и магистральный тепловозы 2ТЭ116 №1077 (рис. 5).



Рис. 4. Установка модернизированной системы на маневровом тепловозе ЧМЭЗ (№2247)

В ходе эксплуатации установленная проектная песочная система показала в сравнении с песочными системами, установленными на аналогичных моделях тепловозах: реализацию высокого коэффициента сцепления, снижение расхода песка, отсутствие песка на поверхности рельсошпальной решетки, а также позитивные отзывы слесарей при ее обслуживании.

**Выводы.** В работе представлен перспективный способ подачи песка непосредственно в контакт колеса с рельсом, который может быть использован для повышения тягово-сцепных и тормозных качеств как новых, так и ранее построенных локомотивов.



Рис. 5. Установка модернизированной системы на магистральном тепловозе 2ТЭ116 (№1077)

Основными преимуществами предлагаемой конструкции песочной системы локомотива, являются:

- снижение трудоёмкости и материалоемкости производства за счёт отказа от многодельной и сложной работы в производстве металлических труб для подачи песка, которые при возникновении ударных нагрузок часто обрываются;

- выполнение трубопроводов из резины позволяет устранить соединения между ними при прокладке на локомотиве, обеспечив возможность проникновения влаги, способствующей возникновению закупорке песка;

- подача песка непосредственно в контакт колеса с рельсом позволяет снизить расход песка, что позволяет уменьшить выходное отверстие сопла и диаметр трубопровода, а также емкость бункера для хранения песка на локомотиве, что на порядок снижает затраты времени на экипировку песком при прочих сравнимых условиях;

- крепление трубопровода и сопла песочной системы на кронштейне крыла буксы, снижает трудозатраты при производстве тележек, улучшает эксплуатационные качества локомотива и условия обслуживания экипажной части локомотива;

- исключает попадание песка в зазор между острием и рельсом, что снижает ударные нагрузки, повышает безопасность при движении в стрелочном переводе, так же увеличивает продолжительность срока службы элементов стрелочных переводов, ходовой части локомотива и вагонов.

## Л и т е р а т у р а

1. Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности) / Ю.М. Лужнов. – М.: Интекст, 2003. – 144 с.
2. Костюкевич А.И. Численная и экспериментальная идентификация процесса сцепления колес локомотива с рельсами: дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / А.И. Костюкевич. – Луганск: 1991. – 232 с.
3. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчікова. – Луганськ: Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
4. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов / Н.Н. Каменев – М.: Изд-во Транспорт, 1968. – 87 с.
5. Осенин Ю.И. Прогнозирование и управление фрикционными свойствами триботехнической системы «колесо-рельс»: автореф. дис. ... д. т. н.: 05.22.07 / Ю.И. Осенин. – Восточноукраинский государственный университет. – Луганск: – 1994. – 39 с.
6. Кравченко Е.А. Обоснование резервов повышения тяговых качеств локомотива и их реализация управлением скольжения в системе колеса с рельсом: дис. к.т.н.: 05.22.07 / Е.А. Кравченко. – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля. – Луганск: – 2010. – 215 с.
7. Горбунов Н.И. Обеспечение безопасности эксплуатации железнодорожных транспортных средств созданием инновационных решений песочной системы локомотива / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Н.Н. Горбунов, В.С. Ноженко, Е.А. Кравченко // Наукові вісті Дніпровського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. №3, 2011. – [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011\\_3/Tehno/11gnipsl.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf) – Дата доступа: 22.12.2011.
8. Ковтанец М.В. Усовершенствование способа работы песочной системы локомотива в стрелочных переводах / М.В. Ковтанец, Н.М. Найш, Е.А. Кравченко, С.В. Кара // Вісник Східноукраїнського Національного Університету імені В. Даля № 4 (158) 2011. Частина 1. – Луганськ: Видавництво СХУ ім. В. Даля, 2011. – С. 74-78.
9. Kovtanets M. Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / M. Kovtanets, N. Gorbunov, O. Prosvirova, S. Sosnovenko, V. Astakhov // ТЕКА. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2012. – Vol. 12, No.4. – P. 90-96.
10. Ковтанец М.В. Повышение эффективности тягово-сцепных качеств локомотивов за счет непосредственной подачи песка в контакт колеса с рельсом / М.В. Ковтанец // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2012. – №30. – С. 85-88.
11. Gorbunov M. Supplying system abrasive material with automatic dosing control / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // Vibroengineering PROCEDIA, Volume 18, ISSN PRINT 2345-0533. 2018. – P. 207-214.
12. Лысюк В.С. Надежность железнодорожного пути / В.С. Лысюк, В.Б. Каменский, Л.В. Башкатова; под ред. В.С. Лысюка. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
13. Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет усовершенствования упругих связей тележек: дис... к.т.н.: 05.22.07 / ДИИТ, Днепропетровск, 1987. – 180 с.
14. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов / Н.Н. Каменев. – М.: Изд-во Транспорт, 1968. – 87 с.

15. Осенин Ю.И. Прогнозирование и управление фрикционными свойствами триботехнической системы «колесо-рельс»: автореф. дис. ... д. т. н.: 05.22.07 / Ю.И. Осенин. – Восточноукраинский государственный университет. – Луганск: – 1994. – 39 с.
16. Gorbunov M. Development of the theory and methodology of controlling the local tribological contact thermomechanical loading / M. Gorbunov, M. Kovtanets, A. Kostyukevich, V. Nozhenko, G. Vaičiūnas, S. Steišūnas // The proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Scientific Conference. Transport Means 2018, 03-05 October, Trakai, Lithuania. 2018. – P. 1383-1388.
17. Gorbunov M. Reducing the wheel-rail system wear intensity with thermomechanical impact / M. Gorbunov, M. Kovtanets, G. Bureika, T. Kovtanets // The proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Scientific Conference. Transport Means 2019, 02-04 October, Palanga, Lithuania. 2019. – P. 1260-1265.
18. Патент на корисну модель №77314, кл. В61С 15/10 Пристрій подачі абразивного матеріалу в зону контакту колеса з рейкою / заявник і власник Мокроусов С.Д., Горбунов М.М., Ковтанець М.В., Щербаків В.П., Могила В.І., Найш Н.М. – u201208879; заявл. 18.07.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3. – 3 с.
19. Патент на корисну модель №105622, кл. В61С 15/10 Пристрій для подачі абразивного матеріалу під рушійні колеса локомотива / Дьомін Р.Ю., Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Мокроусов С.Д., Могила В.І., Найш Н.М., Кара С.В.; заявник і власник СЧУ ім. В.Даля. – u 2015 09874; заявл. 12.10.2015; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6. – 3 с.
20. Патент на корисну модель № 107078, кл. В61С 15/10 Пристрій для подачі абразивного матеріалу під колеса локомотива / Дьомін Р.Ю., Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Мокроусов С.Д., Кравченко К.О., Ноженко О.С., Кара С.В.; заявник і власник СЧУ ім. В.Даля. – u 2015 09891; заявл. 12.10.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. – 3 с.
21. Патент на корисну модель № 124983 G01M 13/00 G01M 17/10 (2006.01) Стенд для дослідження процесів при взаємодії колеса з рейкою / Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Бойко Г.В., Просвірова О.В., Абдулаев В.В.; заявник і власник СЧУ ім. В.Даля. – u 2017 11775; заявл. 01.12.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8. – 2 с.
22. Kravchenko E.A. Substantiation of reserves of increase of traction qualities of a locomotive and their realization by control of sliding in system of a wheel with a rail: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 / E.A. Kravchenko. – The East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl. – Lugansk: – 2010. – 215 p.
7. Gorbunov N.I. Ensuring the safety of railway vehicles operation by creating innovative solutions of the sand system of the locomotive / N.I. Gorbunov, M.V. Kovtanets, N.N. Gorbunov, V.S. Nozhenko, E.A. Kravchenko // Scientific News of the University of Dal. Engineering sciences. Electronic scientific professional publication. No.3, 2011. – [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011\\_3/Tehno/11gnipsl.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf) - Access date: December 22, 2011.
8. Kovtanets M.V. Improving the method of operation of the sand system of the locomotive in turnouts / M.V. Kovtanets, N.M. Naish, E.A. Kravchenko, S.V. Kara // Bulletin of the East Ukrainian National University named after V. Dahl № 4 (158) 2011. Part 1. – Lugansk: Publishing house of SNU them. Dahl, 2011, – P. 74-78.
9. Kovtanets M. Increase of coupling characteristics and profitability of the locomotive modernization of system of supply of sand / M. Kovtanets, N. Gorbunov, O. Prosvirova, S. Sosnovenko, V. Astakhov // TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2012. – Vol. 12, No.4. – P. 90-96.
10. Kovtanets M.V. Increasing the efficiency of the traction and coupling qualities of locomotives due to the direct supply of sand into the contact of the wheel with the rail / M.V. Kovtanets // Zbirnik naukovih prac Don\_ZT. – 2012. – No. 30. – P. 85-88.
11. Gorbunov M. Supplying system abrasive material with automatic dosing control / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets, O. Nozhenko, S. Kara, P. Kučera // Vibroengineering PROCEDIA, Volume 18, ISSN PRINT 2345-0533. 2018. – P. 207-214.
12. Lysyuk V.S. Reliability of the railway track / V.S. Lysyuk, V.B. Kamensky, L.V. Bashkatov; under the editorship of V.S. Lysyuk. – M.: Transport, 2001. – 286 p.
13. Gorbunov N.I. Improving the traction qualities of diesel locomotives by improving the elastic links of bogies: dis ... candidate of technical sciences: 05.22.07 / DIIT, Dnepropetrovsk, 1987. – 180 p.
14. Kamenev N.N. Efficient use of sand for traction trains / N.N. Kamenev. – M.: Transport Publishing House, 1968. – 87 p.
15. Osenin Yu.I. Prediction and management of frictional properties of the tribotechnical system «wheel-rail»: author. dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.22.07 / Yu.I. Osenin. – East Ukrainian State University. – Lugansk: – 1994. – 39 p.
16. Gorbunov M. Development of the theory and methodology of controlling the local tribological contact thermomechanical loading / M. Gorbunov, M. Kovtanets, A. Kostyukevich, V. Nozhenko, G. Vaičiūnas, S. Steišūnas // The proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Scientific Conference. Transport Means 2018, 03-05 October, Trakai, Lithuania. 2018. – P. 1383-1388.
17. Gorbunov M. Reducing the wheel-rail system wear intensity with thermomechanical impact / M. Gorbunov, M. Kovtanets, G. Bureika, T. Kovtanets // The proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Scientific Conference. Transport Means 2019, 02-04 October, Palanga, Lithuania. 2019. – P. 1260-1265.
18. Patent for utility model No. 77314, class. B61C 15/10 Feeder for abrasive material into the contact area of the wheel with the rail / applicant and owner Mокроусов С.Д., Горбунов М.М., Ковтанець М.В., Шербаків В.П., Могила В.І., Найш Н.М. – u2012 08879; claimed 18.07.2012; publ. 02/11/2013, Bul. № 3. – 3 p.

### References

1. Luzhnov Yu.M. Traction of wheels with rails (nature and laws) / Yu.M. Luzhnov. – M.: Intext, 2003. – 144 p.
2. Kostyukevich A.I. Numerical and experimental identification of the process of coupling the locomotive wheels with rails: dis. ... candidate of technical sciences: 05.22.07 / A.I. Kostyukevich. – Lugansk: 1991. – 232 p.
3. Osinin Yu.I. The friction interaction of the wheel with the rail / Yu.I. Osenin, D.M. Marchenko, I.O. Shvedchikova. – Lugansk: Issue of the Court, 1997. – 227 p.
4. Kamenev N.N. Effective use of sand for train draft / N.N. Kamenev. – M.: Transport Publishing House, 1968. – 87 p.
5. Osinin Yu.I. Prediction and control of the friction properties of the tribotechnical wheel-rail system: author. diss. ... PhD: 05.22.07 / Yu. Osinin. – Eastern Ukrainian State University. – Lugansk: – 1994. – 39 p.
6. Kravchenko E.A. Substantiation of reserves of increase of traction qualities of a locomotive and their realization by control of sliding in system of a wheel with a rail: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 / E.A.

19. Patent for utility model No. 105622, class. B61C 15/10 Device for feeding abrasive material under locomotive driving wheels / Demin R.Yu., Gorbunov M.I., Kovtanets M.V., Mokrousov S.D., Mogila V.I., Naish N.M., Kara S.V.; applicant and owner of SNU. V. Dalia. – u2015 09874; claimed 12/10/2015; publ. 25.03.2016, Bul. № 6. – 3 p.
20. Patent for utility model No. 107078, class. B61C 15/10 Abrasive feeder for locomotive wheels / Demin R.Yu., Gorbunov M.I., Kovtanets M.V., Mokrousov S.D., Kravchenko K.A., Nozhenko O.S., Kara S.V.; applicant and owner of SNU. V. Dalia. – u2015 09891; claimed 12/10/2015; publ. 05/25/2016, Bul. № 10. – 3 p.
21. Patent for utility model No. 124983 G01M 13/00 G01M 17/10 (2006.01) Stand for the study of processes in the interaction of the wheel with the rail / Gorbunov M.I., Kovtanets M.V., Boyko G.V., Prosvirova O.V., Abdulaev V.V.; applicant and owner of SNU. V. Dalia. – u2017 11775; claimed 12/01/2017; publ. 04/25/2018, Bul. № 8. – 2 p.

**Ковтанець М.В., Горбунов М.І., Ковтанець Т.М.  
Модернізація пісочної системи локомотива для енерго- і ресурсозбереження, підвищення та управління взаємодії системи «колесо-рейка»**

*У роботі описана доцільність поліпшення зчеплення коліс локомотива з рейками. Встановлено, що для підвищення коефіцієнта зчеплення найбільш широке поширення на залізницях світу, отримала подача кварцового піску на рейки під колеса рухомого локомотива. Представлений аналіз неефективності роботи пісочних систем локомотивів. Запропоновано і експериментально обгрунтовано в три послідовні етапи по модернізації пісочної системи локомотива для підвищення тягово-зчіпних і гальмівних якостей локомотива, які дозволять знизити витрати експлуатаційних матеріалів, підвищити безпеку руху, знизити витрати на обслуговування, підвищити тягово-зчіпні і гальмівні якості локомотива, а також усунути інші властиві пісочній системі недоліки.*

**Ключові слова:** локомотив, коефіцієнт зчеплення, пісочна система, абразивний матеріал.

**Kovtanets M.V., Gorbunov M.I., Kovtanets T.M.  
Modernization of the locomotive sand system for energy and resource saving, increase and control of the wheel-rail system interaction.**

*The paper describes the feasibility of improving the adhesion of the wheels of a locomotive to rails. It was estab-*

*lished that to increase the adhesion coefficient, the most widespread distribution on the railways of the world was the supply of quartz sand to the rails under the wheels of a moving locomotive. The analysis of the inefficiency of the sand systems of locomotives is presented. It was established that to ensure high traction and braking properties of the locomotive, a metered amount of sand should be supplied to the wheel-rail contact, while the maximum possible coefficient of adhesion of the wheel to the rail is achieved when filling their contact with 0,6 kg/m<sup>2</sup> sand. Based on the analysis, it was proposed and experimentally justified in three successive stages to modernize the locomotive sand system to increase the traction and braking qualities of the locomotive, which will reduce the cost of outfitting materials, increase traffic safety, lower maintenance costs, and increase the traction and braking qualities locomotive, as well as eliminate other inherent shortcomings of the sand system. To confirm the feasibility of using the modernized sand system on a locomotive, experimental studies were conducted on the Wheel-Rail stand, built at the Department of Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines of Vladimir Dahl East Ukrainian National University, and also in operation: the design system was installed on shunting and mainline diesel locomotives. An analysis of the results indicates that the use of the proposed method for feeding sand directly into one layer into the contact of the wheel with the rail can increase the physical coefficient of adhesion from 20 to 49,5%, depending on the frictional state of the contacting surfaces. During operation, the installed design sand system showed, in comparison with sand systems installed on similar models of diesel locomotives: the realization of a high coefficient of adhesion, reduced sand consumption, the absence of sand on the surface of the rail-sleeper grid, as well as the positive reviews of locksmiths during its maintenance.*

**Keywords:** locomotive, adhesion coefficient, sand system, abrasive material.

**Ковтанець М.В.** – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

**Горбунов М.І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

**Ковтанець Т.М.** – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Стаття подана 09.04.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-25-28>

УДК 656.073.2

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ ВАНТАЖНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКЗОСКЕЛЕТІВ

Михайлов Є.В.

### INCREASING EFFICIENCY OF PERFORMING CARGO LOGISTIC OPERATIONS USING EXOSKELETONS

Mikhailov E.V.

*Розглянуті питання використання екзоскелетів для підвищення ефективності виконання вантажних логістичних операцій. Проаналізовані загальний пристрій і характерні особливості існуючих екзоскелетів. Показані особливості їх застосування в різних галузях людської діяльності. Проведено порівняння можливостей роботизації ручного труда, автоматизації технологічних процесів і використання екзоскелетів. Сформульовані основні переваги, які дозволяють отримати застосування екзоскелетів у промисловості та логістиці в порівнянні з використанням традиційних технологій.*

**Ключові слова:** логістика, вантажні операції, екзоскелет, оператор, ефективність.

**Вступ.** Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності різноманітних технологічних операцій нині є використання екзоскелетів. Сам термін в перекладі означає «зовнішній скелет», жорстку шкіру безхребетних (павуків, крабів і т.д.), яка дозволяє їм зберігати форму без внутрішнього скелета.

Питанням використання екзоскелетів останнім часом приділяється досить велика увага [1, 2, 5]. Специфічне застосування екзоскелети знаходять у військовій сфері та в медицині (рис. 1, 2). У цих випадках економічні питання використання екзоскелетів відходять на другий план, а пріоритетними є питання підвищення функціональної ефективності.

Нас же в першу чергу цікавить застосування екзоскелетів у промисловості, де виконуються тривалі роботи з використанням важкого або габаритного устаткування, а також в логістиці, де здійснюються численні операції вантаження-вивантаження. Використання екзоскелетів тут стримується невисоким рівнем вживаної техніки і технологій, а також економічними аспектами. Тому, на відміну від військової і медичної областей, де активна розробка екзоскелетів ведеться вже досить давно, в промисловості та логістиці результати використання цих тех-

нологій поки досить скромні. Хоча, за прогнозами Global Markets Inside [1], до 2024 року промислове застосування екзоскелетів випередить військове і медичне використання на 120%. А в 2025 році об'єм світового ринку екзоскелетів може дійти до рівня 8,3 млрд. доларів. Це цілком закономірно, оскільки фізично важкі для людини професії зосереджені здебільшого в області промислового виробництва, сільського господарства і логістики. Екзоскелети там можуть грати дуже важливу роль у підвищенні ефективності виконуваних операцій, запобігаючи при цьому перевантаженню працівників і усуваючи проблеми зі здоров'ям персоналу.



Рис. 1. Медичний екзоскелет



Рис. 2. Військовий екзоскелет

**Метою роботи** є аналіз переваг застосування екзоскелетів при виконанні вантажних і транспортно-складських логістичних операцій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасні екзоскелети є пристроями, які надіває людина. Основне призначення цих пристроїв - розвантажити опорно-руховий апарат оператора і перенести вагу вантажу на себе. Будь-який екзоскелет складається з декількох складових: власне механічного скелета і механізмів, що приводять його в рух. У ряді конструкцій потрібні джерело енергії і про-

грамне забезпечення, що управляє усім пристроєм так, як це треба операторові. Каркас складається з високоміцних (із сталі, алюмінію, вуглецевих волокон або композитних матеріалів) елементів, які з'єднуються за допомогою шарнірів. Приводять конструкцію в рух електро- або гідромотори. Разом з акумулятором і бортовим комп'ютером така конструкція може важити декілька десятків кілограмів. Проте, одягнений в екзоскелет оператор його ваги не відчуває і особливих зусиль для переміщення не докладає. У його функції входить здійснення звичайних рухів кінцівками для спрямування машини. Між рухами оператора і реакцією екзоскелета немає практично ніякої затримки: пристрій зберігає увесь потенціал людських рефлексів і гнучкості. Підтримка ваги тіла, допомога в підйомі й утриманні вантажу, корекція положення і стабілізація тіла - ті допоміжні можливості, які можуть полегшити важку працю вантажників (рис. 3).

Існують моделі екзоскелетів з активним і пасивним принципом роботи. Активні екзоскелети потребують зовнішнього джерела енергії, та зате забезпечують якісне підвищення можливостей працівника. Принцип дії пасивних екзоскелетів заснований на використанні кінетичної енергії і сили оператора. Завдяки ним можна уникнути надмірних навантажень, але не можна перевищувати ліміт «вантажопідйомності» людини.

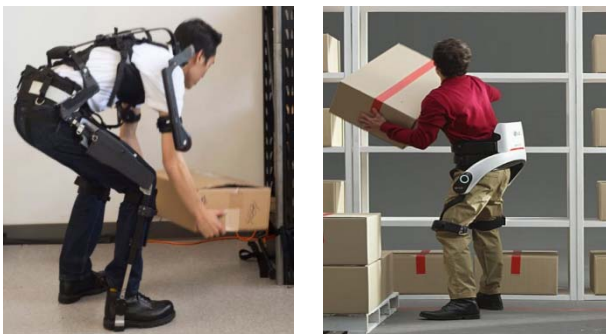


Рис. 3. Приклади використання екзоскелетів при вантажних операціях

Найважливішими показниками, що характеризують ефективність промислових і логістичних екзоскелетів являються:

- вантажопідйомність;
- ергономічність;
- середня споживана потужність.

Лідери у використанні екзоскелетів - великі американські автомобільні корпорації - вже впровадили пасивні екзоскелети трьох типів підтримки м'язів: підтримуючі руки на рівні грудей і вище; сприяючі спині при нахилі вперед; «стілець без стільця», які фіксуються в положенні сидячи. Представники Ford заявили, що екзоскелети істотно знизили травматизм працівників.

На думку експертів, основними причинами використання екзоскелетів в промисловості та логістиці є питання підвищення працездатності праців-

ників. За їх оцінками втрати від професійних перевантажень персоналу обходяться щорічно компаніям США у \$15 млрд., а німецькій економіці - €10 млрд. За оцінками британського інституту Work Foundation [6], 44 млн. європейців (практично чверть усієї робочої сили) страждають від тієї або іншої форми скелетно-м'язових порушень.

Роботизація ручної праці, автоматизація технологічних процесів не завжди являється раціональним шляхом підвищення ефективності виробництва і логістики [7]. Роботами можна замінити стандартні, алгоритмічні операції. Вусі, що не укладається в чіткі алгоритми, поки продовжують виконувати люди. Екзоскелет лише допомагає оптимізувати ці операції.

Крім того, важливо, що автоматизація виробничих і логістичних процесів, у котрих зараз задіяні люди, може обійтися власникам бізнесу в сотні разів дорожче і потребує планового ремонту і обслуговування устаткування. Так, наприклад, промисловий робот коштує біля 100000\$, у той час, коли вартість екзоскелета для працівника не перевищує декілька тисяч доларів. При серійному випуску можливе зниження цієї ціни.

Таким чином, екзоскелети являються найменш затратним способом уберегти персонал від професійних захворювань і травм і підвищити продуктивність праці. Експерти вважають, що в логістиці станеться розшарування технологічних операцій і їх перерозподіл. При цьому конкуренції екзоскелетів і роботів не буде.

Використання екзоскелетів являється ефективним для виробництва та логістики. У промисловому виробництві продуктивність за рахунок цього може бути підвищена на 250-2000 відсотків (по дослідженнях компанії Ekso Bionics [2]) окупність вкладень не перевищує 8 місяців. У логістичних технологіях можна чекати ще більший ефект, оскільки використання екзоскелетів в процесах навантаження-розвантаження приведе до істотного скорочення персоналу, що використовується, і дозволить збільшити швидкість роботи з вантажами.

Ряд крупних компаній вже зацікавилися застосуванням екзоскелетів для доставки важких вантажів. Приклад цього тренду добре видно на прикладі меблевого ринку. Для оптимізації процесу збірки, компанії починають поставляти меблі вже зібраними модулями. При такій технології скорочується кількість низькокваліфікованого персоналу, оскільки численні вантажники не можуть впоратися з подібним завданням. Роботу вже виконують не вантажники в екзоскелетах, а оператори робота. Це кваліфіковані працівники, які можуть забезпечити високу продуктивність праці та надати більш якісний сервіс для споживачів.

Таким чином, застосування екзоскелетів у промисловості та логістиці може привести до повної трансформації технологій вантажних процесів, в яких ще застосовується людська сила.

У Україні розробки екзоскелетів знаходяться доки в початковій стадії та має бути проведено ще багато роботи для їх вдосконалення. Наприклад, компанія ДТЕК впроваджує екзоскелети для працівників вугільної й енергетичної галузі [3]. Унікальна українська розробка екзоскелета отримала перемогу на конкурсі в США [4].

При розробці та впровадженні промислових і логістичних екзоскелетів виникає немало складнощів і проблем. Так, екзоскелет накладає суттєві обмеження на рухливість оператора. Це пов'язано з тим, що у тіла людини 244 ступеня рухливості, й повністю повторити біомеханіку людини при сучасному рівні розвитку техніки і технологій не видається можливим. Також гостро стоїть проблема створення досконалих приводів. Електрогідравлічні, електромеханічні й електропневматичні приводи відстають за своїми питомими характеристиками від м'язів людини у заданих габаритах, причому не лише в частині зусиль, що виникають, але і в частині потужності, що використовується. На сьогодні найбільш перспективним напрямом створення таких приводів є штучні м'язи на основі високомолекулярних з'єднань.

Окрему проблему складає створення досконалої системи управління екзоскелетом зі зворотним зв'язком від оператора, що забезпечує стійке інтуїтивно зрозуміле управління.

При використанні екзоскелетів особливу увагу також необхідно приділити розробці і впровадженню принципово нових норм техніки безпеки і підвищенню вимог до кваліфікації операторів.

Нині вже тестуються екзоскелети, які фіксують біометричні дані (тиск, пульс, температуру тіла та ін.), щоб убезпечити користувача від перенапруження. Удосконалюються вбудовані комп'ютери і програмне забезпечення, які аналізують характер діяльності людини, щоб максимально ефективно надавати підтримку і допомагати у виконанні робіт. В ідеалі функціональні можливості екзоскелета вантажника-оператора повинні визначатися особливостями маніпуляцій, що здійснюються при вантаженні, вивантаженні та підйомі вантажу в різних площинах.

**Висновки.** Використання екзоскелетів у промисловості та логістиці може забезпечити ряд переваг порівняно з традиційними технологіями:

- збільшення функціональної працездатності оператора (виконання більшої кількості дій в одиницю часу і розширення фізичних можливостей в частині вантажопідйомності);
- поліпшення умов праці вантажника-оператора;
- зниження травмобезпеки виробництва і зменшення кількості виплат, пов'язаних з виробничим травматизмом;
- зменшення потрібної кількості робітників.

## Література

1. Global Markets Inside. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.gminsights.com/>
2. Work Safer with EksoVest. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eksobionics.com/eksoworks/>
3. Энергетики тестируют разгружающее мышцы устройство. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.segodnya.ua/economics/enews/rabotnikidtek-testiruyut-razgruzhayushchee-myshcy-ustroystvo-1360312.html>
4. Экзоскелет киевского изобретателя победил на конкурсе в США. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.segodnya.ua/ukraine/ekzoskelet-kievskogo-izobretatelya-pobedil-na-konkurse-v-ssha-1099483.html>
5. Практическое применение экзоскелетов в промышленности и строительстве. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.str-t.ru/reports/19/>
6. Work Foundation. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.lancaster.ac.uk/work-foundation/>
7. Автоматизация и роботизация производства. Экспертный опрос. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://rparussia.ru/2019/04/22/автоматизация-и-роботизация-произво/>

## References

1. Global Markets Inside. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <https://www.gminsights.com/>
2. Work Safer with EksoVest. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <https://eksobionics.com/eksoworks/>
3. Jenergetiki testirujut razgruzhajushhee myshcy ustrojstvo. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: [https://www.segodnya.ua/economics/enews/rabotnikidtek-testiruyut-razgruzhajushchee-myshcy-ustroystvo-1360312.html](https://www.segodnya.ua/economics/enews/rabotnikidtek-testiruyut-razgruzhayushchee-myshcy-ustroystvo-1360312.html)
4. Jezzoskelet kievskogo izobretatelja pobedil na konkurse v SShA. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <https://www.segodnya.ua/ukraine/ekzoskelet-kievskogo-izobretatelya-pobedil-na-konkurse-v-ssha-1099483.html>
5. Prakticheskoe primenenie jezzoskeletov v promyshlennosti i stroitel'stve. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://www.str-t.ru/reports/19/>
6. Work Foundation. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <https://www.lancaster.ac.uk/work-foundation/>
7. Avtomatizacija i robotizacija proizvodstva. Jekspertnyj opros. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <https://rparussia.ru/2019/04/22/avtomatizacija-i-robotizacija-proizvo/>

**Михайлов Е.В. Повышение эффективности выполнения грузовых логистических операций с использованием экзоскелетов.**

*Рассмотрены вопросы использования экзоскелетов для повышения эффективности выполнения грузовых логистических операций. Проанализированы общее устройство и характерные особенности существующих экзоскелетов. Показаны особенности их применения в различных отраслях человеческой деятельности. Проведено сравнение возможностей роботизации ручного труда, автоматизации технологических процессов и использования экзоскелетов. Сформулированы основные преимущества, которые позволяет получить применение экзоскелетов в промышленности и логистике в сравнении с использованием традиционных технологий.*

**Ключевые слова:** логистика, грузовые операции, экзоскелет, оператор, эффективность.

**Mikhailov E.V. Improving the efficiency of cargo logistics operations using exoskeletons.**

*One of the promising directions for increasing the efficiency of various technological operations at present is the use of exoskeletons. Exoskeletons are used in military applications and in medicine. In these cases, the economic issues of using exoskeletons are fading into the background, and the issues of increasing functional efficiency are priority issues. The issues of using exoskeletons during cargo operations in industry, where long-term work is carried out using heavy or bulky equipment, as well as in logistics, where numerous loading and unloading operations are performed, are considered. The use of exoskeletons in these industries is constrained by the low level of applied equipment and technologies, as well as economic aspects. The general design and characteristic features of existing exoskeletons are analyzed. The features of their application in various branches of human activity are shown. The most important indicators characterizing the effectiveness of industrial and logistic exoskeletons are: load capacity; ergonomics; average power consumption. The possibilities of manual labor robotization, automation of technological processes and the use of exoskeletons are compared. Manual labor robotization, automation of technological pro-*

*cesses is not always a rational way to increase production and logistics efficiency. Standard, algorithmic operations can be replaced by robots. Everything that does not fit into strict algorithms, while people continue to execute. The use of exoskeletons helps to optimize these operations. The use of exoskeletons in industry and logistics can provide a number of advantages in comparison with traditional technologies: increasing the functional efficiency of the operator (performing more actions per unit time and expanding physical capabilities in terms of carrying capacity); improving the working conditions of the loader-operator, reduction of industrial injuries and reduction in the number of payments associated with it; reduction in the required number of workers.*

**Keywords:** logistics, cargo operations, exoskeleton, operator, efficiency.

**Михайлов Євген Валентинович** – к.т.н., доцент кафедри ЛУБРТ СХУ ім. В. Даля, E-mail: mihaylov.evv@gmail.com

Стаття подана 03.03.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-29-32>

УДК 62-597.6

## ВПЛИВ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ І ХАРАКТЕР ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ

Полупан Є.В., Шевченко С.І., Медведєв Є.П.

## FLOW OF FACTORS TO THE PROCESS OF GALMUVANIA ON THE SIZE I CHARACTER OF ZMINI KOEFITSICNTA TERTYA

Polupan Y.V., Shevchenko S.I., Medvediev I.P.

*На підставі фундаментальних досліджень гальмівних пристроїв механізмів і машин, проведених багатьма вченими, можна зробити висновок, що вирішення проблеми створення надійної фрикційної пари сучасних високонавантажених гальм механізмів і машин можливо тільки при застосуванні більш теплостійких матеріалів. Таким чином, актуальними є завдання розробки нових фрикційних матеріалів, що забезпечують стабільні показники роботи гальмівного пристрою і досить невисокі температури поверхонь, що труться. Використання нових фрикційних матеріалів створює реальні можливості підвищення ефективності надійності і безпеки роботи і відкриває резерви підвищення енергоємності гальмівних пристроїв.*

**Ключові слова:** фрикційний матеріал, гальмо, тертя, швидкість ковзання, температура.

Питання вивчення працездатності натурних фрикційних вузлів гальмівних пристроїв і муфт знайшли відображення в ряді робіт [1, 2, 3]. З аналізу практики експлуатації транспортних машин можна зробити висновок, що одним з найбільш вразливих місць серед механізмів є гальмівні пристрої. Робота гальмівних пристроїв відрізняється надзвичайною різноманітністю умов і факторів, що впливають на знос і довговічність їх фрикційних елементів.

**Метою роботи** є дослідження впливу питомого тиску і швидкості ковзання поверхонь, що труться на величину і характер зміни коефіцієнта тертя.

Для більш широкого застосування вуглець-вуглецевих фрикційних матеріалів у автомобільному транспорті необхідно провести оцінку сукупного впливання основних факторів гальмівного процесу на величину і характер зміни коефіцієнта тертя.

Метою цієї серії дослідів є дослідження впливу питомого тиску, швидкості просковзування та температури на процес тертя ВВКМ. Досліджувався один найбільш перспективний на наш погляд матеріал УТ22-В, який забезпечує достатній за величи-

ною і стабільний коефіцієнт тертя в процесі гальмування.

Випробування полягали в проведенні серії гальмувань, в кожному досвіді визначали величину коефіцієнта тертя матеріалу при різному сполученні основних чинників процесу гальмування.

Для вирішення завдання про кількісний та якісний вплив досліджуваних факторів (температури, початкової швидкості відносного ковзання і питомого тиску) на фрикційні властивості випробуваного ВВКМ, були використані методи математичного планування експерименту [4, 5, 6, 7, 8].

За результатами експерименту визначали математичну модель у вигляді рівняння другого порядку, адекватно описує процес гальмування:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

де  $b_0$  - вільний член;

$b_i, b_{ij}, b_{ii}$  - коефіцієнти регресії;

$k$  - число факторів.

Для проведення роботи був використаний повний факторний експеримент (ПФЕ) типу  $3^k$  що складається з 27 дослідів. Кожен дослід повторювали тричі, і для зменшення систематичної похибки їх проводили у випадковому порядку. Кожен фактор варіювався на трьох рівнях.

У таб. 1 наведені рівні і кроки варіювання факторів. У таб. 1 представлена план-матриця ПФЕ з використанням кодованих значень факторів, а також дані значення величини коефіцієнта тертя.

Обробка експериментальних даних з використанням методу найменших квадратів дозволила отримати рівняння регресії:

$$Y = 0,379864 + 0,001282x_1 + 0,0000081x_2 - 0,261273 \cdot x_3 - 0,000001x_1 \cdot x_2 - 0,000556x_1 \cdot x_3 + 0,000182x_2 \cdot x_3 + 0,0000001x_1^2 + 0,0000001x_2^2 + 0,156224x_3^2 \quad (2)$$

Таблиця 1

**Умови експерименту при дослідженні фрикційних характеристик ВВКМ**

Фактори		Рівні варіювання факторів			
Найменування, розмірність	Позначення	Нижній X = -1	Центр експерименту X = 0	Верхній X = +1	Крок варіювання
Температура t, °C	X <sub>1</sub>	15	215	412	200
Початкова швидкість ковзання V, м/с	X <sub>2</sub>	6,283	8,378	10,473	2,095
Тиск P, МПа	X <sub>3</sub>	0,2	0,6	1	0,4

Таблиця 2

**Фрикційні характеристики за результатами багатфакторного експерименту**

Номер досвіду	Кодоване значення факторів			Коефіцієнт тертя $\mu$
	1	2	3	
1	-1	-1	-1	0,3809
2	-1	-1	0	0,3902
3	-1	-1	+1	0,4030
4	-1	0	-1	0,3960
5	-1	0	0	0,4010
6	-1	0	+1	0,4027
7	-1	+1	-1	0,3800
8	-1	+1	0	0,4610
9	-1	+1	+1	0,5491
10	0	-1	-1	0,4542
11	0	-1	0	0,3662
12	0	-1	+1	0,3773
13	0	0	-1	0,4802
14	0	0	0	0,4526
15	0	0	+1	0,4325
16	0	+1	-1	0,5129
17	0	+1	0	0,4410
18	0	+1	+1	0,4296
19	+1	-1	-1	0,6325
20	+1	-1	0	0,4926
21	+1	-1	+1	0,5230
22	+1	0	-1	0,5469
23	+1	0	0	0,4885
24	+1	0	+1	0,3960
25	+1	+1	-1	0,4967
26	+1	+1	0	0,3892
27	+1	+1	+1	0,4210

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії проводилася за допомогою порівняння їх абсолютних значень з половиною довірчого інтервалу розсіювання середнього значення кожного з коефіцієнтів. Аналіз такого розсіювання проводять по функції Лапласа,

яку, при малому числі дослідів замінюють функцією Стьюдента.

З 10 коефіцієнтів повного полінома 2-го порядку значущими виявилися 7 коефіцієнтів. Після перерахунку останніх рівняння регресії набуває вигляду:

$$Y = 0,481238 + 0,000507 \cdot x_1 + 0,000092 \cdot x_2 - 0,261254 \cdot x_3 - 0,000556 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,00018 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,156224 \cdot x_3^2 \quad (3)$$

Перевірка адекватності математичної моделі здійснювалася за оцінкою відхилень, обчислених за рівнянням регресії значень функції від експериментально встановлених, усереднених за кількістю повторень дослідів в точках факторного простору. Для оцінки відхилень використовувався критерій Фішера. Його значення визначалося за формулою

$$F_{on} = \frac{S_{ad}^2}{S_{воспр}^2} \quad (4)$$

Теоретичне значення критерію Фішера при рівні значущості  $\alpha = 0,05$  і числі ступенів свободи  $f_1 = N_d = 27 - 7 = 20$  і  $f_2 = N \cdot (M - 1) = 27 \cdot (2 - 1) = 54$  становить  $F_{кр} = 1,7$ . Після здійснення розрахунку критерію Фішера за висловом 4 отримуємо  $F_{on} = 0,3461$ . Так як  $F_{on} < F_{кр}$  робиться висновок про адекватність отриманої моделі.

Графічне відображення функції 3 наведено на рис. 1.

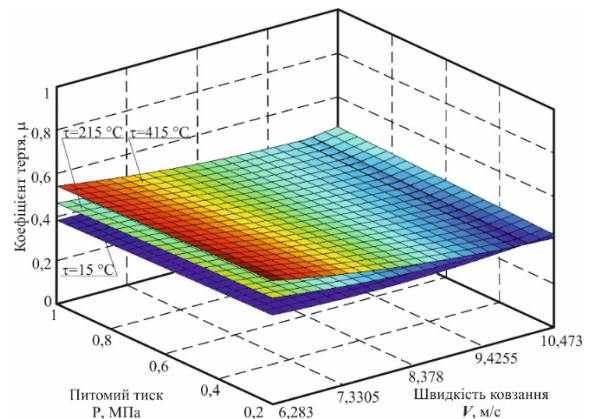


Рис. 1. Фрикційне характеристика пари тертя сталь-ВВКМ

З аналізу отриманих поверхонь відгуку можна зробити висновок, що з ростом швидкості ковзання і питомого тиску коефіцієнт тертя зменшується, а з ростом температури - зростає. Однак при варіюванні основних критеріїв процесу гальмування (таких як швидкість ковзання, питомий тиск і температура поверхонь, що труться), зміна коефіцієнта тертя відбувається в досить не великих межах 0,4-0,58, що свідчить про достатність величини і високої стабільності коефіцієнта тертя.

Цей факт дозволяє рекомендувати застосування нового фрикційного вуглець-вуглецевого композитного матеріалу до використання не тільки в автомобільному транспорті, а й в інших галузях промисловості, таких як автомобільний і залізничний транспорт, що дозволить істотно підвищити ефективність гальмування і безпеку руху.

#### Л і т е р а т у р а

1. Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Чичинадзе А. В. Полимеры в узлах трения машин и приборов: [Справочник] / А. В. Чичинадзе, А. Л. Левин, М. М. Бородулин, Е. В. Зиновьев, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
3. Гудз Г. С. Температурные режимы фрикционных узлов автотранспортных средств. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 139 с.
4. Евдокимов Ю. А., Колесников В. И., Тетерин А. И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М.: Наука, 1980. 228 с.
5. Налимов В. В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. – М.: Metallurgia, 1981. 180 с.
6. Барабашук В. И. Планирование эксперимента в технике / В. И. Барабашук, Б. П. Креденцер, В. И. Мирошниченко. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.: ил. Библиог.: с. 196-198.
7. Полупан Е.В. Повышение эффективности торможения подъёмно-транспортных машин применением новых фрикционных материалов: Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 2008. – 173 с.
8. Шевченко С. И. Улучшение динамических характеристик мостовых кранов применением тормозных устройств с самоусилением: : Дис. ... канд. техн. наук. – Луганск, 2010. – 211 с.

#### R e f e r e n c e s

1. Kragelskii I. V. Trenie i iznos. – М.: Mashinostroenie 1968. - 480 s.
2. Chichinadze A. V. Polimeri v uzлах treniya mashin i priborov\_ [Spravochnik] / A. V. Chichinadze A. L. Levin M. M. Borodulin E. V. Zinovev 2e izd. pererab. i dop. – М. - Mashinostroenie: 1988. – 328 s.
3. Gudz G. S. Temperaturnie rejimi frikcionnih uzlov avtotransportnih sredstv. – Harkov: RIO HGADTU, 1998. – 139 s.
4. Evdokimov Yu. A., Kolesnikov V. I., Teterin A. I. Planirovanie i analiz eksperimentov pri reshenii zadach treniya i iznosa. – М.: Nauka 1980. 228 s.
5. Nalimov V. V., Golikova T. I. Logicheskie osnovaniya planirovaniya eksperimenta. – М.: Metallurgiya 1981. 180 s.
6. Barabaschuk V. I. Planirovanie eksperimenta v tehnikе / V. I. Barabaschuk, B. P. Kredencer, V. I. Miroshnichenko. – К.: Tehnika, 1984. – 200 s.: il. Bibliog.: c. 196-198.
7. Polupan E.V. Povishenie effektivnosti tormojeniya podemno transportnih mashin primeneniem novih frikcionnih materialov: Dis. ... kand. tehn. nauk. – Harkov, 2008. – 173 s.
8. Shevchenko S. I. Uluchshenie dinamicheskikh harakteristik mostovih kranov primeneniem tormoznih ustroystv s samousileniem: Dis. ... kand. tehn. nauk. – Lugansk, 2010. – 211 s.

#### Полупан Е.В., Шевченко С.И., Медведєв Е.П. Влияние факторов процесса торможения на величину и характер изменения коэффициента трения.

*На основании фундаментальных исследований тормозных устройств механизмов и машин, проведенных многими учеными, можно сделать вывод, что решение проблемы создания надежной фрикционной пары современных высоконагруженных тормозов механизмов и машин возможно только при применении более термостойких материалов. Таким образом, актуальными являются задачи разработки новых фрикционных материалов, обеспечивающих стабильные показатели работы тормозного устройства и достаточно невысокие температуры трущихся поверхностей. Использование новых фрикционных материалов создает реальные возможности повышения эффективности надежности и безопасности работы и открывает резервы повышения энергоемкости тормозных устройств.*

**Ключевые слова:** фрикционный материал, тормоз, трение, скорость скольжения, температура.

#### Polupan Y.V., Shevchenko S.I., Medvediev I.P. Flow of factors to the process of galmuvania on the size i character of zmini koefitsienta tertya.

*Improving the efficiency and reliability of nodes and parts of transport vehicles, aimed at intensifying their productivity, is one of the main tasks of transport engineering. An increase in transport productivity during operation leads to the fact that its components and parts are inevitably exposed to significant loads and energies. Moreover, the repayment of the latter in turn leads to the dissipation of mechanical energy into heat in small volumes of the friction unit, which inevitably leads to heating of its friction pairs. Therefore, one of the responsible and most loaded components of transport vehicles includes brake devices that ensure operational safety and significantly affect the level of reliability. Based on basic studies of braking devices of mechanisms and machines by many scientists, it can be concluded that the solution to the problem of creating a reliable friction pair of modern highly loaded brakes of mechanisms and machines is possible only with the use of more heat-resistant materials and with the simultaneous development of brake designs that ensure the formation of lowest heating temperatures friction surfaces.*

*This article is devoted to increasing the braking efficiency of transport vehicles using new friction composite materials based on carbon-carbon with a pyrocarbon matrix and studying their tribotechnical characteristics. From the above it follows the need to study the influence of the main factors on the reduction of steady temperatures in the contact zone of friction elements. The presence of a relationship between the temperature in the contact zone of the friction pair, time, cooling method, and robot mode predetermined the solution of the problem of establishing the general dependences of this connection.*

*Researchs were conducted for a new carbon-composite friction material with increased heat conductivity, heat capacity and heat transfer. Improving the thermophysical characteristics of the friction materials of brake devices raised the question of studying the influence of the main factors of the braking process on the magnitude and nature of the change in the coefficient of friction. And finally, the use of the new carbon-composite frictional material has set the task of a qualitative study of the frictional properties and a quantitative study of the wear of the friction surfaces of the braking device with the new friction material.*

**Keywords:** friction material, brakes, friction, sliding speed, temperature.

**Плупан Євген Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: iiscienceii@ukr.net.

**Шевченко Сергій Іванович** – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля.

**Медведєв Євген Павлович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля.

Стаття подана 31.03.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-33-39>

УДК 519.852.35: 656.073

## ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ УКРАЇНИ

Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Прокудін О.Г.

### WAYS TO SOLVE THE PROBLEM TRUCK MANAGEMENT IN UKRAINE TRANSPORT SYSTEMS

Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Dudnik O.S., Prokudin O.G.

*Збільшення ролі вантажних перевезень в обслуговуванні міжнародного вантажообігу, підсилення ролі експедиційної діяльності у формуванні попиту та пропозиції докорінно змінило концепції транспортного ринку. З іншої сторони, створення єдиної міжнародної транспортно-логістичної системи та географічне положення транспортного простору України в якості міжнародних транспортних коридорів вимагає окремого аналізу управління роботи транспортних вузлів і митних систем, забезпечення координації та взаємодії транспорту і митних пунктів пропуску, результативності досягнень науково-технічного прогресу на транспорті і митній справі. Процес формування міжнародної системи перевезень не завершився. Більш того, остаточне рішення ряду проблем міжнародних перевезень та освоєння нових технологій знайде своє втілення лише на межі першої чверті XXI сторіччя.*

**Ключові слова:** вантажопотоки, управління, міжнародні транспортні коридори, митні системи.

**Вступ.** На сьогоднішній день суттєво змінилися організаційно-економічні а також правові взаємовідносини між учасниками транспортного процесу. Виникли проблеми сумісності національних транспортних систем з європейською та міжнародною транспортною системою. Поступово затверджуються нові транспортно-логістичні системи як транспортування, так і розподілу товарів, що чітко проявляється у зміні ролі кожного виду транспорту в обслуговуванні внутрішнього і зовнішнього вантажообігу.

**Постановка проблеми.** З початку XXI сторіччя в Україні відбувається процес інтенсивного формування багаторівневої ринкової економіки, на яку впливає глобалізація та інтеграція виробництва і розподілення товарів у світовій економіці. Докорінно змінюється конкурентне середовище на ринку транспортних послуг, що пов'язано з послабленням державного регулювання цієї галузі народного господарства.

При цьому головними задачами транспорту за-

лишаються сучасне, якісне та повне задоволення потреб народного господарства та населення у перевезеннях вантажів та пасажирів, підвищення надійності та економічної ефективності його роботи.

На сьогоднішній день суттєво змінилися організаційно-економічні а також правові взаємовідносини між учасниками транспортного процесу. Виникли проблеми сумісності національних транспортних систем з європейською та міжнародною транспортною системою (ТС). Поступово затверджуються нові транспортно-логістичні системи як транспортування, так і розподілу товарів, що чітко проявляється у зміні ролі кожного виду транспорту в обслуговуванні внутрішнього і зовнішнього вантажообігу.

**Аналіз останніх досліджень.** Транзитні можливості України забезпечують її значення для Європейської транспортної системи для побудови оптимальних маршрутів транспортування. Найкоротші шляхи із Західної Європи у напрямку на Афганістан та із Північної Європи до Чорного моря проходять через територію України. Україна має загальну довжину автомобільних доріг в 172,4 тис. км), одну з найпотужніших залізничну мережу, з довжиною в 22,3 тис. км), які поєднуються з європейськими залізницями [1].

У зв'язку з остаточною зміною геополітичної ситуації в Європі, завершенням холодної війни та ліквідацією протистояння Схід-Захід у світовій транспортній системі відбувається процес утворення єдиного торговельного ринку, спрощується процес перетинання кордонів, створюються міжнародні структури, починається реалізація міжнародних транспортних коридорів, котрих в Європі Другою Паневропейською транспортною конференцією (березень 1994 р., Крит, Греція) виділено дев'ять [2]:

1. Гельсінкі – Таллінн – Рига – Калінінград – Вроцлав;
2. Берлін – Варшава – Мінськ – Москва – Нижній Новгород;
3. Берлін – Вроцлав – Краків – Київ;

4. Дрезден – Прага – Будапешт – Софія – Стамбул;
5. Венеція – Любляна – Будапешт – Ужгород – Львів;
6. Гданськ – Катовіце – Єлін – Познань;
7. Дунайський водний шлях із виходом на канал Рені – Майн – Дунай;
8. Дурес – Тірана – Софія – Плодів – Варна;
9. Гельсінкі – Санкт-Петербург – Москва – Київ – Бухарест (надалі продовження до Новоросійська та Астрахані).

На Третій Паневропейській транспортній конференції в Гельсінкі (1997р.), де було затверджено проекти формування та посилення транспортних коридорів, отримала реалізацію ідея розвитку десятого МТК, а саме:

10. Зальцбург – Любляна – Загреб – Белград – Ниш – Скопье – Велес – Салоники, який направлений на посилення взаємодії балканських країн і дає вихід в Західну Європу.

Концепція «Створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні» (постанова № 821 Кабінету міністрів України від 04.08.1997 р.) розроблена на основі принципів міжнародної транспортної політики, прийнятих в Європейському співавторстві, які включають: які включають: комерційні питання, тарифне забезпечення, забезпечення роботи транспортної системи, питання інфраструктури, митне забезпечення, синхронізацію технологічних проблем, які обумовлені лібералізацією й гармонізацією транспортного ринку, екологічними вимогами та безпекою роботи тощо [3].

Інтеграція України у міжнародну транспортну систему передбачає приєднання до існуючих транспортних коридорів та доповнення нових напрямків МТК, а саме [4]:

- продовження коридорів № 3 та напрямку Європа–Азія: Франкфурт–Краків – Дніпропетровськ – Алма-Ата;
- продовження коридору № 5: Львів – Рівне – Сарні – Мінськ;
- продовження напрямку Балтика-Чорне море: Гданськ – Варшава – Ковель – Одеса;
- продовження напрямку Північ-Південь: Харків – Полтава – Кіровоград – Одеса;
- продовження Євразійського транспортного коридору (ЄАТК): Одеса – Тбілісі (Єрван) – Баку – Ашгабат;
- продовження проекту Чорноморського економічного співробітництва (ЧЕС): Анкара– Єрван – Тбілісі (Баку)–Ростов-на-Дону–Донецьк– Одеса(Кишинів) – Бухарест (Тірана) – Дмитровград (Афіни) – Стамбул.

Протяжність восьми основних транспортних коридорів для автомобільного транспорту України становить більше 7,2 тис. км по основному ходу та 1,7 тис. км по різних відгалуженням. На дорогах цих коридорів працює 125 комплексів і пунктів транспортно-експедиторського і автодорожнього обслуговування і сервісу, в тому числі 29 вантажних

терміналів (ВТ), 52 пункти автомобільного сервісу (ПАС) і 44 комплекси дорожнього сервісу (КДС). Середня відстань між ВТ становить 250 км, між ПАС – 140 км, між КДС – 160 км. Ці значення в 2-2,5 разів є більшими у порівнянні з вимогами міжнародного стандарту і не задовольняють постійно зростаючим обсягам вантажо- і пасажиропотоків міжнародного транспортного сполучення [5].

Пропускна можливість автомобільних МТК складається з пропускної спроможності як автомагістралей, так і автомобільних митних пунктів пропуску держави. Тому необхідно досліджувати не тільки автомобільні потоки через митний кордон України, но і визначити пропускну можливість пунктів пропуску на державному кордоні [6].

**Метою статті** є розробка шляхів вирішення проблем управління вантажопотоками в транзитних транспортних системах України, що дозволить у значній мірі підвищити міжнародну конкурентну спроможність транспортної системи України.

#### Матеріали і результати досліджень.

У Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 р. закладено збільшення пропускної здатності та якості автомобільних шляхів, але до виконання програми треба підходити комплексно з урахуванням перспективних обсягів товаропотоків. Також слід з'ясувати можливості пропускної здатності української мережі МТК на даний час та визначити перспективи розвитку. Показано, що рівень пропускної здатності дороги залежить від кількості смуг руху, швидкості руху, стану проїжджої частини та різновиду автомобілів, що рухаються по дорозі. Для урахування зазначених критеріїв за умови нормальних умов для розрахунку пропускної здатності, отримуємо таке співвідношення [7]:

$$P_{\text{доб}}^{\text{МТК}} = 24 \cdot \frac{v \cdot n_{\text{см}} \cdot \beta}{(l_p + l_z + l_a + l_o)} \cdot 10^3, \quad (\text{авт./добу}) \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість руху, км/год;

$n_{\text{см}}$  – коефіцієнт, кількості смуг руху;

$\beta$  – коефіцієнт, впливу технологічних характеристик елементів дороги ( $\beta = 0,563$ );

$l_p$  – шлях, який проходить автомобіль за час реакції водія, м;

$l_r$  – гальмівний шлях, м;

$l_a$  – довжина автомобіля, м;

$l_b$  – відстань безпеки, м.

Результати розрахунків пропускної здатності різних ділянок автомагістралей міжнародного значення з урахуванням кількості смуг (1/2/3) для руху в одному напрямку подано в табл. 1.

Виходячи з розрахованих показників пропускної здатності табл. 1, можна її визначити для кожного автомобільного МТК (табл. 2). Наведені показники визначають нижню межу пропускної здатності МТК.

Пропускна можливість автомобільних МТК складається з пропускної можливості як автомагістралей, так і автомобільних митних пунктів пропуску.

Тому необхідно розрахувати потік автомобільних транспортних засобів через митний кордон і визначити пропускну можливість митних пунктів пропуску.

Таблиця 1

**Дані розрахунку пропускної здатності міжнародних автомобільних доріг України**

Ділянки МТК	Кількість смуг руху	Протяжність, км	Пропускна здатність ділянки дороги, авто/добу
Київ – п. п. Нові Яриловичі	3	205,6	34528/86320 /172640
Київ – п. п. Довжанський	3	844,3	34528/86320 /172640
Київ – Одеса	3	453,3	34528/86320 /172640
Київ – Чоп	2	821,5	34528/86320
Львів – Краковець	2	65,1	27622/69055
Одеса – Мелітополь	2	624,3	27622/69055
Одеса – Рені	3	244,4	34528/86320 / 172640

Таблиця 2

**Середньозважена пропускна здатність автомобільних міжнародних транспортних коридорів України**

Назва МТК	$\Pi_{\text{МТК}}$ , авт./добу
МТК № 3	55245
МТК № 5	69056
МТК ЧЕС	55245
МТК № 9 (на відгал.)	69056 (23019)
МТК Європа-Азія	55245

Україна межує із семи європейськими державами і має найдовший сухопутний зовнішній кордон у Європі. Загальна протяжність державного кордону нині становить 6993,63 км, з них сухопутна ділянка – 5638,63 км. Використовуючи данні Державної фіскальної служби України [7] визначимо пропускну здатність пунктів пропуску з переміщенням одиниць автомобілів за добу за наступною формулою:

$$\Pi_{\text{доп}}^{n,n} = 1440 \cdot \frac{T_p}{t_{\text{мік}}} \cdot n_{\text{см}}, \quad (\text{авт. / добу}), \quad (2)$$

де  $T_p$  – розрахунковий період часу переміщення автомобільних транспортних засобів, год;

$t_{\text{мік}}$  – час проведення митних формальностей автомобільних транспортних засобів з урахуванням умов безпечного переміщення транспортного потоку, хв.

На підставі даних Державної фіскальної служби України [7] на рис.1 наведено порівняльний аналіз динаміки розрахункової пропускної здатності пунктів пропуску та фактичної інтенсивності руху для кожної із семи ділянок митного кордону України за 2018 р.



Рис. 1. Порівняльний аналіз розрахункової та фактичної пропускної здатності пунктів пропуску станом на 2018 р.

Дані рисунку 1 свідчать про те, що фактична інтенсивність руху транспортних засобів через митний кордон України на ділянках з Польщею, Словаччиною, Молдовою, Білоруссю а особливо з Росією перевищує найнижчі показники їх пропускних здатностей. Останнє пов'язано з майже двократним скороченням числа пунктів пропуску на українсько-російському кордоні.

Реалізація заходів зі збільшення пропускних можливостей автомобільних митних пунктів пропуску створить умови для швидкого та зручного перетинання державного кордону України в рамках існуючих обсягів руху автотранспортних засобів через кордон, що формуються на перспективу. Треба враховувати, що пропускну можливість може бути збільшено за рахунок зміни деяких параметрів, таких як зменшення часу на оформлення в міжнародних пунктах пропуску, збільшення кількості смуг та збільшення швидкості руху за рахунок покращання якості дорожнього полотна.

Довжина залізничної мережі МТК України становить 3162 км, з них 92,3 % – двоколіїні лінії, 77,3 % – електрифіковані, 90 % – обладнанні автоблокуванням. За останні 5 років на напрямках транспортних коридорів електрифіковано 500 км колій, реконструйовано 85 вокзалів, зросла швидкість руху поїздів. Передбачається створення залізничної мережі зі швидкості руху до 300 км на годину, новим рухомим складом та колією шириною 1435 (європейський стандарт) мм замість 1520 мм. Високошвидкісний транспорт планується використовувати для паса-

жирських і легковантажних перевезень на перспективу [6].

Відкрита залізнична поромна переправа Іллічівськ – Поті – Батумі, яка є однією з основних ланок коридору TRACECA (Європа – Закавказзя – Азія). Введена в експлуатацію друга черга зернового навантажувального комплексу в Іллічівському морському порту, що здійснює перевалку зерна в країни Південної Америки, Південно-Східної Азії, Саудівської Аравії тощо [6].

Реконструйовано значну кількість ділянок автомобільних доріг: Чоп – Львів – Київ і Нові Яриловичі – Чернігів – Київ – Одеса. Реконструкція автомобільних доріг у зоні МТК дозволила збільшити допустиму масу транспортних засобів з 36 до 40 тон. Реконструкція існуючих автомобільних доріг передбачає доведення їх параметрів до міжнародних вимог і стандартів. Додатково до існуючих споруджуються нові швидкісні автомобільні дороги здебільшого на окремих напрямках у новій смузі відведення [8].

Для забезпечення ефективної роботи транспортних коридорів важливим є створення прикордонних та митних пунктів пропуску, а також транспортно-складських комплексів для переробки вантажів, які поділяються на:

- прикордонні сухопутні, які розміщуються у Ковелі, Раві-Руській, Мостиській, Чопі, Харкові, Сумах, Чернігові;

- сухопутні (в Києві, Житомирі, Вінниці, Полтаві, Сумах, Дніпропетровську, Кіровограді, Черкасах, Сімферополі, Мелітополі, Одесі, Хмельницькому, Тернополі, Рівному, Львові, Івано-Франківську);

- водні (у Рені, Ізмаїлі, Усть-Дунайському, Білгород-Дністровському, Іллічівську, Одесі, Південному, Миколаєві, Олександрівському, Херсоні, Скадовську, Євпаторії, Бердянську, Маріуполі, Запоріжжі, Дніпропетровську, Києві).

Міжнародна транспортна система України в сучасних умовах вимагають змін в технологічній діяльності, а також заміни технічних засобів. Для цього необхідні наступні вимоги:

- зниження собівартості перевезень;
- зміна критеріїв до визначення ефективності перевезень, перехід від об'ємних до фінансово-економічних показників роботи транспорту;

- забезпечення достатньої швидкості руху транспорту;

- збереження вантажів під час перевезення;

- підвищення якості послуг на транспорті.

Особливе положення України, що дозволяє їй по праву займати місце транзитної держави, і як наслідок наявність великої кількості діючих транзитних транспортних коридорів, автомобільних магістралей міжнародного і європейського значення, великих транспортних вузлів, що концентрують у собі залізничні станції, аеропорти, річкові й морські порти, висуває підвищені вимоги до системи управління перевезеннями пасажирів і вантажів.

Як свідчить аналіз наявних даних, в разі відсутності адекватної реакції з боку української держави на очікувані в найближчі 3-4 роки зміни функціонування міжнародного ринку транспортних послуг та умов доступу до нього, в значній мірі може скоротитись частка вітчизняних автомобільних перевізників на міжнародних ринках. Останнє, в свою чергу, негативно позначиться на ситуації із втратою транзитного потенціалу країни та може призвести до суттєвого скорочення національного внутрішнього валового продукту (ВВП) держави.

Над запровадженням більш жорстких норм і стандартів щодо функціонування міжнародного ринку транспортних послуг та умов доступу наразі працюють міжнародні організації, які діють в сфері транспорту – Європейська економічна комісія ООН, Європейська Комісія ЄС, Організація з безпеки та співробітництва в Європі та Міжнародний транспортний форум. Дія нових норм і стандартів буде поширюватись як на центральноєвропейські країни, так і країни Східної та Південно-Східної Європи, Кавказу та Середньої Азії, охоплюватиме всі види внутрішнього транспорту (автомобільний, залізничний, внутрішній водний транспорт і змішані перевезення). Запровадження змін направлено на розвиток транскордонних перевезень на загальноєвропейському та трансконтинентальному ринку перевезень вантажів та пасажирів шляхом спрощення прикордонних процедур, забезпечення безпеки руху та перевезень небезпечних вантажів, підвищення екологічності та енергоефективності транспорту, відповідного функціонування транспортної інфраструктури тощо.

В значній мірі на міжнародну конкурентоспроможність вітчизняних автотранспортних підприємств впливають результати реформування системи багатосторонніх квот (дозволів) колишньої Європейській конференції міністрів транспорту (ЄКМТ) Міжнародного транспортного форуму.

Наразі виконавчими структурами цієї міжнародної організації підготовлені і затверджені започаткування нових, більш жорстких вимог допуску до системи міжнародних перевезень за системою ЄКМТ. На додаток до нині існуючої вимоги щодо якості транспортних засобів, планується запровадити кількісні критерії щодо якості вантажо-перевізників, якості водіїв та якості положень, що регулюють перевірки і санкції. Вимоги до транспортних засобів також посилюватимуться, а саме тільки три категорії транспортних засобів (тобто Євро IV, V, VI) будуть допущені до міжнародних перевезень в системі квот ЄКМТ.

Очікувані зміни функціонування міжнародного ринку транспортних послуг та умов доступу до нього потребують обов'язкової уваги з боку української держави, оскільки вони безпосередньо впливатимуть на забезпечення національних інтересів, зокрема в контексті реалізації транзитного потенціалу України.

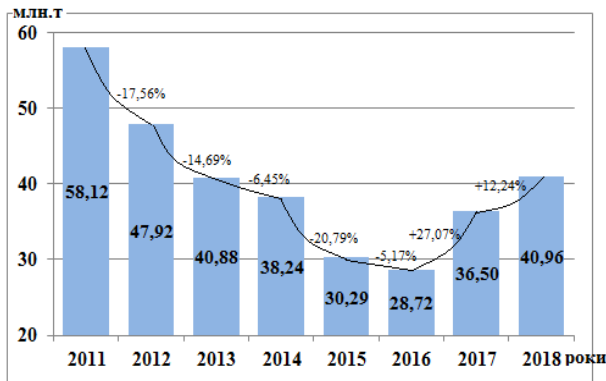


Рис. 2. Динаміка сумарних транзитних вантажних перевезень, %

Так, за даними англійського інституту «Рендел», Україна займає перше місце в Європі, третє – в Євразії й шосте – у світі за показником коефіцієнту транзитності. В контексті забезпечення реалізації транзитного потенціалу за останні 8 років суттєво зросла роль міжнародних автомобільних перевізників (приватні підприємства, об'єднані Асоціацією міжнародних автомобільних перевізників України). Якщо в період з 2011 по 2018 роки транзитні вантажопотоки територією України залізничним транспортом суттєво скоротились (на 58,53 %), то транзитні автомобільні перевезення вантажів територією України зросли в 1,68 рази [6].

На рис. 2 спостерігається з 2011 по 2016 роки тенденція до скорочення обсягів транзитних вантажопотоків на (17,56% + 14,69% + 6,45% + 20,79% + 5,17%) 64,66% і, починаючи з 2016 року їх поступове збільшення (27,07 + 12,24%) – на 39,31% за останні два роки.

До запровадження нових, більш жорстких норм і стандартів Україна підготовлена на недостатньому рівні:

- система організації міжнародних перевезень пасажирів та вантажів автомобільним транспортом є недосконалою, а в забезпеченні функціонування автомобільного транспорту відсутній системний підхід;

- рухомий склад парку автомобільного транспорту є технічно та морально застарілим, а його оновлення відбувається повільними темпами;

- рівень безпеки перевезень низький, значно гірші в порівнянні з країнами ЄС показники аварійності на автомобільному транспорті (за показником смертності від ДТП наша країна посідає п'яте місце у Європі);

- експлуатаційні характеристики вітчизняної транспортної інфраструктури не дозволяють забезпечити виконання «Європейської угоди щодо роботи екіпажів транспортних засобів, які виконують міжнародні автомобільні перевезення (ЄУТР)» (практично відсутній відповідним чином обладнаний містя для стоянок та відпочинку водіїв).

Збереження/розширення частки українських перевізників на міжнародних ринках транспортних послуг є критично важливим, оскільки зменшення їх

частки може призвести до суттєвого зменшення ВВП України.

Залучення транзитних потоків є великою комплексною проблемою, оскільки транзит є сферою міждержавної конкуренції, а в його організації беруть участь багато державних і комерційних структур, які працюють в єдиному технологічному ланцюзі. Неефективна робота хоч би одного учасника ланцюга призводить до збою усієї системи транзитних перевезень.

**Висновки.** Враховуючи вищезазначене, з метою забезпечення виконання поставлених завдань з відновлення економічного зростання й модернізації економіки країни, реалізації основних напрямків «Транспортної стратегії України на період до 2020 року» в частині забезпечення розвитку експорту транспортних послуг, ефективного використання транзитного потенціалу, з метою недопущення загроз національній безпеці держави необхідно:

1. Передбачити заходи щодо: підвищення конкурентоспроможності вітчизняного транспорту на міжнародному ринку транспортних послуг; встановлення і підтримки у рамках торгівельної і транспортної політики держави сприятливих умов для українських експортерів транспортних послуг; сприяння реалізації інтересів вітчизняних перевізників на світовому ринку транспортних послуг; створення системи пільг для придбання сучасної транспортної техніки, що забезпечить не тільки збільшення конкурентоспроможності, але і доступність цих ринків для вітчизняних операторів.

2. Розробити механізм впровадження державно-приватного партнерства для залучення приватних інвестицій, направлених на забезпечення відповідності експлуатаційних характеристик вітчизняної інфраструктури вимогам угоди ЄУТР (містя для стоянок та відпочинку водіїв);

3. Вивчити можливості та розробити відповідні заходи щодо залучення сприяння та допомоги від міжнародних транспортних організацій, направлених на розвиток національного потенціалу та вітчизняної інфраструктури.

Недостатня готовність України до запровадження нових міжнародних вимог та стандартів в транспортній сфері може спричинити скорочення присутності українських автотранспортних організацій на міжнародних транспортних ринках послуг.

Присутність українських автомобільних перевізників на міжнародних ринках є критично важливою з точки зору забезпечення національної безпеки в економічній сфері. Результати діяльності перевізників свідчать про їх значний вклад в забезпечення умов для сталого економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності національної економіки. Так, за останні 5 років міжнародні автомобільні перевізники України збільшили експорт товарів з 254 млн. дол. США до 578 млн. дол. США (на 227%) та імпорт товарів з 109 млн. дол. США до 240 млн. дол. США (на 221%).

Окрім того, згідно з офіційною статистикою

національний внутрішній валовий продукт, величина якого тим більша, чим більші обсяги експорту, в значній мірі залежить від ситуації на міжнародному ринку транспортних послуг. Останні три роки питома вага експорту транспортних послуг в загальному обсязі експорту є найбільшою і згідно з даними Державної служби статистики України складає 65-67%. Важливість вкладу вітчизняних міжнародних перевізників до ВВП набирає своєї особливої актуальності та вагомості на фоні збереження, починаючи з 2011 року, негативного сальдо зовнішньоторговельного балансу, обумовленого від'ємним сальдо зовнішньої торгівлі товарами.

Таким чином, враховуючи вищенаведене, скорочення присутності українських транспортних організацій на міжнародних транспортних ринках послуг може спричинити істотне скорочення валового внутрішнього продукту.

З огляду на існуючі вимоги, які пред'являються до методів управління перевезеннями в ТС, можна констатувати факт про наявність у транспортній галузі відповідних проблем по управлінню пасажирськими і вантажними перевезеннями.

Якнайшвидше розв'язання виниклої проблеми в управлінні перевезеннями в ТС України за допомогою розробки нових підходів, орієнтованих на використання засобів і методів сучасних прогресивних інформаційних технологій, дозволить транспорту України як галузі народного господарства, що відповідає за своєчасну, економічну й надійну доставку пасажирів і вантажів до пунктів призначення, гідно виконати покладене на нього величезне народногосподарське завдання.

### Література

- Кривенко О.К. Вплив транспортних коридорів на зовнішньоекономічну діяльність транспортних підприємств України / О.К. Кривенко, М.М. Гребельник, Ю.М. Солоденко / Вісник Національного транспортного університету. Серія "Економічні науки". Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2018, Вип. 2(41) – С. 76-81.
- Довгань В.Д. Транспортні коридори. – Львів: Видавничий дім "Панорама", 2017. – 137 с.
- Прокудін Г.С. Оптимізація міжнародних перевезень вантажів по різних комбінаціях спільної роботи всіх видів транспорту України та Західної Європи / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.С. Дудник, А.А. Дудник, О.Г. Прокудін // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT - 2018): [Збірник матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції (29-31 травня 2018 року Херсон, Україна)]. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 240–242.
- Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г.С. Прокудін. – К.: НТУ, 2006. – 224 с.
- Прокудін Г.С. Модель організації мультимодальних вантажних перевезень / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.С. Дудник, А.А. Дудник // International research and practice conference "Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences" : Conference proceedings, December, 27-28, 2017. Radom: Izdevnieciba "Baltija Publishing". – 220 p.
- Прокудін Г.С. Літературний письмовий твір наукового характеру "База даних транспортно-дорожнього комплексу України і Західної Європи": Свідчення про реєстрацію авторського права на твір / Г.С. Прокудін, О.С. Дудник, М.Г. Іщенко. – № 48532, Державна служба інтелектуальної власності України. – заяв. 30.01.2013 № 48732; реєстр. 01.04.2013. – 157 с.
- Прокудін Г.С. Комп'ютерна програма "Програмно-інструментальний комплекс оптимізації пасажирських та вантажних перевезень в транспортних системах України і Західної Європи": Свідчення про реєстрацію авторського права на твір / Г.С. Прокудін, О.С. Дудник, М.Г. Іщенко. – № 48530, Державна служба інтелектуальної власності України. – заяв. 30.01.2013 № 48730; реєстр. 01.04.2013. – 67 с.
- Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/ejeet/article/view/128907>).

### References

- Kryvenko O.K. Vplyv transportnykh korydoriv na zovnishnoekonomichnu diialnist transportnykh pidpryemstv Ukrainy / O.K. Kryvenko, M.M. Hrebelnyk, Yu.M. Solodenko / Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky". Naukovotekhnichniy zbirnyk. – K. : NTU, 2018, Vyp. 2(41) – S. 76-81.
- Dovhan V.D. Transportni korydory. – Lviv: Vydavnychiy dim "Panorama", 2017. – 137 s.
- Prokudin G.S. Optymizatsiia mizhnarodnykh perevezen vantazhiv po raznym kombinatsiiam spilnoi roboty vsikh vydyb transportu Ukrainy ta Zakhidnoi Yevropy / G.S. Prokudin, O.A. Chupailenko, O.S. Dudnyk, A.A. Dudnyk, O.G. Prokudin // Suchasni informatsiini ta innovatsiini tehnolohii na transporti (MINTT - 2018): [Zbirnyk materialiv X Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (29-31 travnia 2018 roku Kherson, Ukraina)]. – Kherson : Khersonska derzhavna morskha akademiia, 2018. – S. 240–242.
- Prokudin G.S. Modeli s metody optymizatsii perevezen u transportnykh systemakh / G.S. Prokudin. – K.: NTU, 2006. – 224 s.
- Prokudin G.S. Model ophanizatsii multymodalnykh vantazhnykh perevezen / G.S. Prokudin, O.A. Chupailenko, O.S. Dudnyk, A.A. Dudnyk // International research and practice conference "Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences" : Conference proceedings, December, 27-28, 2017. Radom: Izdevnieciba "Baltija Publishing". – 220 p.
- Prokudin G.S. Literaturnyi pysmovyi tvir naukovoho kharakteru "Baza danykh transportno-dorozhnoho kompleksu Ukrainy i Zakhidnoi Yevropy: Zvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir / G.S. Prokudin, O.S. Dudnyk M.G. Ishenko. – № 48532, Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. – zaiav. 30.01.2013 № 48732; reiestr. 01.04.2013. – 157 s.
- Prokudin G.S. Kompiuterna prohrama "Prohramnooinstrumentalnyi kompleks optymizatsii pasazhirskykh ta

vantazhnykh perevezen v transportnykh systemakh Ukrainy i Zakhidnoi Yevropy: Zvidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir / G.S. Prokudin, O.S. Dudnyk M.G. Ishenko. – № 48530, Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. – zaiav. 30.01.2013 № 48730; reiestr. 01.04.2013. – 67 s.

8. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/128907>).

**Прокудин Г.С., Чупайленко А.А., Дудник А.С., Прокудин А.Г. Пути решения проблем управления грузопотоками в транспортных системах Украины.**

*Увеличение роли грузовых перевозок в обслуживании международного грузооборота, усиление роли экспедиционной деятельности в формировании спроса и предложения в корне изменило концепции транспортного рынка. С другой стороны, создание единой международной транспортно-логистической системы и географическое положение транспортного пространства Украины в качестве международных транспортных коридоров требует отдельного анализа управления работы транспортных узлов и таможенных систем, обеспечение координации и взаимодействия транспорта и таможенных пунктов пропуска, результативности достижений научно-технического прогресса на транспорте и таможенном деле. Процесс формирования международной системы перевозок не завершился. Более того, окончательное решение ряда проблем международных перевозок и освоение новых технологий найдет свое воплощение лишь на рубеже первой четверти XXI века.*

**Ключевые слова:** грузопотоки, управления, международные транспортные коридоры, таможенные системы.

**Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Dudnik O.S., Prokudin O.G. Ways to solve the problems of cargo traffic management in transport systems of Ukraine.**

*According to official statistics, the national gross domestic product, the greater the value of which, the greater the volume of exports, depends to a large extent on the situation on the international market for transport services. In the last three years, the share of export of transport services in the total volume of export is the largest and according to the State Statistics Service of Ukraine is 65-67%.*

*Thus, given the above, the reduction of the presence of Ukrainian transport organizations in the international*

*transport markets of services can lead to a significant reduction of the gross domestic product.*

*Considering the existing requirements for methods of traffic management in transport systems, it is possible to state the fact that there are appropriate problems in the transport industry for the management of passenger and freight traffic.*

*As the fastest solution to the problem arising in the management of transportation in the transport systems of Ukraine through the development of new approaches, focused on the use of modern advanced technologies and methods, will allow the transport of Ukraine as a branch of the economy, responsible for timely, economic and reliable delivery of passengers and cargo to destinations, worthy to fulfill the enormous national economic task assigned to it.*

*In order to restore economic growth and modernize the country's economy, with regard to ensuring the development of export of transport services, efficient use of transit potential, the following measures should be envisaged in order to prevent threats to the national security of the state.*

*To increase the competitiveness of domestic transport in the international market of transport services: establishment and support within the framework of the state's trade and transport policy of favorable conditions for Ukrainian exporters of transport services; promoting the realization of interests of domestic carriers in the world market of transport services; creation of a system of privileges for the purchase of modern transport equipment, which will provide not only increase of competitiveness, but also availability of these markets for domestic operators.*

*To attract private investment, develop mechanisms for implementing public-private partnerships aimed at ensuring compliance of the operational characteristics of domestic infrastructure with international requirements.*

*Develop appropriate measures to attract assistance and assistance from international transport organizations aimed at developing national capacity and national infrastructure.*

**Keywords:** cargo flows, management, international transport corridors, transport system, customs systems.

**Прокудин Г.С.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: [p\\_g\\_s@ukr.net](mailto:p_g_s@ukr.net)

**Чупайленко О.А.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: [dozentalexey@gmail.com](mailto:dozentalexey@gmail.com)

**Дудник О.С.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: [alex\\_ds@ukr.net](mailto:alex_ds@ukr.net)

**Прокудин О.Г.** – к.т.н., доцент кафедри транспортного права та логістики Національного транспортного університету, e-mail: [al\\_pro@ukr.net](mailto:al_pro@ukr.net)

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-40-46>

УДК 621.547

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ВИХРЕКАМЕРНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ

Роговой А.С.

## THE INVESTIGATION OF THE VORTEX CHAMBER FORM INFLUENCE ON THE VORTEX CHAMBER SUPERCHARGERS OPERATION PARAMETERS

Rogovyi A.S.

*На основе математического моделирования путем решения уравнений Рейнольдса с использованием SST-модели турбулентности выявлено влияние формы вихревой камеры вихрекамерного нагнетателя на его особенности работы и энергетические характеристики. Получено, что рациональной формой камеры является классическая цилиндрическая вихревая камера. Применение формы вихревой камеры отличной от классической приводит к снижению КПД на величину от 20 до 30%. Это происходит за счет значительного снижения коэффициента эжекции нагнетателя. Локальное уменьшение высоты вихревой камеры приводит к столкновению перекачиваемых потоков, что уменьшает расход всасываемой жидкости и уменьшает КПД. Локальное увеличение высоты вихревой камеры приводит к увеличению трения потока и к большим потерям энергии в вихревой камере.*

**Ключевые слова:** численный расчет, вихрекамерный нагнетатель, струйная техника, математическое моделирование, форма вихревой камеры

**Введение.** Во многих отраслях промышленности перекачивание твердых абразивных частиц вызывает быстрые темпы износа оборудования, прежде всего, насосного [1]. На сегодняшний день, для перекачивания твердых частиц с помощью жидкости и газа чаще используют динамические насосы. Абразивное изнашивание уплотнений и рабочих органов насосов приводит к ухудшению энергетических характеристик и к значительному снижению ресурса насосного оборудования, что требует остановки промышленного производства и замены деталей [2]. Резервы решения проблемы улучшения показателей надежности и долговечности за счет поиска путей модернизации центробежных насосы практически исчерпаны. Основные два пути модернизации – это использование более износоустойчивых материалов и улучшение геометрии проточной части насоса с целью уменьшения контакта абразивных частиц с рабочими органами [3]. Оба пути улучшения приводят к увеличению финансовых за-

трат на эксплуатацию гидротранспортных установок. Поэтому, на наш взгляд, возможным решением проблем повышения надежности и долговечности насосного оборудования при транспортировании твердых частиц является использование средств струйной техники. Классические струйные нагнетатели имеют довольно низкие показатели эффективности рабочего процесса [4]. Так, КПД прямооточного струйного насоса не превышает 30 %, что сдерживает распространение струйной техники для перекачивания твердых сыпучих сред. Использование положительных свойств струйных и центробежных насосов позволило создать новый тип струйных нагнетателей с вихревой камерой – вихрекамерные насосы [5, 6]. Эти насосы, в отличие от струйных прямооточных, позволяют перекачивать твердые абразивные среды с большей эффективностью [7].

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [6-10] приведены результаты численных и экспериментальных исследований вихрекамерных нагнетателей на различных средах. В работе [7] показано, что эффективность перекачивания твердых сред с помощью вихрекамерного нагнетателя в два раза выше, чем с помощью прямооточного струйного эжектора. В работе [10] показана оптимизация геометрических параметров насоса, однако влияние формы вихревой камеры на энергетические характеристики и особенности течения в камере насоса осталась не исследованной.

Известно, что форма вихревой камеры довольно сильно влияет на показатели работы вихревых устройств, таких как: вихревые клапаны [11], циклоны, вихревые трубы и др. [12-14]. Исследований влияния формы вихревой камеры на показатели работы вихрекамерных нагнетателей на сегодня проведено еще не было.

Средства вычислительной гидромеханики и трехмерного моделирования [15, 16] позволяют значительно ускорить процесс исследования влияния

геометрии на основные параметры течения жидкости внутри проточной части [17-20]. Однако, их применение требует предварительной верификации используемого программного обеспечения для решения данного класса задач. Верификация программного комплекса OpenFoam для решения задач течения в вихрекамерном нагнетателе приведено в работах [10, 21, 22].

**Целью работы** является оценка влияния формы вихревой камеры вихрекамерного нагнетателя на его энергетические характеристики и особенности гидродинамики.

**Результаты исследований.** При эксплуатации вихрекамерного нагнетателя можно реализовать два рабочих процесса: с дренажным каналом [8] и без [5, 6]. В данной статье рассмотрена работа вихрекамерного нагнетателя без дренажного канала. На рис. 1 показана принципиальная схема вихрекамерного нагнетателя и исследованные в работе формы вихревой камеры.

Активный поток поступает в вихревую камеру и создает вращающийся вокруг оси вихревой камеры поток с присущими ему гидродинамическими

особенностями: падение давления вблизи оси и повышение давления на периферии. За счет перепада давлений перекачиваемый поток всасывается в вихревую камеру и перемещается на периферию камеры, приобретая кинетическую и потенциальную энергию. Отношение мощностей перекачиваемого и активного потоков формирует коэффициент полезного действия вихрекамерного нагнетателя.

Анализ примененных моделей турбулентности для расчетов вихревых устройств показывает, что оптимальной по затраченному времени на расчет и точностью прогнозирования гидродинамических параметров является SST-модель турбулентности Ментера, которая сегодня входит почти во все прикладные пакеты численного моделирования течений жидкости и газа [23, 24]. Однако, для более точного прогнозирования вакуума вблизи оси лучше применять коррекцию модели турбулентности для кривизны линий тока и вращения потока [21, 24, 25]. В данном исследовании тоже была использована SST-модель турбулентности с поправкой на кривизну линий тока.

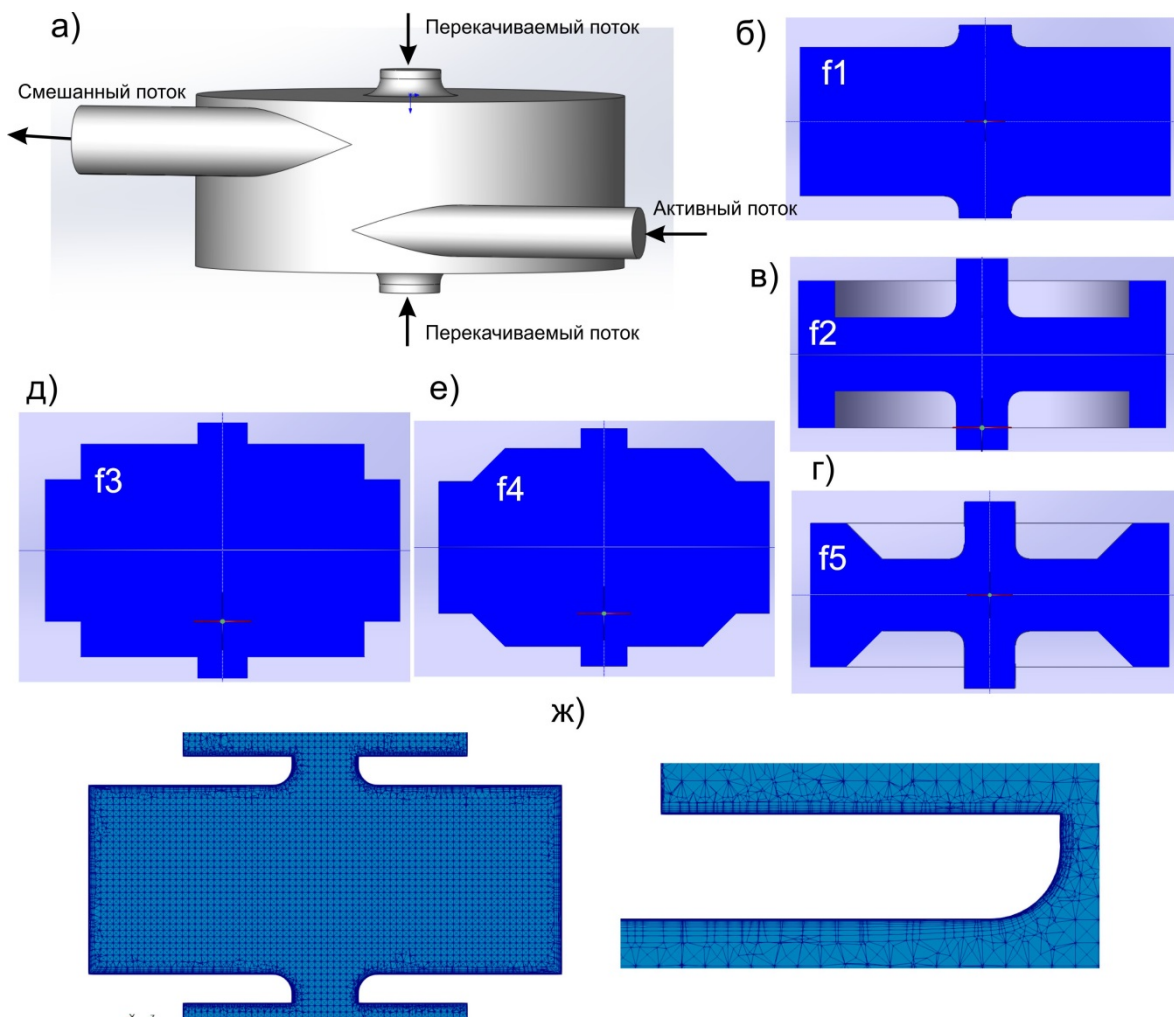


Рис. 1. Вихрекамерный нагнетатель: а – общая схема; б-е – исследованные вариации формы вихревой камеры; ж – сеточное разбиение

В предыдущих исследованиях было проанализировано влияние SST-модели турбулентности на точность полученных результатов в сравнении с экспериментальными данными работы вихрекамерного нагнетателя [10, 21]. Поэтому, эту математическую модель можно считать верифицированной. Для расчетов использован программный комплекс OpenFoam, позволяющий получить достоверные результаты и распространяется на условиях лицензии GPL версии 2 Фонда Свободного Программного Обеспечения (FSF) [26-28].

Для математического моделирования использовалась модель, состоящая из уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, модели турбулентности с поправкой на кривизну линий тока и уравнения неразрывности [10, 23, 25].

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu_{ef}}{\rho} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu_{ef} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \beta^* \rho k \omega; \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu_{ef} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) - \rho \beta \omega^2 + Cd_{\omega} + \alpha \frac{\rho}{\mu_t} P_k. \quad (4)$$

Где  $F_i$  – проекции вектора массовых сил на оси координат;  $p$  – гидродинамическое давление;  $\rho$  – плотность;  $k$  – кинетическая энергия турбулентных пульсаций;  $x_j$  – декартовы координаты;  $u_j$  – проекции скорости в декартовой системе координат;  $\mu_{ef} = \mu + \mu_t$  – эффективная вязкость;  $\mu_t$  – турбулентная вязкость;  $\mu$  – молекулярная вязкость;  $P_k$  – генерационный член;  $Cd_{\omega}$  – перекрестный член;  $\alpha, \beta, \beta^*$  – эмпирические константы SST модели;  $t$  – время;  $\omega$  – частота турбулентных пульсаций.

При математическом моделировании проведены исследования влияния размера сеточного разбиения на результаты [19] (рис. 2). Исследованы шесть сеточных разбиений с таким количеством элементов: 0,5 млн; 2 млн; 4 млн; 7 млн; 10 млн и 15 млн. Получено, что начиная с 4 млн. элементов интегральные параметры расчета, а именно: давление и расход жидкости в каналах практически перестают меняться, поэтому принято решения использовать сетки с 4 млн. элементов. На рис. 2 приведено влияние количества сеточных элементов на расчет расхода в выходном канале. Расход отнесен к расходу, полученному при использовании сетки в 15 млн элементов. Сетки построены таким образом, чтобы обеспечивать значение параметры призматического

приграничного слоя  $y^+ < 2$  [29, 30]. Расчеты завершались при выполнении двух условий: уменьшение невязок решения всех уравнений до значений  $10^{-5}$  и обеспечение постоянного по итерациям расхода в выходном канале. Т.е., расход должен меняться не более, чем на 0,1 % за 10 итераций, когда определено, что характер изменения расхода во время расчета колебательный [21, 31].

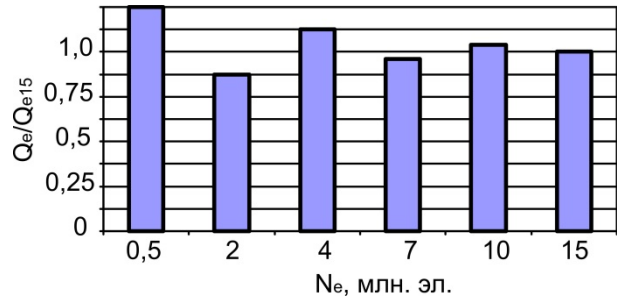


Рис. 2. Влияние сеточного разбиения на определение расхода на выходе из устройства

На рис. 3 представлено влияние формы вихревой камеры на распределение давления вдоль радиуса. Конструкция с формой вихревой камеры f4 имеет максимальные значения вакуума вблизи оси. Распределение давления определено посередине вихревой камеры. Все давления отнесены к соответствующим гидростатическим давлениям в канале питания (активный поток). Конструкции с увеличенной высотой вихревой камеры имеют большие значения вакуума вблизи оси, что можно объяснить практически завершающимся процессом смешения перекачиваемых потоков с вращающимся в вихревой камере.

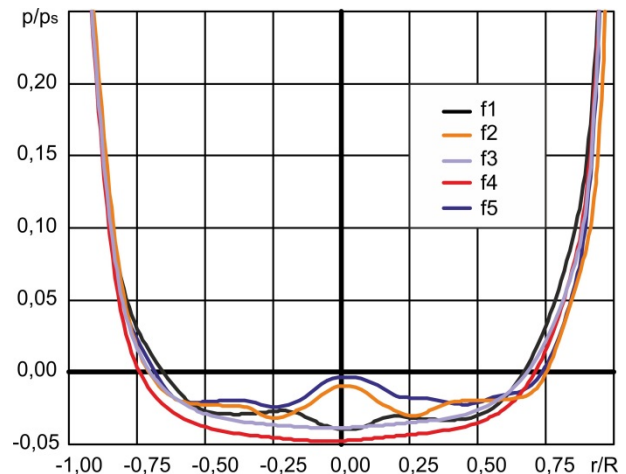


Рис. 3. Распределение давления вдоль радиуса вихревой камеры для исследованных вариаций формы

На рис. 4 представлены расчетные картины течения жидкости в вихрекамерном нагнетателе с разными формами вихревой камеры.

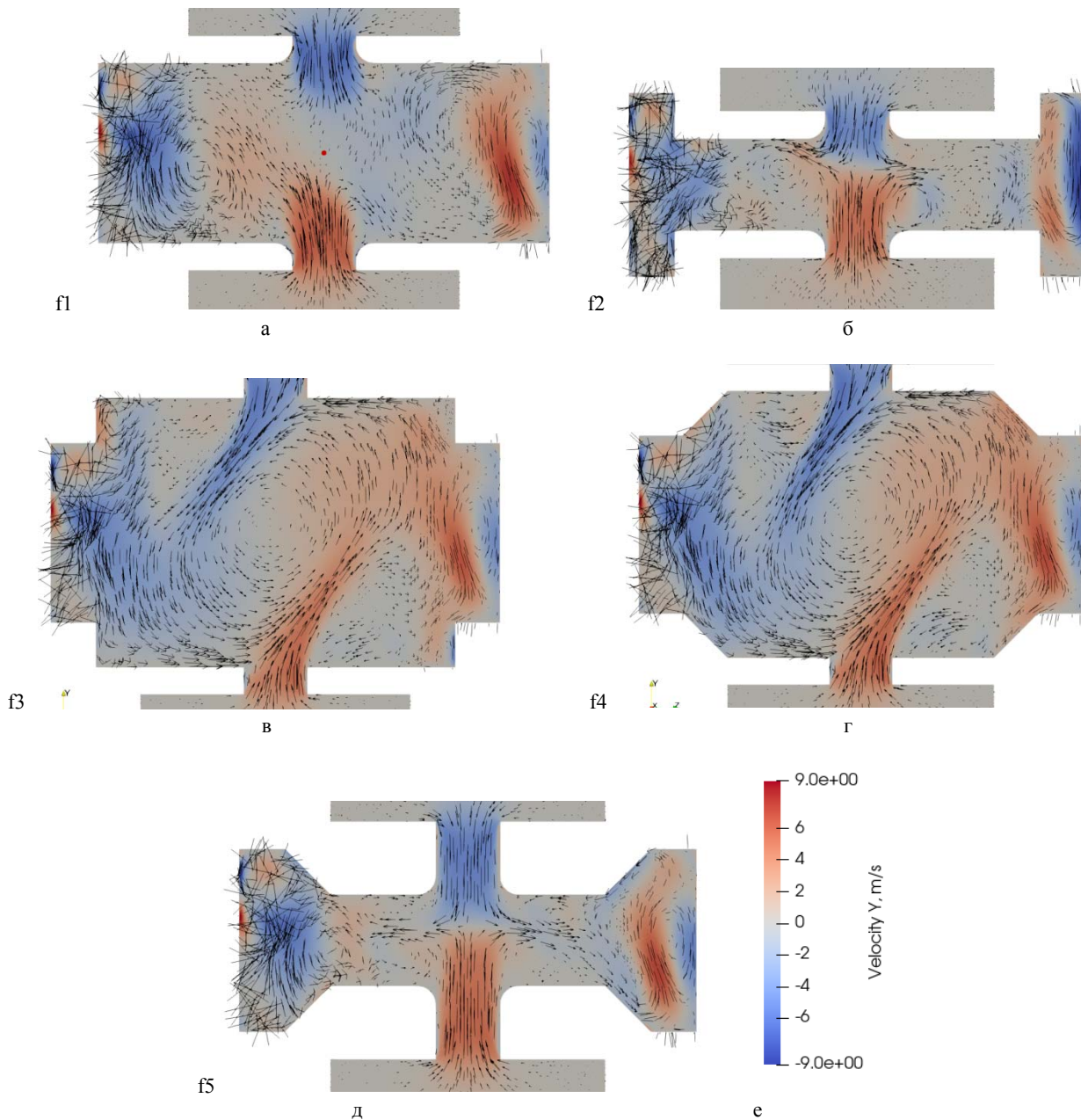


Рис. 4. Распределение осевой скорости в вихревой камере нагнетателя:  
 а-д – исследованные вариации формы вихревой камеры; е – общая для всех рисунков шкала измерения скорости

Форма камеры влияет на взаимодействие осевых потоков, всасываемых нагнетателем, что, в свою очередь, влияет на энергетические показатели работы. Локальное уменьшение высоты вихревой камеры приводит к столкновению перекачиваемых потоков, что уменьшает расход всасываемой жидкости и уменьшает КПД. С другой стороны, увеличение высоты вихревой камеры приводит к увеличению трения потока и к большим потерям энергии в вихревой камере, что также приводит к уменьшению общего КПД вихрекамерного нагнетателя.

На рис. 5 представлено сравнение энергетических показателей работы вихрекамерных нагнетателей с вихревой камерой разной формы. По КПД, относительному расходу перекачиваемого потока (ко-

эффициент эжекции) и по относительному давлению на выходе из нагнетателя наилучшей конструкцией является конструкция f1. Все показатели отнесены к наилучшим показателям конструкции f1. Т.е. значения КПД, показанные на рис. 5 для конструкций f2-f5 показаны по отношению к КПД конструкции f1.

Применение формы вихревой камеры отличной от конструкции f1 приводит к снижению КПД на величину от 20 до 30%. Это происходит за счет значительного снижения коэффициента эжекции нагнетателя (от 15 до 22 %). При этом снижение давления на выходе из нагнетателя происходит незначительное: от 5 до 11 %. Снижение расхода всасывания в устройство для конструкций f2, f5 происходят за

счет столкновения перекачиваемых потоков и потери части их энергии, что может не происходить для вихрекамерных нагнетателей, реализовывающих другой рабочий процесс: работа нагнетателя с использованием дренажного канала.

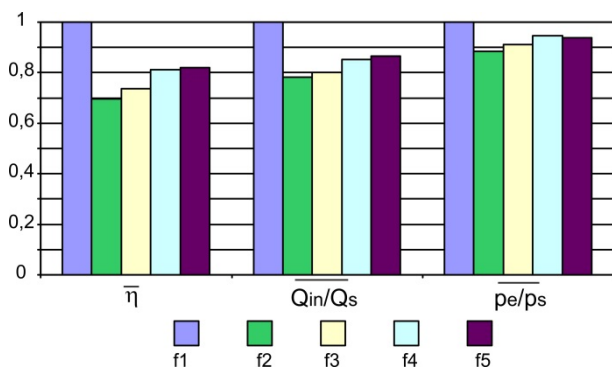


Рис. 5. Сравнение вариаций формы вихревой камеры по основным энергетическим показателям работы вихрекамерного нагнетателя

Так как взаимодействие всасываемых потоков зависит от высоты вихревой камеры и от ее формы, то второй рабочий процесс вихрекамерного нагнетателя может иметь отличающиеся от данного исследования результаты. Эта станет темой дальнейших исследований. Также дополнительного исследования требует определение оптимальной высоты вихревой камеры.

#### Выводы:

1. На основе математического моделирования путем решения уравнений Рейнольдса с использованием SST-модели турбулентности выявлено влияние формы вихревой камеры вихрекамерного нагнетателя на его особенности работы и энергетические характеристики. Получено, что рациональной формой камеры является классическая цилиндрическая вихревая камера.

2. Применение формы вихревой камеры отличной от конструкции f1 приводит к снижению КПД на величину от 20 до 30%. Это происходит за счет значительного снижения коэффициента эжекции нагнетателя (от 15 до 22 %).

3. Локальное уменьшение высоты вихревой камеры приводит к столкновению перекачиваемых потоков, что уменьшает расход всасываемой жидкости и уменьшает КПД. С другой стороны, локальное увеличение высоты вихревой камеры приводит к увеличению трения потока и к большим потерям энергии в вихревой камере.

#### Литература

- Chernetskaya-Beletskaya, N., Rogovyi, A., Shvornikova, A., Baranov, I., Miroshnikova, M., Bragin, N., & Chernetska-Biletskaya, N. Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters. 2018. № 7 (4.3). pp. 240-245.

- Ванеев, С. М., Евтушенко, А. А., Сапожников, С. В., & Соляник, В. А. Повышение энергоэффективности насосного оборудования горно-обогатительных комбинатов. Вісник СумДУ. 2008. №2. С. 126-134.
- Tarodiya R., Gandhi V. Hydraulic performance and erosive wear of centrifugal slurry pumps-A review. Powder Technology. vol. 305. 2018. pp. 27-38.
- Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 3-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.
- Роговой А.С. Концепція створення вихорокамерних нагнітачів та принципи побудови систем на їх основі. Вісник СХУ ім. В.Даля. №3 (233). 2017. С. 168-173.
- Семин, Д.А., Левашов, А.Н., Левашов, Я.Н., Роговой, А.С. Экспериментальные исследования рабочих характеристик вихрекамерных нагнетателей с двухсторонним всасыванием. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки, 16, т. 2, 2016. С. 65-74.
- Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger. Energy. № 163. 2018. pp. 52-60.
- Сьомін Д.О., Роговий А.С. Вихорокамерні нагнітачі: монографія. Харків: ФОП Мезина В.В. 2017. 204 с.
- Rogovyi, A., Khovansky, S., Grechka, I., Pitel, J. The Wall Erosion in a Vortex Chamber Supercharger Due to Pumping Abrasive Mediums. In Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. Springer, Cham. 2019. pp. 682-691.
- Роговий А. С. Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.05.17 / Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. Харків, 2017. 364 с.
- Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Ремень В.І., Мальцев Я.І. Сполучення вихрових виконавчих пристроїв із сучасними системами управління. Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2002. 174 с.
- Syomin D., Pavljuchenko V., Maltsev Y., Rogovoy A., Dmitrienko D. Vortex executive devices in control systems of fluid mediums. Polish academy of sciences branch in Lublin. TEKA. Commission of motorization and power industry in agriculture. Vol. 9., 2009. pp. 57-62.
- Matveev K.I., Leachman J. Numerical investigation of vortex tubes with extended vortex chambers. International Journal of Refrigeration. 2019. 108. pp. 145-153.
- Rafiee S.E., Sadeghiazad M.M. Three-dimensional CFD simulation of fluid flow inside a vortex tube on basis of an experimental model-The optimization of vortex chamber radius. International Journal of Heat and Technology. 2016. 34(2). pp. 236-244.
- Krol O.S., Sokolov V.I. 3D Modeling Of Machine Tools For Designers: monograph. Sofia: Prof. Marin Drinov Academic Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences. 2018. 140 p.
- Krol O., Sokolov V. 3D modelling of angular spindle's head for machining centre. In Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1278, No.1, pp. 012002.
- Sokolov V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems. In International Conference on Engineering Research and Applications. 2018. pp. 278-283.
- Mochalin I., Shi-Ju E., Wang D., Cai J.C. Numerical study of heat transfer in a Taylor-Couette system with forced radial throughflow. International Journal of Thermal Sciences. 2020. 147. pp. 106142.
- Besagni G., Inzoli F. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: Screening of turbulence modeling approaches. Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 117. pp. 122-144.

20. Blocken B. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Building and Environment*. 2015. 91. 219-245.
21. Rogovyi A.S. Verification of Fluid Flow Calculation in Vortex Chamber Superchargers. *Автомобильный транспорт*. 2016. Вып. 39. С. 39-46.
22. Rogovyi A.S., Voronova Ye. Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers. *Автомобильный транспорт*. 2016. Вып. 38. С. 93-98.
23. Menter F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA Journal*. – 1994. V. 32(8). pp. 1598-1605.
24. Alahmadi Y.H., Nowakowski A.F. Modified shear stress transport model with curvature correction for the prediction of swirling flow in a cyclone separator. *Chemical Engineering Science*. 2016. Vol. 147. pp. 150-165.
25. Smirnov P.E., Menter F.R. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart–Shur correction term. *Journal of Turbomachinery*. 2009. Vol. 131. №. 4. pp. 041010.
26. Jasak H. OpenFOAM: open source CFD in research and industry. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2009. 1(2). pp. 89-94.
27. Papakonstantinou T., Grigoropoulos G., Papadakis G. Marine propeller optimization using open-source CFD In Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies: Proceedings of the 18th International Congress of the Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2019), September 9-11, 2019, Varna, Bulgaria, P.252.
28. Huang S., Wei Y., Guo C., Kang W. Numerical Simulation and Performance Prediction of Centrifugal Pump's Full Flow Field Based on Open-FOAM. *Processes* 2019. 7(9). P. 605.
29. Prakash A., Laurendeau E. Consistent surface roughness extension for wall functions. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2020. Vol.82. pp. 108552.
30. Matyushenko A. A., Stabnikov A. S., Garbaruk A. V. Criteria of computational grid generation for turbulence models taking into account laminar-turbulent transition. In *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1400, No. 7. pp. 077047.
31. Han X., Sagaut P., Lucor D. On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions, *Comput. Fluids*. 2012. Vol. 61. pp. 2-5.
5. Rogovyi A.S. Kontsepsiya stvorenniya vykhorokamernykh nahnitachiv ta pryntsyipy pobudovy system na yikh osnovi. *Visnyk SNU im. V.Dalya*. #3 (233). 2017. S. 168-173.
6. Syomin, D.A., Levashov, A.N., Levashov, Ya.N., Rogovyi, A.S. Eksperimental'nye issledovaniya rabochikh kharakteristik vikhrekamernykh nagnetateley s dvukhstoronnim vsasyvaniem. *Pratsi Tavriys'koho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 16, t. 2, 2016. C. 65-74.
7. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger. *Energy*. № 163. 2018. pp. 52-60.
8. Syomin D.O., Rogovyi A.S. Vykhorokamerni nahnitachi: monohrafiya. Kharkiv: FOP Mezina V.V. 2017. 204 s.
9. Rogovyi, A., Khovanskyi, S., Grechka, I., Pitel, J. The Wall Erosion in a Vortex Chamber Supercharger Due to Pumping Abrasive Mediums. In *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. Springer, Cham. 2019. pp. 682-691.
10. Rogovyi A.S. Rozrobka teoriiyi ta metodiv rozrakhunku vykhorokamernykh nahnitachiv : dys. ... d-ra tekhn. nauk : spets. 05.05.17 / Kharkivs'kyi nats. avtomobil'no-dorozhnyi un-t. Kharkiv, 2017. 364 s.
11. Syomin D.O., Pavlyuchenko V.O., Remen' V.I., Mal'tsev Ya.I. Spoluchennya vykhrovykh vykonavchykh prystroyiv iz su-chasnymy systemamy upravlinnya. *Luhans'k: Vydvo SNU im. V.Dalya*, 2002. 174 s.
12. Syomin D., Pavljuchenko V., Mal'tsev Y., Rogovoy A., Dmitrienko D. Vortex executive devices in control systems of fluid mediums. *Polish academy of sciences branch in Lublin. TEKA. Commission of motorization and power industry in agriculture*. Vol. 9., 2009. pp. 57-62.
13. Matveev K.I., Leachman J. Numerical investigation of vortex tubes with extended vortex chambers. *International Journal of Refrigeration*. 2019. 108. pp. 145-153.
14. Rafiee S.E., Sadeghiazad M.M. Three-dimensional CFD simulation of fluid flow inside a vortex tube on basis of an experimental model-The optimization of vortex chamber radius. *International Journal of Heat and Technology*. 2016. 34(2). pp. 236-244.
15. Krol O.S., Sokolov V.I. 3D Modeling Of Machine Tools For Designers: monograph. Sofia: Prof. Marin Drinov Academic Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences. 2018. 140 p.
16. Krol O., Sokolov V. 3D modelling of angular spindle's head for machining centre. In *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1278, No.1, pp. 012002.
17. Sokolov V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems. In *International Conference on Engineering Research and Applications*. 2018. pp. 278-283.
18. Mochalin I., Shi-Ju E., Wang D., Cai J.C. Numerical study of heat transfer in a Taylor-Couette system with forced radial throughflow. *International Journal of Thermal Sciences*. 2020. 147. pp. 106142.
19. Besagni G., Inzoli F. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: Screening of turbulence modeling approaches. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 117. pp. 122-144.
20. Blocken B. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Building and Environment*. 2015. 91. 219-245.
21. Rogovyi A.S. Verification of Fluid Flow Calculation in Vortex Chamber Superchargers. *Автомобильный транспорт*. 2016. Вып. 39. С. 39-46.

#### References

1. Chernetskaya-Beletskaya, N., Rogovyi, A., Shvornikova, A., Baranov, I., Miroshnikova, M., Bragin, N., & Chernetska-Biletskaya, N. Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters. 2018. № 7 (4.3). pp. 240-245.
2. Vaneev, S. M., Evtushenko, A. A., Sapozhnikov, S. V., & Solyanik, V. A. Povyshenie energoefektivnosti nasosnogo oborudovaniya gornoobogatitel'nykh kombinatov. *Visnyk SumDU*. 2008. №2. S. 126-134.
3. Tarodiya R., Gandhi B. Hydraulic performance and erosive wear of centrifugal slurry pumps-A review. *Powder Technology*. vol. 305. 2018. pp. 27-38.
4. Sokolov E.Ya., Zinger N.M. *Struynye apparaty*. 3-e izd., pererab. M.: Energoatomizdat, 1989. 352 s.

22. Rogovyi A.S., Voronova Ye. Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers. Автомобильный транспорт. 2016. Вып. 38. С. 93–98.
23. Menter F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA Journal. – 1994. V. 32(8). pp. 1598-1605.
24. Alahmadi Y.H., Nowakowski A.F. Modified shear stress transport model with curvature correction for the prediction of swirling flow in a cyclone separator. Chemical Engineering Science. 2016. Vol. 147. pp. 150-165.
25. Smirnov P.E., Menter F.R. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart–Shur correction term. Journal of Turbomachinery. 2009. Vol. 131. №. 4. pp. 041010.
26. Jasak H. OpenFOAM: open source CFD in research and industry. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2009. 1(2). pp. 89-94.
27. Papakonstantinou T., Grigoropoulos G., Papadakis G. Marine propeller optimization using open-source CFD In Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies: Proceedings of the 18th International Congress of the Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2019), September 9-11, 2019, Varna, Bulgaria, P.252.
28. Huang S., Wei Y., Guo C., Kang W. Numerical Simulation and Performance Prediction of Centrifugal Pump's Full Flow Field Based on OpenFOAM. Processes 2019. 7(9). P. 605.
29. Prakash A., Laurendeau E. Consistent surface roughness extension for wall functions. International Journal of Heat and Fluid Flow. 2020. Vol.82. pp. 108552.
30. Matyushenko A. A., Stabnikov A. S., Garbaruk A. V. Criteria of computational grid generation for turbulence models taking into account laminar-turbulent transition. In Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1400, No. 7. pp. 077047.
31. Han X., Sagaut P., Lucor D. On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions, Comput. Fluids. 2012. Vol. 61. pp. 2–5.

**Роговий А.С. Дослідження впливу форми вихрової камери на параметри роботи вихорокамерного нагнітача.**

На основі вирішення рівнянь Нав'є-Стокса, осереднених за Рейнольдсом виявлено вплив форми вихрової камери вихорокамерного нагнітача на його особливості роботи й енергетичні характеристики. Отримано, що раціональною формою камери є класична циліндрична вихрова камера. Застосування форми вихрової камери відмінної від класичної конструкції приводить до зниження ККД на величину від 20 до 30%. Це відбувається за рахунок значного зниження коефіцієнта ежекції нагнітача (від 15 до 22 %). Локальне зменшення висоти вихрової камери приводить до зіткнення потоків, що перекачуються, що зменшує витрату всмоктуваної рідини й зменшує ККД. З іншого боку, локальне збільшення висоти ви-

хрової камери приводить до збільшення тертя потоку й до більших втрат енергії у вихровій камері.

**Ключові слова:** чисельний розрахунок, вихорокамерний нагнітач, струминна техніка, математичне моделювання, форма вихрової камери

**Rogovyi A.S. The investigation of the vortex chamber form influence on the vortex chamber superchargers operation parameters.**

*Pumping solid abrasive particles in many industries is causing rapid wear on pumping equipment. The abrasive wear of the seals and the working parts of the dynamic pumps leads to energy performance degradation and to the significant reduction in the lifetime. Classic jet superchargers have fairly low workflow performance. The efficiency of the direct-flow jet pump does not exceed 30%. It contains the spread of jet technology for pumping bulk solids. Vortex chamber pumps are new pumps created on the basis of using the positive properties of jet and centrifugal pumps. These pumps, in contrast to direct-flow jet, allow pumping hard abrasive mediums with greater efficiency.*

*It is known that the shape of the vortex chamber rather strongly affects the performance of vortex devices, such as vortex valves, cyclones, vortex tubes, etc.*

*The aim of the work is to assess the influence of the vortex chamber form of the vortex chamber supercharger on its energy characteristics and hydrodynamic parameters.*

*The mathematical model has consisted of the Navier-Stokes equations averaged by Reynolds, a turbulence model adjusted for the curvature of streamlines, and continuity equation. For calculations, the OpenFoam software package was used, which allows to obtain reliable results and is distributed under the terms of the GPL version 2 license of the Free Software Foundation (FSF).*

*The shape of the vortex chamber affects the interaction of axial flows sucked by the supercharger, which, in turn, affects the energy performance.*

*The influence of the vortex chamber form of the vortex chamber supercharger on its operation parameters and energy characteristics is discovered. It was found that the classical cylindrical vortex chamber is the rational form of the vortex chamber. The use of a vortex chamber form different from classical design leads to a decrease in efficiency by 20 to 30%. This is due to a significant decrease in the ejection coefficient of the supercharger (from 15 to 22%). A local decrease in the height of the vortex chamber leads to a collision of the pumped flows, which reduces the flow rate of the suction fluid and reduces the efficiency. On the other hand, a local increase in the height of the vortex chamber leads to an increase in the friction of the flow and to energy loss in the vortex chamber.*

**Keywords:** numerical calculation, vortex chamber supercharger, jet technology, mathematical modeling, form of the vortex chamber.

**Роговий А.С.** – д.т.н., доц., професор кафедри теоретичної механіки та гідравліки, ХНАДУ, м. Харків, Україна.

Стаття подана 05.04.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-47-56>

УДК 629/ 629.422.1/2/ 93/94

## ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ БУДІВНИЦТВА ТА РОЗВИТОК ПЕРСПЕКТИВНИХ ПРОЄКТІВ ПАРОВОЗІВ СЕРІЇ ФД НА ЛУГАНСЬКОМУ ПАРОВОЗОБУДІВНОМУ ЗАВОДІ (1925 – 1941 рр.)

Рубан М.Ю., Фомін А.В.

## HISTORICAL PREREQUISITES OF THE CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT OF PROSPECTIVE PROJECTS F FD SERIES LOCOMOTIVES AT THE LUHANSK STEAM LOCOMOTIVE ENGINEERING PLANT (1925 – 1941)

Ruban M.Y., Fomin A.V.

У статті здійснено спробу дослідити історичні передумови створення та обставини серійного будівництва товарного паровозу типу (1-5-1) легендарної серії ФД на Луганському паровозобудівному заводі, відзначеному золотою медаллю та дипломом на всесвітній виставці в Парижі в 1938 р. Проаналізовано фактори, які вплинули на формування технічного завдання на розробку перспективних локомотивів для товарного парку залізниць СРСР періоду Індустріалізації, технічні особливості та модифікації альтернативних конструкцій імпортованих паровозів. Досліджена ступінь залучення до виробництва серії ФД іноземних технологій, фахівців та матеріалів. Зазначається, що в ході виробництва паровози серії ФД зазнавали постійного конструктивного вдосконалення при виготовленні низки унікальних експериментальних дослідних зразків. Простежено виникнення назви серії – «ФД» та роль ОДПУ у її створенні. Розглянуто обставини формування стратегії розвитку товарного паровозного парку залізниць СРСР 1925 – 1934 рр. Висвітлено процес перетворення Луганського паровозобудівного заводу на провідне підприємство країни з виробництва надпотужного тягового рухомого складу американського типу на паровій тязі. Встановлено, що, у цілому, паровози серії ФД можна охарактеризувати як технологічно складні у виробництві та ремонті, потужні, високопродуктивні локомотиви з відносно простим рушійним механізмом, втім, неекономічним паровим котлом і слабкою екіпажною частиною. Протягом другої половини 1930-х рр. доля використання паровозів серії ФД у товарному паровозному парку залізниць СРСР безперервно зростала, оскільки їх конструкція дотримувала оптимальний компроміс між високими потужнісними і швидкісними характеристиками локомотиву та прийнятному навантаженні рушійних осей на наявну верхню будову колії більшої вантажонапруженої магістралі СРСР. Доведено, що історичний досвід становлення вітчизняної науково-виробничої бази магістрального паровозобудування потребує свого належного осмислення в контексті сучасних тенденцій імпорту тя-

гового рухомого складу зі спробою подальшої локалізації його виробництва в Україні.

**Ключові слова:** Луганський паровозобудівний завод, індустріалізація, реконструкція, промисловість, транспорт, залізниця, паровози серії ФД.

**Вступ.** У середині 1920-х рр. радянським партійним керівництвом було прийнято рішення щодо реконструкції Луганського паровозобудівного заводу з метою розвитку його виробничих потужностей до рівня найбільших американських паровозобудівних заводів: ALCO, Baldwin та Lima. У квітні 1926 р. була затверджена програма реконструкції підприємства, після чого розпочалося проектування нових виробничих площ, розрахованих на можливість виробництва надпотужних паровозів типу (1-5-2) «Texas» з осьовим навантаженням на рейки 23 – 27 т.

**Постановка проблеми.** Реконструкція заводу з встановленням на ньому новітнього імпортованого обладнання при залученні іноземних фахівців (понад 80 осіб на 1932 р.) [5, с. 227] тривала протягом 1928 – 1933 рр., і вже 27 листопада 1933 р. підприємство було офіційно введено в експлуатацію. На тлі виконання першого п'ятилітнього плану економічного розвитку СРСР на рівні керівництва Народного комісаріату шляхів велись гострі дискусії щодо майбутнього типу товарного паровоза, здатного повністю задовольнити транспортні потреби народного господарства. Ще до завершення реконструкції колектив Луганського заводу спромігся побудувати перші дослідні товарні паровози нової серії ФД, а незабаром, у відносно короткі терміни, налагодити їх крупносерійне виробництво. Також примітно, що саме в Луганську був споруджений дослідний паровоз АА типу (2-7-2), який розглядався багатьма спеціаліста-

ми як альтернатива паровозам ФД на найбільш вантажнонапружених ділянках. Суттєвому підсиленню науково-виробничої бази підприємства сприяло створення потужного конструкторського відділу в складі провідних спеціалістів радянського паровозобудування. Зрештою, за своєю виробничою потужністю (1080 паровозів на рік) Луганський завод до кінця 1930-х рр. зайняв перше місце в Європі і друге місце в світі [18].

Дослідна експлуатація луганських паровозів ФД здійснювалась на базі локомотивного депо Лиман Донецької залізниці, а згодом ці локомотиви склали основу паровозних парків решти провідних депо Донбасу – Слов'янськ, Ясинувата, Волноваха, Іловайськ, Дебальцеве, Попасна тощо [23, с. 165]. Утім, примітно, що вже на початку 2000-х рр. при формуванні експозиції «Музею історії та розвитку Донецької залізниці» виникла проблема відсутності в локомотивному парку магістралі паровозів серії ФД, що обумовило необхідність їх запити з інших залізниць [26]. На даний час серед наявних на території України 99 паровозів широкої колії 17 серій зберіглось лише 4 паровози серії ФД [17].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Історія Луганського заводу та розвиток конструкцій його локомотивів широко представлена в розвідках Г. Жданова [3], В. Рибінця [6], Ю. Циганкова-Серебрякова [7], О. Буянова [2], Є. Мокршицького [11] та В. Ракова [21]. Однак, вказані дослідження зосереджені переважно на повоєнному періоді історії підприємства, натомість спроба осмислення передумов становлення та обставини розвитку будівництва паровозів серії ФД на Луганському заводі потребує введення до наукового обігу додаткових джерел. Вивчення історії виробничої діяльності підприємств залізничного машинобудування України набуває своєї актуальності на тлі загального реформування вітчизняної промисловості, потреби комплексного оновлення парку тягового рухомого складу при реєстрації провідних світових технологій локомотивобудування із врахуванням історичного досвіду вирішення вказаного питання.

Отже, **предметом** запропонованого дослідження виступає виробнича діяльність Луганського паровозобудівного заводу, що передбачає вирішення наступних дослідницьких завдань: по-перше, проаналізувати зміст дискусії довкола визначення стратегії оновлення товарного паровозного парку СРСР; по-друге, простежити передумови та обставини розробки проекту паровоза серії ФД; по-третє, розглянути перспективні проекти вдосконалення паровозів ФД та проаналізувати причини згорання їх подальшого виробництва в повоєнний час. Хронологічні межі дослідження охоплюють період від початку розробки проекту надпотужного вантажного паровозу американського типу (1-5-1) до фактичного згорання виробництва паровозів ФД з початком радянсько-німецької війни та евакуацією Луганського (на той час – Ворошиловградського) паровозобудівного заводу у 1941 р.

**Мета статті** полягає в тому, щоб на підставі комплексного аналізу історичних джерел, періодичних видань та наукової літератури відтворити цілісну картину розробки та будівництва надпотужних вантажних паровозів американського типу серії ФД на Луганському (згодом – Ворошиловградському) паровозобудівному заводі 1931 – 1941 рр.

**Результати досліджень.** 18 – 31 грудня 1925 р. XIV З'їзд ВКП (б) затвердив курс на індустріалізацію СРСР, тим самим зробивши вирішальний вплив на подальший розвиток радянського залізничного транспорту і перспектив вітчизняного локомотивобудування. У зв'язку з ростом промислового обороту на залізницях Радянського Союзу виникла гостра необхідність підвищити їх провізну спроможність шляхом підвищення швидкостей і особливо вантажопідйомності поїздів. Однак експлуатовані типи найбільш потужних паровозів серії Е зі зчпнною масою в 80 т, які в той час становили основу вантажного локомотивного парку країни, за своїми технічними параметрами вже не розглядалися в якості перспективних. Проведений порівняльний аналіз особливостей розвитку залізничного транспорту в найбільш розвинених державах показав, що по ряду показників – вантажообігу, профілю шляху та кліматичним умовам – перспективи розвитку залізничного транспорту СРСР найбільшою мірою близькі до показників США і Канади. Відповідно до умов вантажообігу, як у Північній Америці, так і в СРСР здійснювалися перевезення великих мас вантажів на великі відстані з припустимо великими швидкостями. Кліматичні умови Північної Америки та профіль колії місцевих залізниць, які вплинули на конструкцію місцевих локомотивів, були близькими до клімату середньої і південної смуги СРСР. Найважливішою особливістю розвитку залізниць Північної Америки було вкладання рейок важкого типу вагою понад 50 кг/м, що забезпечувало зниження витрат на утримання колії і можливість використовувати локомотиви з надвисокими осьовими навантаженнями на рейки – 23 – 33 т. Станом на 1925 р. для мережі доріг СРСР найбільш важкими були рейки типів «II-A» (38,46 кг/м) і «I-A» (43,613 кг/м), що допускали осьове навантаження до 23 т, однак їх протяжність була несуттєвою в загальній протяжності мережі. На решті ділянок залізниць СРСР допустиме осьове навантаження становило не більше 18,5 т, а найбільша вага товарних поїздів для паровозів серії Е – 1750 т. У той час як в Європі застосовувались навантаження на рейки 20 – 23 т, в США і Канаді 27 – 33 т, а вага товарних потягів сягала 7000 – 10000 т, а в окремих випадках – 15000 т. У зв'язку з цим найбільш перспективними в конструктивному відношенні були визначені надпотужні і швидкохідні вантажні паровози американських типів 1-5-1 та 1-5-2.

Можливість використання на головних вантажних напрямках мережі доріг СРСР новітніх на той період потужних вантажних паровозів американського типу 1-5-2, була вперше розглянута в 1926 р., коли приймалося рішення про виділення матеріаль-

них і фінансових коштів на реконструкцію Луганського паровозобудівного заводу з метою збільшення його виробничих потужностей до рівня найбільших американських паровозобудівних заводів. Для проектування комплексу нових цехів на додаткових площах Луганського заводу в СРСР були запрошені фахівці з США. Технічні умови на проектування виробничих потужностей цього підприємства передбачали великосерійне виробництво паровозів типу (1-5-2) з навантаженням на вісь від 23 до 27 т. Планувалося, що на створення та освоєння великосерійного виробництва нового потужного товарного паровоза в СРСР буде потрібно 2 – 3 роки. Однак уже в 1927 р. цей прогноз піддався критиці внаслідок недостатніх виробничих потужностей наявних радянських паровозобудівних заводів, металургійного виробництва, що не дозволяло виробляти великогабаритне лиття, а також невизначеність в методах і термінах здійснення технічної реконструкції верхньої будови колії на головних вантажних напрямках, оскільки радянська металургійна промисловість могла забезпечити масовий прокат рейок, що допускали найбільше осьове навантаження лише 18,5 т. Вже на початку спроби реалізації проекту конструктори зіткнулися зі складним завданням – жоден з радянських паровозобудівних заводів не мав досвіду проектування і будівництва паровозів з осьовими навантаженнями понад 18 т. Попередні розрахунки показували, що створити листову раму, яка б могла витримати подібні навантаження, було практично нездійсненним завданням. Був потрібен перехід на рами брускової конструкції, які набули широкого поширення на американських паровозах, але в СРСР досвід їх створення був відсутній. Отже, реальні виробничі можливості радянської металургійної промисловості, машинобудівних заводів і технічні можливості залізничного транспорту вступили в протиріччя зі сміливими прогнозами фахівців Народного комісаріату шляхів сполучення (далі – НКШС).

У 1929 р. на 16-й конференції ВКП (б) розміри капіталовкладень в транспортне господарство були визначені у 10 млрд. крб. при вкладенні в промисловість 16,4 млрд. крб. [4, с. 210]. При цьому було визнано, що темпи розвитку залізничного транспорту на тлі зростаючої його технічної оснащеності недостатні. Ситуація, що склалася, спровокувала хвилю критики на адресу керівних працівників НКШС, обвинувачених у спробі нав'язати державі стратегію «Надмагістралізації», яка передбачала величезні капіталовкладення в реконструкцію колії, мостів, рухомий склад з надвисокими навантаженнями на осі. У 1928 – 1929 рр. органи ОДПУ «розкрили» і розгромили «контрреволюційну шкідницьку організацію» в НКШС, яка нібито одним зі своїх головних завдань ставила зрив реконструкції залізничного транспорту [16, с. 11]. На початку 1930 р. з метою сприяння НКШС у складі ОДПУ було організовано власне Технічне Бюро по реконструкції залізничного транспорту на чолі з Г. Благодіраєвим, яке зайня-

лось техніко-економічними розрахунками перспективних товарних локомотивів [16, с. 11].

До 1930 р. у НКШС СРСР проектування нових типів паровозів обмежувалося стадією ескізного проекту, зважаючи на відсутність відповідної виробничої бази, оскільки завершення реконструкції Луганського заводу затягнулося. Проте, були вироблені технічні умови на робоче проектування паровозів типів (1-5-1) і (1-5-2), що визначили для них мінімально допустиме осьове навантаження в 23 т, при діаметрі циліндрів 700 мм, ході поршня 760 мм і діаметрі рушійних коліс в 1500 мм [16, с. 9]. При меншому осьовому навантаженні паровоз типу (1-5-2) будувати було недоцільно, оскільки він не мав би ніяких переваг в порівнянні з типом (1-5-1). Передбачалося, що при осьовому навантаженні в 23 т можливо буде експлуатувати такі паровози по рейках типу «П-А», збільшивши лише кількість шпал на 1 км шляху і замінивши піщаний баласт гравієм або щебнем [21, с. 268].

У зв'язку з тимчасовою відсутністю необхідної бази для виробництва паровозів американського типу, було запропоновано закупити рухомий склад у американських фірм, а після їх випробувань почати будівництво аналогів в СРСР. У 1930 р. НКШС замовив американським фірмам ALCO і Baldwin по 5 паровозів з навантаженням від рушійних осей на рейки 23 т за умови виконання радянських технічних вимог (навантаження на рейки, діаметр циліндрів, хід поршня, діаметр рушійних коліс) і оснащення цих паровозів усіма новітніми системами: вуглеподавачем, термосифоном, водопідігрівом та бустером з метою їх випробування в умовах мережі залізниць СРСР [21, с. 268 – 269]. Навесні 1930 р. на завершальному етапі тривалого закордонного відрядження з вивчення новітніх зарубіжних досягнень в області залізничної справи комісія НКШС на чолі з першим заступником наркома НКШС СРСР Даниїлом Сулімовим перебувала в США. Американські компанії мали відомості про тривалу реконструкцію Луганського заводу та, розраховуючи на великі і вигідні замовлення, охоче передали радянським представникам новітню технічну інформацію і конструкторську документацію [8, с. 34]. Однак, на той час вже зріло рішення про тимчасовий, вимушений перехід до помірної концепції розвитку залізничного транспорту, в рамках якої проектування локомотивів з осьовим навантаженням понад 20 т на найближче п'ятиріччя було визнано недоцільним [9, с. 33].

Конструкторами пропонувалися різні шляхи вирішення даного завдання. Розглядався варіант збільшення навантаження від осі на рейки без збільшення числа колісних пар, що, правда, вимагало посилення шляхів. Альтернативою такому підходу було підвищення числа колісних пар до 7 – 8 без збільшення навантаження (навантаження залишалось в межах 20 т). У рамках другого шляху виконання завдання, частина інженерів приступила до розробки локомотива з сімома провідними колісними парами на одній жорсткій рамі. Інші конструктори наполя-

гали на збереженні навантаження від рушійних колісних пар в межах 20 т, підвищивши при цьому їх кількість. Мотивуючим фактором у створенні радянського паровоза типу (2-7-2) послужив досвід німецького й американського паровозобудування щодо створення паровозів з шістьма рушійними осями в одній жорсткій рамі. Технічне завдання на альтернативне ескізне проектування швидкохідного вантажного паровоза з числом рушійних осей в одній жорсткій рамі більше п'яти передбачало граничне осьове навантаження як і для ескізного проекту паровоза ФД – 20 т. У 1931 р. групою інженерів-випускників Московського інституту був підготовлений ескізний проект паровоза з колісною формулою (1-7-2) і навантаженням на рейки – не більше 20 т. Робочі креслення нового паровоза склалися вже на Луганському заводі, якому було доручено виготовлення двох дослідних паровозів цього типу. Однак при робочому проектуванні з'ясувалося, що при використанні колісної формули (1-7-2) не вдасться витримати вагові обмеження, тому вирішено було перейти до типу (2-7-2) [21, с. 270]. У зв'язку з цим, число рушійних осей довелося збільшити до семи – абсолютний рекорд в практиці світового паровозобудування.

Існував також варіант створення зчленованого локомотива великої потужності. У пошуках потрібної конструкційної схеми, інженери звернулися до досвіду залізниць Африки і Австралії, де добре зарекомендували себе зчленовані паровози системи Garratt. Плюсом даної конструкції була можливість отримання на паровозі розвиненої топки при обмежених габаритах. За відсутності досвіду створення локомотивів даної системи в СРСР, після ряду погоджень дослідний локомотив був замовлений на англійському заводі Beuer-Reasock (м. Манчестер), який спеціалізувався на будівництві паровозів системи Garratt. За технічним завданням передбачалося створити локомотив, здатний везти вагу масою 2500 т на підйомі зі швидкістю 15 км/год. При цьому навантаження колісної пари локомотива на рейки не мала перевищувати 20 т [21, с. 270].

На час повернення радянської комісії з США наприкінці квітня 1931 р., Технічне бюро Транспортного відділу ОДПУ розробило технічні вимоги та ескізний проект потужного швидкохідного товарного паровоза «перехідного» типу (1-5-1) з осьовим навантаженням на колію 20 т. [16, с. 11], на підставі якого 1 травня 1931 р. Технічне Бюро ОДПУ спільно з колективом конструкторів Центрального локомотивопроєктного бюро Народного комісаріату важкої промисловості під керівництвом К. Сушкіна приступив до робочого проектування. Оскільки в радянському паровозобудуванні вперше створювався надпотужний паровоз типу (1-5-1), спеціалістами був широко використаний американський досвід машинобудування на основі вивчення наданої американськими компаніями ALCO та Baldwin технічної документації [9, с. 34]. З метою зниження ваги локомотива, а також при встановлених обмеженнях по зчипній вазі і силі тяги, конструкторам необхідно було оста-

точно визначити конструкції деталей і вузлів майбутнього паровоза, оптимальне поєднання потужностей котла, парової машини і зчипної ваги. В ході проектування були застосовані новітні на той період конструктивні рішення – паровоз на брусковій рамі був обладнаний циркуляційними трубами, камерою догорання, а також механічним вуглеподавачем (стокером).

У червні 1931 р. рішенням Пленуму ЦК ВКП (б) була визначена Програма подальшого технічного розвитку транспорту СРСР в «Перехідний період 1930 – 1935 рр.», яка передбачала великосерійне виробництво потужних локомотивів, вагонів вантажопідйомністю 50 – 60 т, широке впровадження автозчеплення, автогальм, автоблокування, реконструкцію верхньої будови колії, депо, стацій та інших інженерних споруд. 28 червня 1931 р. Постановою РНК СРСР вказувався тип найближчого перспективного паровоза (1-5-1) з осьовим навантаженням 20 т і терміни пуску реконструйованого Луганського заводу – 1 жовтня 1932 р. При чому примітно, що на Луганському заводі первісно було заплановано налагодити виробництво товарних паровозів американського типу з осьовим навантаженням 23 т при завершенні розробки проектною документації до 1 серпня 1931 р., натомість для подальшого серійного будівництва паровозів типу (1-5-1) з осьовим навантаженням 20 т. передбачалось здійснити реконструкцію одного з наявних паровозобудівних підприємств протягом 1932 р. [4, с. 254 – 255].

Попри високу складність технічних завдань, робочий проект товарного паровоза (1-5-1) з осьовим навантаженням 20 т був завершений 10 серпня 1931 р. за рекордно короткий термін – 100 робочих днів. У серпні робочі креслення паровоза типу (1-5-1) були передані на Луганський паровозобудівний завод. За пропозицією однієї з ударних бригад підприємства було вирішено: «На честь одного з кращих наркомів шляхів сполучення, організатора боротьби за оновлення і реконструкцію соціалістичного транспорту, чекіста, непримиренного борця з контрреволюцією, саботажем і шкідництвом, вірного вартвого пролетарської країни, залізничного Фелікса Дзержинського, назвати його ім'ям паровоз типу 1-5-1, присвоївши йому серію «ФД» [16, с. 12]. Натомість очевидно, що вказане найменування серії паровоза було обумовлене широкою участю транспортного відділу ОДПУ в підготовці проекту паровоза. Наприкінці жовтня будівництво нового паровоза, якому було присвоєно повне позначення ФД 20-1 (20 – навантаження від рушійних осей в тонах, № 1) було завершено. Перший паровоз був обладнаний чотиривісним тендером, оскільки спеціально створюваний на Коломенському заводі шестивісний тендер не був своєчасно завершений, внаслідок чого на період випробувань було вирішено використати доопрацьований тендер від паровозів Су та Еу [16, с. 662]. Паровоз був побудований у рекордно короткий за мірками світового паровозобудування термін – 70 виробничих днів. Цьому слід завдячувати кооперації з

іншими заводами: Іжорським, що постачав полотна брускових рам, Коломенським – сталеве литво, Сортовським – котельні штамповані деталі [2, с. 33].

31 жовтня 1931 р. в центрі Луганська біля саду «Імені 1-го Травня» громадськості були представлені на огляд 4 паровози: ФД 20-1 (1-5-1), Ем (0-5-0), Ов (0-4-0) та маневровий танк-паровоз Б (0-3-0) [7, с. 57 – 58]. 4 листопада 1931 р. ФД 20-1 повів з Луганська в Москву спеціальний поїзд з робочою делегацією Луганської паровозобудівного заводу, яка відрпортувала про задачу в експлуатацію першого паровоза типу (1-5-1) серії ФД, створення якого (робоче проектування і спорудження) зайняло рекордно короткий термін – 170 днів. У жовтні 1931 р. американські паровози, які отримали позначення серій Та і Тб прибули на Пролетарський паровозоремонтний завод (м. Ленінград). Після проведення дослідних випробувань, передбачалось організувати будівництво надпотужних паровозів за американським проектом на Луганському заводі. Втім, під час експлуатації на Сталінській (Придніпровській) залізниці з'ясувалось, що навантаження колісної пари 23 т на колію виявилось надто великим для рейок типу П-А [21, с. 269], і зрештою, було вирішено перейти до серійного виробництва паровозів ФД на Луганському заводі [22].

На початку листопада 1932 р. з урахуванням деяких конструкційних змін Луганський завод випустив другий дослідний паровоз серії – ФД 20-2, укомплектований тендером типу 17 – першим шестивісним тендером в історії радянського паровозобудування [24]. Другий ФД мав відмінну арматуру котла, створену за спеціальним проектом. Розробку первісного шестивісного тендера, обладнаного двома тривісними візками американської конструкції, здійснював паровозо-технічний відділ Луганського заводу. Головний інженер підприємства П. Тахтаулов зазначав, що в той час, коли на перший ФД був встановлений стокер (вуглеподавач) американського виготовлення, другий ФД матиме стокер, виготовлений вже в Луганську [24]. На початку 1933 р. Луганський завод випустив третій дослідний паровоз ФД 20-3, конструкція якого зазнала чергових змін. Під час будівництва дослідного паровоза ФД 20-3 в конструкторському бюро Коломенського заводу був складений проект обладнання цього паровоза водопідігрівачем поверхневого типу з метою перевірки надійності роботи в умовах низьких температур, який, однак, так і не був втілений [16, с. 758]. Перші дослідні паровози ФД 20 були відправлені в депо Лиман, яке стало дослідно-експериментальною базою з накопичення досвіду інтенсивного використання нового локомотива [10].

Наприкінці 1932 р. до Пролетарського заводу (м. Ленінград) надійшов спроектований і побудований на заводі Beuer-Reasock дослідний паровоз системи Garratt, який отримав позначення Я-01 [21, с. 270]. Упродовж лютого – березня 1933 р. проходили випробування дослідного паровозу Я-01. Передбачалося, що система Garratt дозволить домогтися

істотного збільшення потужності і при цьому утримати навантаження від колісних пар на рейки в необхідних рамках (завдяки розподілу ваги котла на 8 колісних парах). Однак, було виявлено, що паровоз витрачав більше палива, до того ж мав ряд специфічних для системи Garratt недоліків. Основним джерелом проблем була довжина паровоза. Такий крупний локомотив не поміщався в наявних будівлях депо і на поворотних колах, а його довгі паропроводи від топки до циліндрів призводили до суттєвих втрат тепла та часткової конденсації пари при низьких температурах. Опори рами котла швидко зношувалися. Крім того, внаслідок зменшення навантаження на екіпажі при витрачанні води і палива, паровоз ставав схильним до боксування. Зрештою, за результатами випробувань було вирішено остаточно відмовитися від ідеї застосування системи Garratt на паровозах залізниць СРСР [21, с. 271].

У серпні 1933 р. на Луганському заводі розпочалось серійне виробництво паровозів ФД, і до кінця року було випущено 20 паровозів (№ 4 – 23). Паровози настановної партії також зазнали конструкційних змін з метою зменшення шкідливого впливу на колію, а також для поліпшення динамічних характеристик. У січні 1934 р. завод випустив паровоз ФД 20-24, виготовлення якого було приурочене до XVII з'їзду ВКП (б), а безпосередньо під час проходження самого з'їзду – ювілейний ФД 20-25. На XVII з'їзді КПРС було визначено, що «*Потужний паровоз ФД повинен стати, у 2-му п'ятилітті, основною одиницею товарного паровозного парку*» [4, с. 289]. На Луганський завод надійшло завдання поставити до кінця 1937 р. на залізницю СРСР 2400 паровозів серії ФД. У тому ж році завод побудував 225 паровозів ФД 20 (№ 25 – 250) [6, с. 289]. 1 лютого 1934 р. у результаті розукрупнення мережі залізниць СРСР була відновлена Донецька залізниця. 14 березня 1934 р. у першому номері газети «Железнодорожник Донбасса» була опублікована Постанова РНК СРСР та ЦК ВКП (б) «О работе Донецкой железной дороги», відповідно до якого передбачалось забезпечити будівництво в дві черги першого в СРСР депо для паровозів серії ФД в Лимані із закінченням першої черги не пізніше 1 жовтня 1934 р., другої – 1935 р., а також прирівняти машиністів на паровозах ФД до машиністів швидкісних та кур'єрських поїздів [4, с. 293].

Паралельно з освоєнням серійного виробництва паровозів ФД на Луганському заводі тривало виготовлення дослідного паровоза (2-7-2). Новий паровоз, активно підтримуваний спеціалістами Інституту реконструкції тяги НКШС на протигагу ФД [14], отримав позначення АА 20-1 (на честь наркома шляхів Андрія Андрєєва; 20 – навантаження від рушійних колісних пар на рейки в тонах) та був готовий лише наприкінці 1934 р. [21, с. 270]. Єдиною ділянкою на мережі залізниць СРСР, де паровоз АА міг скласти конкуренцію паровозу ФД, був надзвичайно вантажонапружений вуглевізний напрямок Лиман – Основа, на якому була проведена повна те-

хнічна реконструкція колії. Станом на 1936 р. за своєю вантажонапруженістю ця ділянка займала перше місце на мережі залізниць СРСР – 28 пар великовагових поїздів на добу. Паровози ФД на цій ділянці експлуатувалися найбільш інтенсивно і буквально на межі їх можливостей. У той же час, в ході експлуатації паровозу АА було виявлено ряд конструктивних недоліків, зокрема, в системі паророзподілу. Окремим джерелом проблем стали величезні розміри локомотива, оскільки він погано вписувався в криві, псував колію та сходив з рейок на стрілках, а також не поміщався на поворотних колах і в стійлах паровозних депо [21, с. 270].

У 1935 р. до Луганська була спрямована група інженерів Центрального локомотивного проектного бюро (ЦЛПБ), перед якими ставилось завдання передати технічну документацію заводу та надати допомогу в освоєнні серійного виробництва паровозів ФД. Протягом 1935 р. завод випустив 520 паровозів ФД 20 (№ 251-771) [6, с. 389]. У порівнянні з локомотивами настановної партії на паровозах ФД побудови 1935 р. було внесено кілька великих змін. Зокрема, на частині паровозів, вперше в радянському паровозобудуванні, були встановлені димовідбійники [21, с. 274]. Однак, у багатьох депо вважалося, що наявність димовідбійників погіршувала огляд, Луганський завод постійно чергував випуск паровозів ФД з димовідбійниками і без них.

Відповідно до наказу № 1040 від 7 вересня 1935 р. наркома важкої промисловості Г. Орджонікідзе значна частина спеціалістів Центрального локомотивного проектного бюро увійшла до складу паровозотехнічного відділу Луганського заводу, решта ж повернулись на попередню роботу. Серед новоприбулих інженерів виявилось багато талановитих, видатних конструкторів, зокрема: М. Максимов, Д. Львов, Г. Жилін, П. Сорока та інші. Наприкінці 1935 р. паровозотехнічний відділ був реорганізований у конструкторський, який очолив Микола Максимов. Новотворений відділ нараховував від 110 до 120 співробітників. Отже, подальші конструкційні зміни розроблялись безпосередньо на місці, при цьому в цехах були власні невеликі технологічні бюро [2, с. 35].

У 1935 р. під керівництвом інженера П. Сороки на Ворошиловградському заводі був розроблений проект обладнання паровоза серії ФД пиловугільним опаленням та обладнано за цією схемою паровоз ФД 20-400 [21, с. 275]. Утім, оскільки задня трубна решітка дрібнотрубного пароперегрівача швидко забивалася золою, незабаром паровоз був переведений на слойове опалення. Тендер від цього паровоза був причеплений до паровоза ФД 20-894, обладнаний покращеним пароперегрівачем системи Чусова. Результати застосування пиловугільного опалення були задовільними, але виникла проблема в постачанні паровоза вугільним пилом. Тому на тендері був встановлений паровий млин. У ній кускове вугілля струменем пари спрямовувалось на металеву плиту, розбивалося об неї і у вигляді пилу подавалося в то-

пку. Згодом паровоз ФД 20-894, який таким чином став першим в СРСР паровозом з індивідуальним пилеприготуванням, використовувався як стенд-лабораторія Науково-дослідного інституту залізничного транспорту [21, с. 275]. За результатами випробувань у 1940 р. Ворошиловградський завод випустив паровоз ФД 20-2759 також з індивідуальним пилеприготуванням. Однак, у післявоєнний час обидва паровози були знову переведені на слойове опалення.

У 1936 р. колективом заводу досягнутий найвищий річний темп виробництва паровозів серії ФД – 664 одиниць (№ 772 – 1435) [6, с. 389]. Було також побудовано декілька унікальних експериментальних паровозів ФД, які призначалися для передових машиністів-новаторів. На цих локомотивах використовувались нові, ще не запроваджені у серійне виробництво вузли. При виготовленні котлів для цих паровозів використовувались котельні листи з більш високими механічними властивостями, що дозволяло підвищити робочий тиск до 16 атмосфер і у такий спосіб вирівняти тягу по котлу, машині та зчепленню у паровозів з дрібнотрубним пароперегрівачем Елеско. 26 березня 1936 р. ювілейний локомотив ФД 20-835, п'ятитисячний за номером котла, був урочисто переданий молодіжній паровозній бригаді легендарного машиніста П. Кривоноса [20]. На паровозі були спрощені привода супер'ерів, перероблений привод свистка, встановлені золотники системи Шмідта та швидкостемір Гаусгельтер [1; 2, с. 47]. 2 квітня 1936 р. П. Кривонос довів середньодобовий пробіг паровоза ФД 20-835 до 940 км та взяв зобов'язання – 1055 км [13]. 17 червня 1936 р. ювілейний паровоз ФД 20-1000 був урочисто переданий легендарному тульському машиністу Олександрю Огнєву [25]. У серпні 1937 р. Ворошиловградський завод випустив 1500-й паровоз серії ФД, який надійшов у депо Красний Лиман Донецької залізниці [21, с. 275], а вже у 1938 р. на Всесвітній виставці в Парижі Ворошиловградський завод був відзначений Великою золотою медаллю та Дипломом виставки [7, с. 70].

Це стало можливим завдяки тому, що у другій половині 1930-х рр. підприємство застосувало цілий ряд інновацій та поліпшень у конструкції паровозів ФД, зокрема: цільнозварний котел, підігрів води у тендерному баці відпрацьованим паром, що підвищило економічність паровозу, розсувні золотники системи Трофимова, повітряні гальма системи Матросова, потужний пароповітряний компаунд – насос системи Руденко, дводискові колеса без заливки свинцем противагів, пароперегрівальну коробку зі збільшеним проходом пари, широкотрубний нагрівач замість пароперегрівача Елеско, паросушиник, покращену розвіску паровозу за рахунок добаластування буферного бруса, автозчеплення, гребневі гальмівні колодки, гумові манжети при сервомоторі, нові кріплення водяного баку тендеру до рами, що дозволило запобігти появі тріщин у стінках баку тощо [2, с. 37]. Оскільки результати роботи дрібно-

рубного пароперегрівача Елеско-Е були не зовсім задовільними, то в якості експерименту паровози № 894, 895 і 939 були обладнані широкотрубними пароперегрівачами типу Л40 системи Чусова. Експлуатація цих паровозів розвіяла побоювання багатьох конструкторів з приводу можливості появи течії жарових труб [21, с. 274].

До кінця 1930-х рр. на ряді радянських залізниць з поганим водопостачанням експлуатувалися паровози з конденсацією пари. На відміну від звичайних паровозів, відпрацьована пара не викидалася в димову трубу, а надходила в спеціальний тендер-конденсатор, де, перетворюючись на воду, спрямовувалася в котел. Конденсація пари дозволяла отримати економію не тільки у воді, але і в паливі, принагідно зменшуючи зношення котлів і кількість накипу, особливо в районах з агресивною водою. Успішні результати експлуатації таких паровозів призвели до того, що було вирішено виготовити партію з 10 паровозів серії ФД з конденсацією пари – ФДк. У 1939 р. Ворошиловградський завод випустив перші дослідні паровози з тендер-конденсатором ФДк 20-1546 та ФДк 20-2475. Робоча маса обох локомотивів у порівнянні з серійними зросла з 137 до 145 т, а зчїпна – до 110 т. Однак, у ході дослідної експлуатації виявився цілий ряд конструкційних недоліків локомотивів. Зокрема, спостерігалось надзвичайно швидке зношення лопаток вентиляторів-димососів (після пробігу 1400 – 1600 км) [21, с. 281 – 282]. Високі осьові навантаження (22 т) призводили до зносу рейок. Крім цього з'ясувалося, що шестивісні тендер-конденсатори мали недостатню поверхню охолодження для таких потужних паровозів, що вимагало суттєвого збільшення тендеру.

У 1938 р. на Ворошиловградському заводі розпочалось проектування нового паровозу серії ФД з додатковим переднім управлінням, на якому мали бути встановлені більш потужні циліндри. У передній будці мали розміщуватися дублюючі органи управління локомотивом, що полегшувало б роботу паровозної бригади під час руху на високих швидкостях. Проектування, здійснюване бригадою конструкторів під керівництвом інженера-конструктора Г. Жданова, планувалося завершити у липні 1938 р. [12]. У серпні 1938 р. розробка проекту нового паровоза була повністю завершена. Більшість готових креслень були надані в цехи заводу для виготовлення відповідних деталей та вузлів, і незабаром підприємство мало приступити до будівництва нового локомотива [15]. Утім, виявилось, що подібне розташування будок значно ускладнювало ревізію димової коробки. Сама ж ідея щодо двох будок пізніше була реалізована на дослідному теплопаровозі ТП1 Коломенського заводу [21, с. 388 – 389].

У середині 1940 р. Ворошиловградський завод перейшов на серійне виробництво паровозів ФД, обладнаних широкотрубними пароперегрівачами типу Л40 системи Чусова. Для відмінності паровозів з широкотрубними пароперегрівачами було впроваджене позначення ФД 21 [21, с. 274]. Серед інших

конструкційних відмінностей застосувались валики в ресорному підвішуванні в шарнірах замість призм. У цьому ж році завод випустив ювілейний ФД 21-3000, який урочисто передали легендарному новосибірському машиністу Миколі Луніну – ініціатору нової методики експлуатації локомотивів, відповідно до якої, завдяки збільшенню обсягу ремонтних робіт, виконуваних силами локомотивної бригади, знижувався час простою та підвищувалась якість ремонту паровоза [23, с. 161].

У 1941 р. завод нарощував потужності, конструкторський відділ продовжував роботу над випробуванням та доводкою низки дослідних паровозів, зокрема ФД з пиловугільним опаленням, а також конденсацією пари, а деякі паровози були обладнані турбонасосами і змішувачами для підігріву води в баку тендера теплом відпрацьованої пари. Виробництво паровозів ФД всіх різновидів здійснювалось на Ворошиловградському заводі до липня 1941 р. З початком Німецько-радянської війни, у відповідності до мобілізаційного плану, підприємство припинило випуск паровозів та перейшло до освоєння виробництва військової продукції. У жовтні 1941 р. почалась евакуація підприємства, для організації якої до м. Омська був командирований головний конструктор заводу П. Сорока. До листопада 1941 р. все основне обладнання підприємства було переміщено на нову виробничу базу в глибокому тилу в Омську [2, с. 48]. У наслідок військових дій, чотири незавершених паровози ФД у 1942 р. були відправлені на добудову на Улан-Уденський паровозобудівний завод [2, с. 275]. Після закінчення Другої світової війни на тлі зростання вантажних перевезень, відновлення виробництва паровозів серії ФД було визнано нераціональним, унаслідок його ряду конструктивних недоліків (слабка екіпажна частина, низький ККД котла), до того ж, на найбільш завантажених лініях почали укладати рейки типу Р50 (50 кг/м), що дозволяло підняти осьове навантаження локомотивів до 23 т. Усього протягом 1931 – 1942 рр. було побудовано 2965 паровозів серії ФД 20 та 286 – серії ФД 21 [21, с. 275].

**Висновок.** Отже, бурхливе зростання радянської промисловості, здійснюване на тлі виконання першого п'ятилітнього плану економічного розвитку СРСР, обумовило гостру потребу підвищення провідної здатності мережі залізниць країни. В ході тривалої дискусії щодо формування стратегії оновлення товарного паровозного парку були сформовані три основні вимоги до проекту майбутнього локомотиву: максимальне використання наявної залізничної мережі без докорінної реконструкції колії, застосування гвинтового зчєплення, підвищення швидкості та ваги товарних поїздів. Завдяки масштабній реконструкції виробничої бази та детальній рецепції конструкторського досвіду провідних американських паровозобудівних компаній, колективу Луганського паровозобудівного заводу вдалося в максимально стислі терміни не тільки налагодити виробництво надпотужних паровозів серії ФД, але й здійснити ро-

зробку та будівництво низки унікальних дослідних зразків альтернативних проектів товарних локомотивів на паровій тязі. Зрештою, постановою XVII з'їзду ВКП(б) (1934 р.) саме паровоз серії ФД був визначений основною одиницею товарного паровозного парку країни. Упродовж 1933 – 1940 рр. на залізниці України надійшли 3003 паровозів ФД, що склало 43,9% загального парку товарних паровозів на території республіки [18, с. 322]. Станом на 1 квітня 1935 р. лише на Придніпровській залізниці з 43 надпотужних паровозів – 32 були серії ФД. Паровоз ФД був першим радянським паровозом з конструкційним осьовим навантаженням 20 т і зчіпною вагою 104 т – найвищий показник серед усіх серійних радянських паровозів. Локомотиви Ворошиловградського (Луганського) заводу були відзначені на всевітній виставці 1938 р., що доводить їх науково-технологічну актуальність та якість виробництва. В цілому, паровози серії ФД можна охарактеризувати як технологічно складні у виробництві та ремонті, потужні, високопродуктивні локомотиви з відносно простим рушійним механізмом, утім, неекономічним паровим котлом і слабкою екіпажною частиною. Зрештою, обставини виробництва та експлуатації паровозів серії ФД становлять унікальну сторінку історії світового транспортного машинобудування, а збереження останніх зразків легендарних пам'яток вітчизняного паровозобудування має бути пріоритетним завданням ревіталізації залізничної спадщини України.

### Література

1. «ФД» 20-835. Ворошиловградская правда (Ворошиловград). 1936. 12 марта № 59 (6218). С. 3.
2. Буянов А.Ф. Творцы новой техники. Луганск, Книжковый світ. 2005. 288 с.
3. Жданов Г. Верность традициям. Очерк истории Ворошиловградского ордена Ленина и ордена Октябрьской революции тепловозостроительного завода им. Октябрьской революции. М.: Мысль, 1981. 200 с.
4. Железнодорожный транспорт СССР в документах Коммунистической партии и Советского правительства. 1917 – 1957 гг. Сост. А. Напорко. М.: Трансжелдориздат, 1957. 384 с.
5. Климов А. Продовольче забезпечення робітників промисловості Донбасу у 1928 – 1935 рр. Краєзнавство. 2010. № 1 – 2. С. 225 – 232.
6. Луганские локомотивы: Люди. Годы. Факты. Луганск, 1996. 407 с.
7. Люди. Годы. Факты. ОАО «ХК» Лугансктепловоз». Сост. Цыганков-Серебряков Ю.В.; редкол.: Быкадоров В.П., Басов Г.Г., Найш Н.М. Луганск, 2006. 479 с.
8. Макаров Л.Л. В поисках мощности. Американские паровозы паровоз Т. Локотранс. 2006. № 6 (116). С. 32 – 37.
9. Макаров Л.Л. В поисках мощности. Зарождение ФД. Локотранс. 2006. № 7 (117). С. 32 – 37.
10. Мейерович Е. Депо «ФД». Ворошиловградская правда (Ворошиловград). 1936. 18 июня № 139 (6298). С. 4.
11. Мокршицкий Е.И. История паровозостроения СССР (1846 – 1940 гг.). М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941. 260 с.
12. Новый паровоз. Ворошиловградская правда (Ворошиловград). 1938. 4 июня № 127 (6885). С. 3.
13. Новый рекорд Петра Кривоноса на паровозе 20-835. Ворошиловградская правда (Ворошиловград). 1936. 1 апреля № 77 (6236). С. 1.
14. Об антигосударственной линии в работе института реконструкции тяги. Железнодорожник Донбасса (Артемовск). 1936. 12 января № 10 (422). С. 3.
15. Паровоз ФД с передним управлением. Ворошиловградская правда (Ворошиловград). 1938. 18 августа № 141 (6949). С. 3.
16. Паровоз Феликс Дзержинский. Расчеты, конструирование, основные моменты постройки и испытания товарных паровозов типа 1-5-1 серии ФД. Под ответственной ред. Д.Е. Богданова, И.А. Грача, и Н.А. Максимова. М.: Издание редбюро локомотивопроекта, 1934, 940 с.
17. Перелік об'єктів історичної залізничної спадщини України (рухомий склад інфраструктура), що підлягають збереженню. К., 2017. 170 с.
18. Правдин Л. Второй в мире. Ворошиловградская правда (Ворошиловград). 1936. 18 июня № 139 (6298). С. 3.
19. Прилуцкий В. Модернізація транспорту радянської України у міжвоєнний період (1921 – 1938 рр.). Проблеми історії України: факти, судження, пошуки. 2005. Вип. 13. С. 313 – 342.
20. Пятитысячный паровоз «ФД» передан орденосцу Петру Кривоносу. Железнодорожник Донбасса (Артемовск). 1936. 17 марта № 71 (492). С. 1.
21. Раков В.А. Локомотивы отечественных железных дорог (1845 – 1955 гг.). М.: Транспорт, 1995. 564 с.
22. Російський державний архів соціально-політичної історії. Ф. 17. Оп. 3. Спр. 882. Арк. 16 – 17.
23. Стальные пути Донбасса. М.И. Гусев, К.Х. Клименко, А.И. Максимов и др. Под ред. В.В. Приклонского. Донецк, 1970. 336 с.
24. Тахтаулов П.І. Є всі можливості для своєчасного збудування другого «ФД». Луганська правда (Луганськ). 1932. 4 липня № 147 (5147). С. 3.
25. Тысячный поставлен на покраску. Ворошиловградская правда (Ворошиловград). 1936. 15 июня № 136 (6295). С. 3.
26. У полоні «ДНР» перебуває і шевченківський паровоз. Козацький край (Черкаси). 2016. 10 лютого № 6 (990). С. 3.

### References

1. «FD» 20-835. Voroshilovgradskaya pravda (Voroshilovgrad). 1936. 12 marta № 59 (6218). S. 3. [in Russian].
2. Buyanov A.F. Tvortsy novoy tekhniki. Lugansk, Knizhkoviy svit. 2005. 288 s. [in Russian].
3. Zhdanov G. Vernost' traditsiyam. Ocherk istorii Voroshilovgradskogo ordena Lenina i ordena Oktyabr'skoy revolyutsii teplovostroitel'nogo zavoda im. Oktyabr'skoy revolyutsii. M.: Mysl', 1981. 200 s. [in Russian].
4. Zheleznodorozhnyy transport SSSR v dokumentakh Kommunisticheskoy partii i Sovetskogo pravitel'stva. 1917 – 1957 gg. Sost. A. Naporko. M.: Transzheldorizdat, 1957. 384 s. [in Russian].
5. Klymov A. Prodovol'che zabezpechennya robitnykiv promyslovosti Donbasu u 1928 – 1935 rr. Krayeznavstvo. 2010. № 1 – 2. S. 225 – 232. [in Ukrainian].
6. Luganskiye lokomotivy: Lyudi. Gody. Fakty. Lugansk, 1996. 407 s. [in Russian].

7. Lyudi. Gody. Fakty. OAO «КHK» Luganskteplovoyz». Sost. Tsygankov-Serebryakov YU.V.; redkol.: Bykadorov V.P., Basov G.G., Naysh N.M. Lugansk, 2006. 479 s. [in Russian].
8. Makarov L.L. V poiskakh moshchnosti. Amerikanskiye parovozy parovoz T. Lokotrans. 2006. № 6 (116). S. 32 – 37. [in Russian].
9. Makarov L.L. V poiskakh moshchnosti. Zarozhdeniye FD. Lokotrans. 2006. № 7 (117). S. 32 – 37. [in Russian].
10. Meyyerovich Ye. Depo «FD». Voroshilovgradskaya pravda (Voroshilovgrad). 1936. 18 iyunya № 139 (6298). S. 4. [in Russian].
11. Mokhrshitskiy Ye.I. Istoriya parovozostroyeniya SSSR (1846 – 1940 gg.). M.: Gosudarstvennoye transportnoye zheleznodorozhnoye izdatel'stvo, 1941. 260 s. [in Russian].
12. Novyy parovoz. Voroshilovgradskaya pravda (Voroshilovgrad). 1938. 4 iyunya № 127 (6885). S. 3. [in Russian].
13. Novyy rekord Petra Krivonosu na parovoze 20-835. Voroshilovgradskaya pravda (Voroshilovgrad). 1936. 1 aprelya № 77 (6236). S. 1. [in Russian].
14. Ob antigosudarstvennoy linii v rabote instituta rekonstruktsii tyagi. Zheleznodorozhnik Donbassa (Artemovsk). 1936. 12 yanvarya № 10 (422). S. 3. [in Russian].
15. Parovoz FD s perednim upravleniyem. Voroshilovgradskaya pravda (Voroshilovgrad). 1938. 18 avgusta № 141 (6949). S. 3. [in Russian].
16. Parovoz Feliks Dzerzhinskiy. Raschety, konstruirovaniye, osnovnyye momenty postroyki i ispytaniya tovarnykh parovozov tipa 1-5-1 serii FD. Pod otvetstvennoy red. D.Ye. Bogdanova, I.A. Gracha, i N.A. Maksimova. M.: Izdaniye redbyuro lokomotivoprojekta, 1934. 940 s. [in Russian].
17. Perelik ob"yektiv istorichnoy zaliznychnoy spadshchiny Ukrayiny (rukhomyy sklad infrastruktura), shcho pidlyahayut' zberezhennyu. K., 2017. 170 s. [in Ukrainian].
18. Pravdin L. Vtoroy v mire. Voroshilovgradskaya pravda (Voroshilovgrad). 1936. 18 iyunya № 139 (6298). S. 3. [in Russian].
19. Pryluts'kyi V. Modernizatsiya transportu radyans'koyi Ukrayiny u mizhvoyennyi period (1921 – 1938 rr.). Problemy istoriyi Ukrayiny: fakty, sudzhennya, poshuky. 2005. Vyp. 13. S. 313 – 342. [in Ukrainian].
20. Pyatitsyachnyy parovoz «FD» peredan ordenonostu Petru Krivonosu. Zheleznodorozhnik Donbassa (Artemovsk). 1936. 17 marta № 71 (492). S. 1. [in Russian].
21. Rakov V.A. Lokomotivy otechestvennykh zheleznykh dorog (1845 – 1955 gg.). M.: Transport, 1995. 564 s. [in Russian].
22. Rosiys'kyi derzhavnyy arkhiv sotsial'no-politychnoy istoriyi. F. 17. Op. 3. Spr. 882. Ark. 16 – 17. [in Russian].
23. Stal'nyye puti Donbassa. M.I. Gusev, K.KH. Klimentko, A.I. Maksimov i dr. Pod red. V.V. Priklynskogo. Donetsk, 1970. 336 s. [in Russian].
24. Takhtaulov P.I. Ye vsi mozhlyvosti dlya svoeyachasnoho zbuduvannya drugoho «FD». Luhans'ka pravda (Luhans'k). 1932. 4 lypnya № 147 (5147). S. 3. [in Ukrainian].
25. Tysyachnyy postavlen na pokrasku. Voroshilovgradskaya pravda (Voroshilovgrad). 1936. 15 iyunya № 136 (6295). S. 3. [in Russian].
26. U poloni «DNR» perebuvaye i shevchenkiv's'kyi parovoz. Kozats'kyi kray (Cherkasy). 2016. 10 lyutoho № 6 (990). S. 3. [in Ukrainian].

**Рубан М.Ю., Фомин А.В. Исторические предпосылки строительства и развития перспективных проектов паровозов серии ФД на Луганском паровозостроительном заводе (1925 – 1941 гг.)**

*В статье предпринята попытка исследовать исторические предпосылки создания и обстоятельства серийного производства товарного паровоза типа (1-5-1) легендарной серии ФД на Луганском паровозостроительном заводе, отмеченном Большой золотой медалью и Дипломом на всемирной выставке в Париже в 1938 г. Проанализированы факторы, которые повлияли на формирование технического задания на разработку перспективных локомотивов для товарного парка железных дорог СССР периода индустриализации, технические особенности и модификации альтернативных конструкций импортных паровозов. Исследована степень привлечения к производству серии ФД иностранных технологий, специалистов и материалов. Отмечается, что в ходе производства паровозы серии ФД испытывали постоянные конструктивные совершенствования при изготовлении ряда уникальных экспериментальных исследовательских образцов. Прослежено возникновение наименования серии – «ФД» и роль ОГПУ в ее создании. Рассмотрены обстоятельства формирования стратегии развития товарного паровозного парка железных дорог СССР 1925 – 1934 гг. Освещены процесс преобразования Луганского паровозостроительного завода в ведущее предприятие страны по производству сверхмощного тягового подвижного состава американского типа на паровой тяге. Установлено, что, в целом, паровозы серии ФД можно охарактеризовать как технологически сложные в производстве и ремонте, мощные, высокопроизводительные локомотивы с относительно простым движущим механизмом, впрочем, неэкономичным паровым котлом и слабой экипажной частью. В течение второй половины 1930-х гг. доля использования паровозов серии ФД в товарном паровозном парке железных дорог СССР непрерывно возрастала, поскольку их конструкция соблюдала оптимальный компромисс между высокими мощностными и скоростными характеристиками локомотива и приемлемой нагрузкой движущих осей на наявное верхнее строение железнодорожного пути большинства грузонапряженных магистралей СССР. Доказано, что исторический опыт становления отечественной научно-производственной базы магистрального паровозостроения требует своего должного осмысления в контексте современных тенденций импорта тягового подвижного состава с попыткой дальнейшей локализации его производства в Украине.*

**Ключевые слова:** Луганский паровозостроительный завод, индустриализация, реконструкция, промышленность, транспорт, железная дорога, паровозы серии ФД.

**Ruban M.Y., Fomin A.V. Historical prerequisites of the construction and development of prospective projects of FD series locomotives at the Luhansk steam locomotive engineering plant (1925 – 1941).**

*The article attempts to investigate the historical preconditions of the creation, circumstances of serial construction of a freight steam locomotive type (1-5-1) of the legendary FD series at the Luhansk Steam Locomotive Plant, awarded a gold medal and a diploma at the World's Fair in Paris in 1938. The factors that influenced the formation of the terms of reference for the development of prospective locomotives for the freight fleet of the USSR railways of the Industrialization period, technical features and modifications of alternative designs of imported locomotives are analyzed. The degree of involvement of foreign technologies, specialists and materials in*

*the production of the FD series are studied. It is noted that during the production of locomotives of the FD series they were undergoing constant design improvement in the manufacture of a number of unique experimental prototypes. The origin of the name of the «FD» series and the role of USPA in its creation are traced. The circumstances of the formation of the strategy for the development of the freight steam locomotive fleet of the USSR railways in 1925 – 1934 are considered. The process of transformation of the Luhansk Steam Locomotive Plant into the leading enterprise of the country for the production of high powerful traction rolling stock of the American type on steam traction is covered. It is established that, in general, locomotives of the FD series can be characterized as technologically difficult to manufacture and repair, powerful, high-performance locomotives with a relatively simple propulsion mechanism, however, uneconomical steam boiler and a weak crew part. During the second half of the 1930s, the share of the use of FD series locomotives in the freight locomotive fleet of the USSR railways grew steadily, as their design maintained an optimal compromise between the high power and speed characteristics of the locomotive and the acceptable load of the driving axles on the existing superstructure of most of the busy highways of the USSR. It is proved that the historical experience of formation of the domestic research and production base of the main steam locomotive industry needs its*

*proper understanding in the context of current trends in the import of traction rolling stock with an attempt to further localize its production in Ukraine.*

**Keywords:** *Luhansk steam locomotive plant, industrialization, reconstruction, industry, transport, railway, locomotives of FD series.*

**Рубан Микола Юрійович**, інженер I категорії Відділу історичної спадщини залізниць України Департаменту корпоративної соціальної відповідальності АТ «Укрзалізниця», член Національної спілки краєзнавців України, аспірант Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

**Фомін Андрій Володимирович**, кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри історії та археології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, член Національної спілки краєзнавців України.

e-mail: [an.f@i.ua](mailto:an.f@i.ua)

<https://orcid.org/0000-0001-9565-3706>

Стаття подана: 15.03.2020.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-57-66>

УДК 004.45+629.432:62-593

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА МЕТРОПОЛІТЕНУ

Сулیم А.О., Сіора О.С., Мельник О.О., Хозя П.О., Третяк Е.В.

## DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC AND SOFTWARE SUPPORT FOR DETERMINATION OF RATIONAL MODE OF THE METRO TRAIN OPERATION

Sulym A.O., Siora O.S., Melnyk O.O., Khozia P.O., Tretiak E.V.

*В статті розроблено алгоритмічне забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда метрополітену. В основу створення алгоритмічного забезпечення покладено вирішення багатокритеріальної задачі за методом задоволених вимог (головного критерію), в якості якого обрано мінімальну кількість споживання електроенергії з контактної мережі. Описано математичну модель та основні етапи алгоритмічного забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда метрополітену. На базі створеного алгоритмічного забезпечення розроблено програмне забезпечення в середовищі графічного програмування LabVIEW. Зображено зовнішній вигляд інтерфейсу розробленого програмного забезпечення. Описано послідовність роботи оператора з розробленим програмним забезпеченням. Апробовано розроблене програмне забезпечення шляхом порівняльного аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень для однакових заданих умов експлуатації поїзда метрополітену. Тестування програмного забезпечення та умови його проведення здійснювались за спеціально розробленою методикою оцінки придатності. Підтверджено адекватність та правильність виконання досліджень за допомогою розробленого програмного забезпечення (розбіжність результатів досліджень не перевищує 5 %).*

**Ключові слова:** алгоритмічне забезпечення, енергоефективність, програмне забезпечення, рекуперативне гальмування.

**Вступ.** Проблема покращення енергозбереження та енергоефективності в метрополітені є однією з найбільш важливих і актуальних через постійне зростання тарифів на енергоресурси. У зв'язку з тим, що комунальні підприємства на балансі яких знаходяться вітчизняні метрополітени, є потужними споживачами електроенергії, порушена проблема залишається досить актуальною та потребує своєчасного вирішення [1].

Одним з основних напрямків підвищення енергоефективності пасажирських перевезень в метрополітені є ефективне використання енергії рекуперативного гальмування [1–5]. Переваги рекуперативного гальмування широко відомі – це і підвищення безпеки руху поїздів і скорочення витрат електроенергії на тягу поїздів. Рекуперативне гальмування є одним із ключових складових енергозберігаючих технологій перевізного процесу та потужним джерелом скорочення споживання електроенергії на тягу поїздів.

За різними оцінками фахівців використання рекуперативного гальмування в метрополітені дозволить заощадити до 40 % електроенергії, витраченої на тягу [1–6]. Однак в реальних умовах експлуатації на ефективність процесу рекуперації впливає ряд факторів організаційного, технічного і технологічного характеру [1–7]. Внаслідок чого, за існуючої системи енергопостачання використовується іншими споживачами, які знаходяться в зоні рекуперації, лише до 10 % електроенергії [8].

Одним з перспективних та дієвих заходів вирішення проблеми щодо зменшення споживання електроенергії на тягу та підвищення ефективності використання енергії рекуперативного гальмування, який не потребує значних фінансових витрат, є удосконалення режимів ведення поїздів [1, 7, 9, 10].

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженнями щодо визначення раціонального режиму ведення електрорухомого складу, зокрема поїзда метрополітену, шляхом використання чисельних методів оптимізації займалось чимало вчених, серед яких Л.А. Баранов, А.П. Голинський, Є.В. Єрофеев, Жданович А.Б., Кислий Д.М., Любарський Б.Г., Мелешин І.С., Носков В.І., Петренко О.М., Чинь Л.М. та інші [10–19]. У переважній більшості ці роботи направлено

на вирішення задачі з визначення раціональних режимів ведення поїзда та керуючих впливів для заданих швидкісних обмежень і профілю колії, за яких забезпечується графік руху на ділянці та мінімальне споживання електроенергії з контактної мережі. В цих роботах досить повно та детально розкрито теорію визначення раціонального режиму ведення поїзда за методом динамічного програмування. При цьому теорії пошуку раціонального режиму ведення за іншими методами вирішення багатокритеріальних задач та практичній реалізації забезпечення з пошуку керуючих впливів, за яких буде забезпечуватись вибір раціонального режиму ведення поїзда, приділено недостатньо уваги. До недавнього часу створення такого алгоритмічного забезпечення та його практична реалізація були проблематичними. Однак з розвитком сучасних інформаційних технологій та засобів мікропроцесорної техніки зазначені задачі отримують нові рішення і практична реалізація таких забезпечень цілком вирішувана. Тому, в цій роботі запропоновано алгоритмічне та програмне забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда метрополітену, що дозволить автоматизувати та пришвидшити процес отримання результатів шляхом використання сучасних методів та засобів для вирішення задач раціоналізації та побудови систем керування.

**Метою роботи** є створення алгоритмічного та програмного забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда та керуючих впливів під час заданих умов експлуатації, за яких забезпечується графік руху на ділянці та споживається мінімальна кількість електроенергії з контактної мережі.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** В основу створення алгоритмічного забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда покладено вирішення багатокритеріальної задачі за методом задоволених вимог (головного критерію). При цьому головним критерієм в нашому випадку є мінімальна кількість споживання електроенергії з контактної мережі. На інші критерії (час руху на перегоні, пройдений шлях та швидкість руху в кінці останнього кроку варіації) накладаються певні задані обмеження. Алгоритмічне забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда метрополітену включає наступні етапи:

- завдання технічних характеристик поїзда;
- завдання профілю колії та швидкісних обмежень на ділянці (перегоні);
- завдання керуючих впливів та кроків варіації;
- підпрограма спрямлення профілю колії;
- побудова швидкісних сіток;
- підпрограма розрахунку кроку варіації;
- визначення режимів ведення, за яких забезпечується заданий пройдений шлях та час руху на перегоні, а швидкість в кінці останнього кроку варіації дорівнює нулю з урахуванням заданих відхилень;
- визначення раціонального режиму ведення поїзда метрополітену за головним критерієм.

Для описання динамічних і енергетичних процесів під час заданих можливих умов ведення поїзда метрополітену з системами рекуперації запропоновано математичну модель, яка представлена у вигляді системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = m \frac{dV}{dt} (1 + \gamma) + W_{\text{осн}} \pm W_i; \\ W_{\text{осн}} = aV^2 + bV + c; \\ W_i = mgi; \\ A_{\text{мережі}} = A_{\text{тяги}} - A_{\text{рек}}; \\ A_{\text{тяги}} = \frac{U_{\text{кмтяги}} \cdot \int_0^t I_{\text{тяги}} dt}{3600}; \\ A_{\text{гал}} = \frac{U_{\text{кмгал}} \cdot \int_0^t I_{\text{гал}} dt}{3600}; \\ I_{\text{тяги}} = \frac{FV}{U_{\text{кмтяги}} \eta_{\text{інв}} \eta_{\text{ТД}} \eta_{\text{ред}}}; \\ I_{\text{гал}} = \frac{FV \eta_{\text{інв}} \eta_{\text{ТД}} \eta_{\text{ред}}}{U_{\text{кмгал}}}; \eta_{\text{ТД}} = f(V), \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $F$  – сила тяги (гальмування) рухомого складу;  $m$  – маса рухомого складу;  $V$  – швидкість руху;  $t$  – поточний час;  $(1 + \gamma)$  – коефіцієнт інерції обертових мас;  $W_{\text{осн}}$  – основний опір руху;  $W_i$  – додатковий опір руху від приведенного ухилу;  $g$  – значення прискорення вільного падіння;  $a, b, c$  – коефіцієнти, які залежать від конструкції рухомого складу;  $i$  – приведений ухил;  $A_{\text{мережі}}$  – кількість спожитої електроенергії з контактної мережі;  $A_{\text{тяги}}$  – кількість спожитої електроенергії в режимі тяги;  $A_{\text{гал}}$  – кількість електроенергії, що віддається в режимі гальмування;  $U_{\text{кмтяги}}$  – напруга контактної мережі в режимі тяги;  $U_{\text{кмгал}}$  – напруга контактної мережі в режимі гальмування;  $I_{\text{тяги}}$  – струм, що споживається рухомим складом в режимі тяги;  $I_{\text{гал}}$  – струм, що генерується рухомим складом в режимі гальмування;  $\eta_{\text{інв}}$  – ККД інвертора;  $\eta_{\text{ТД}}$  – ККД тягового двигуна;  $\eta_{\text{ред}}$  – КПД редуктора.

В запропонованій математичній моделі (1) прийнято наступні припущення: поїзд розглядається як матеріальна точка з центром тяжіння по середині; напруга контактної мережі для заданих режимів тяги, вибігу, рекуперативного гальмування є величиною незмінною. Слід зазначити, що розроблена математична модель дозволяє враховувати конструктивні та технічні особливості поїзда, зміну ККД тягового двигуна залежно від швидкості руху, а також досліджувати енергетичні процеси в режимі рекуперативного гальмування рухомого складу метрополітену.

В подальшому з використанням рівнянь математичної моделі (1) розроблено алгоритмічне забез-

печення, яке дозволяє досліджувати динамічні та енергетичні показники під час заданих режимів ведення поїзда метрополітену. В спрощеному вигляді блок-схему алгоритмічного забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда зображено на рис. 1.

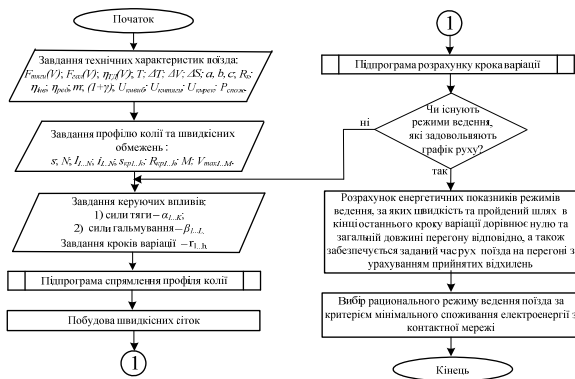


Рис. 1. Блок-схема алгоритмічного забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда

Нижче представлено описання кожного з вищезазначених етапів алгоритмічного забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда метрополітену.

**Перший етап** (завдання характеристик поїзда): тягова характеристика –  $F_{тяги}(V)$ ; гальмівна характеристика –  $F_{гал.}(V)$ ; характеристика ККД тягового двигуна –  $\eta_{ТД}(V)$ . Наведені характеристики поїзда задаються у вигляді масивів даних.

Задаються наступні показники: заданий час руху на ділянці –  $T$ ; допустиме відхилення часу руху поїзда на ділянці –  $\Delta T$ ; допустиме відхилення швидкості в кінці останнього кроку варіації –  $\Delta V$ ; допустиме відхилення відстані в кінці останнього кроку варіації –  $\Delta S$ ; коефіцієнти –  $a, b, c, R_x$ ; ККД інвертора –  $\eta_{інв.}$ ; ККД редуктора –  $\eta_{ред.}$ ; маса поїзда з урахуванням завантаження –  $m$ ; коефіцієнт інерції обертових мас –  $(1+\gamma)$ ; напруга контактної мережі в режимі тяги, вибігу та рекуперативного гальмування –  $U_{кмтяги}, U_{кмвиб.}, U_{кмрек.}$ ; потужність споживання електроенергії на власні потреби –  $P_{спож.}$

**Другий етап** (завдання профілю колії та обмеження швидкості на заданій ділянці): загальна довжина ділянки –  $s$ ; кількість елементів зі змінним профілем на ділянці –  $N$ ; довжина елемента –  $l_{1...N}$ ; ухил елемента –  $i_{1...N}$ ; наявність кривих на елементі – так/ні; довжина кривої (за наявності кривої на елементі) –  $s_{кр1...k}$ , радіус кривої (за наявності кривої на елементі) –  $R_{кр1...k}$ ; кількість ділянок з обмеженням швидкості –  $M$ ; обмеження швидкості –  $V_{max1...M}$ .

**Третій етап** (завдання керуючих впливів та кроків варіації): керування силою тяги –  $a_{1...K}$ , керування силою гальмування –  $\beta_{1...L}$ , де  $K, L$  – кількість можливих керуючих впливів під час руху поїзда в режимах тяги та гальмування відповідно; кількість кроків варіації –  $h$ , довжина кожного кроку варіації –  $\tau_{1...h}$ . Кроки варіації задаються з урахуванням того,

що на кожному кроці профіль колії та швидкість обмеження не повинні змінюватися.

**Четвертий етап** (виконання підпрограми спрямлення профілю колії). Принципи спрямлення профілю колії загальновідомі та розкриті в багатьох існуючих роботах [20–22], тому детально зупинятись на них немає необхідності.

**П'ятий етап** (побудова швидкісної сітки): будується швидкісна сітка у вигляді масивів даних (залежності –  $s(V), t(V), a(V), I_{тяги}(V), I_{рек}(V), P_{тяги}(V), P_{рек}(V), A_{тяги}(V), A_{рек}(V), \Delta S(V)$ ). Кількість швидкісних сіток залежить від кількості заданих керуючих впливів та кількості спрямлених ділянок колії.

Побудова швидкісної сітки передбачає розрахунки вищезазначених показників за умов зміни швидкості на  $\Delta V$  в діапазоні від 0 до  $V_{max}$ . Швидкісна сітка будується залежно від кроку зміни швидкості  $\Delta V$ , який задається на першому етапі під час введення характеристик поїзда.

Швидкісна сітка будується наступним чином: спочатку будується масив даних зміни швидкості (крок зміни швидкості), потім розраховуються масиви даних пройденого шляху, часу руху, прискорення, спожитого або рекуперованого струму, спожитої або рекуперованої потужності, спожитої або рекуперованої електроенергії, загальної електроенергії за крок зміни швидкості  $\Delta V$ . Показники споживання визначаються для швидкісних сіток, за яких поїзд рухається в режимі тяги або вибігу, показники рекуперації – відповідно для режимів рекуперативного гальмування. При цьому пройдений шлях, час руху та прискорення за крок зміни швидкості обчислюється методом інтегрування рівняння руху поїзда. Таким чином, пройдений шлях:

– режим тяги

$$\Delta s = \int_0^s ds = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta'(F_{тяги} - W_{осч} \pm W_i)} \int_{V_1}^{V_2} V dV; \quad (2)$$

– режим вибігу

$$\Delta s = \int_0^s ds = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta'(-W_{осч} \pm W_i)} \int_{V_1}^{V_2} V dV = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta'(W_{осч} \pm W_i)} \int_{V_1}^{V_2} V dV;$$

– режим гальмування

$$\Delta s = \int_0^s ds = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta'(F_{гал} + W_{осч} \pm W_i)} \int_{V_1}^{V_2} V dV, \quad (4)$$

де  $\zeta' = 12,96$  – коефіцієнт;  $V_1, V_2$  – відповідно початкова та кінцева швидкості рухомого складу.

Час руху:

– режим тяги

$$\Delta t = \int_0^t dt = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta'(F_{тяги} - W_{осч} \pm W_i)} \int_{V_1}^{V_2} dV; \quad (5)$$

– режим вибігу

$$\Delta t = \int_0^t dt = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta(-W_{\text{осн}} \pm W_i)} \int_{V_1}^{V_2} dV = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta(W_{\text{осн}} \pm W_i)} \int_{V_2}^{V_1} dV; \quad (6)$$

– режим гальмування

$$\Delta t = \int_0^t dt = \frac{m(1+\gamma)}{\zeta(F_{\text{торм}} + W_{\text{осн}} \pm W_i)} \int_{V_1}^{V_2} dV, \quad (7)$$

де  $\zeta = 3,6$  – коефіцієнт.

Прискорення:

– режим тяги

$$\Delta a = \frac{dv}{dt} = \frac{(F_{\text{тяги}} - W_{\text{осн}} \pm W_i)}{m(1+\gamma)}; \quad (8)$$

– режим вибігу

$$\Delta a = \frac{dv}{dt} = \frac{(-W_{\text{осн}} \pm W_i)}{m(1+\gamma)}; \quad (9)$$

– режим гальмування

$$\Delta a = \frac{dv}{dt} = \frac{(F_{\text{гал}} + W_{\text{осн}} \pm W_i)}{m(1+\gamma)}; \quad (10)$$

Струм:

– режим тяги

$$\Delta I_{\text{тяги}} = \frac{F_{\text{тяги}} \cdot \Delta V}{U_{\text{кмтяги}} \eta_{\text{інв}} \eta_{\text{ТД}} \eta_{\text{ред}}}; \quad (11)$$

– режим гальмування

$$\Delta I_{\text{гал}} = \frac{\eta_{\text{інв}} \eta_{\text{ТД}} \eta_{\text{ред}} \cdot F_{\text{гал}} \cdot \Delta V}{U_{\text{кмгал}}}. \quad (12)$$

Потужність:

– режим тяги

$$\Delta P_{\text{тяги}} = \frac{F_{\text{тяги}} \cdot \Delta V}{3,6}; \quad (13)$$

– режим гальмування

$$\Delta P_{\text{гал}} = \frac{F_{\text{гал}} \cdot \Delta V}{3,6}; \quad (14)$$

Кількість електроенергії:

– режим тяги

$$\Delta A = \frac{U_{\text{кмтяги}} \cdot \int_0^t I_{\text{тяги}} dt}{3600 \cdot 1000}, \quad (15)$$

– режим вибігу

$$\Delta A = \frac{U_{\text{кмвіб}} \cdot \int_0^t I_{\text{віб}} dt}{3600 \cdot 1000}, \quad (16)$$

– режим гальмування

$$\Delta A = \frac{U_{\text{кмгал}} \cdot \int_0^t I_{\text{гал}} dt}{3600 \cdot 1000}. \quad (17)$$

**Шостий етап** (підпрограма розрахунку кроку варіації). Розрахунки розпочинаються з першого кроку варіації. Під час розрахунків першого кроку варіації розглядаються задані керуючі впливи для

режиму тяги. В першу чергу, визначається швидкість в кінці першого кроку варіації для різних керуючих впливів. Швидкість в кінці кожного кроку варіації для кожного керуючого впливу визначається за побудованими швидкісними сітками.

Для всіх керуючих впливів перевіряється умова: «чи швидкість в кінці кроку варіації більша за 0 та менша за встановлену швидкість обмеження на ділянці?». Перевірка зазначеної умови виконується на кожному кроці варіації. Якщо існують керуючі впливи, за яких зазначена умова не виконується, то такі керуючі впливи виключають з подальших розрахунків. Якщо на етапі розрахунків кроку варіації не буде знайдено жодного керуючого впливу, який задовольняє вищезазначеним умовам, то розрахунки мають завершитись та з'явиться повідомлення відповідного змісту: «Відсутні керуючі впливи. Необхідно змінити початкові умови розрахунків (змінити кроки варіації, керуючі впливи тощо).

Для тих керуючих впливів, які задовольняють вищезазначеним умовам, з швидкісної сітки обирається час руху, кількість спожитої або рекуперованої електроенергії в кінці кроку варіації.

Після розрахунку кожного керуючого впливу на заданому кроці варіації перевіряється умова: «Для всіх керуючих впливів виконані розрахунки?» У випадку виконання умови підпрограма розрахунку виконується для наступного кроку варіації. В іншому випадку здійснюються розрахунки для наступного керуючого впливу для даного кроку варіації.

При зміні кроку варіації виконується перевірка умови «Крок варіації останній?». Якщо умова виконується, тоді здійснюється визначення режимів ведення, за яких швидкість в кінці останнього кроку варіації дорівнює нулю та забезпечується заданий час руху на перегоні з урахуванням прийнятих відхилень. В іншому випадку розрахунки виконуються для наступного кроку варіації.

**Сьомий етап** (визначення режимів ведення, за яких швидкість та пройдена відстань в кінці останнього кроку варіації дорівнює нулю та загальній довжині перегону відповідно, а також забезпечується заданий час руху на перегоні з урахуванням прийнятих відхилень).

У разі відсутності режимів ведення, за яких швидкість в кінці останнього кроку варіації дорівнює нулю та забезпечується заданий час ходу з урахуванням прийнятих відхилень, має з'явиться повідомлення наступного змісту: «Відсутні режими ведення. Необхідно змінити початкові умови розрахунків (змінити кроки варіації, керуючі впливи тощо).

Для обраних режимів ведення яких (швидкість в кінці останнього кроку варіації дорівнює нулю, пройдена відстань в кінці останнього кроку варіації дорівнює загальній довжині перегону, а також забезпечується заданий час руху на перегоні з урахуванням прийнятих відхилень) розраховується кількість спожитої електроенергії на тягу, кількість рекуперованої електроенергії в мережу, а також зага-

льна кількість спожитої електроенергії з мережі з урахуванням повернення електроенергії рекуперації в мережу. Другий та третій показники розраховуються за умов наявності систем рекуперації на рухомому складі.

Кількість спожитої електроенергії в режимі тяги визначається за формулою:

$$A_{\text{тяги}} = \sum_{i=1}^h A_{\text{тяги}i}; \quad (18)$$

Кількість рекуперованої електроенергії поїздом в мережу під час рекуперативного гальмування визначається за формулою:

$$A_{\text{рек}} = \sum_{i=1}^h A_{\text{рек}i}; \quad (19)$$

Кількість спожитої електроенергії з мережі визначається за формулою:

$$A_{\text{мережі}} = A_{\text{тяги}} + A_{\text{вп}} - A_{\text{рек}}; \quad (20)$$

де  $A_{\text{вп}}$  – кількість електроенергії, яка спожита системою поїзда на власні потреби.

За наявності одночасно декількох режимів ведення з однаковими мінімальними значеннями споживання з мережі обирається значення з мінімальним споживанням електроенергії в режимі тяги.

**Восьмий етап** (обирається раціональний режим ведення за головним критерієм – керуючий вплив, за якого спостерігається мінімальне значення споживання електроенергії на тягу з контактної мережі).

З використанням запропонованої математичної моделі та алгоритмічного забезпечення розроблено комп'ютерну програму «Rational Trajectory» (далі – КП «RT») для визначення раціонального режиму ведення поїзда при заданих умовах експлуатації. При цьому розроблена КП «RT» дозволяє автоматизувати розрахунки динамічних та енергетичних показників поїзда під час його руху за умов раціонального режиму ведення. Розроблена КП «RT» включає в себе підпрограму «Спрявлення» та «Розрахунок кроку варіації».

Програма розроблена в середовищі графічного програмування LabVIEW, головними перевагами якої є можливість реалізації алгоритмів високого рівня складності, простота реалізації, наявність зручного графічного інтерфейсу.

Зовнішній вигляд графічного інтерфейсу оператора КП «RT», зображено на рис. 2. Інтерфейс програми умовно поділений на кілька фрагментів за їх функціональним призначенням. Графічний інтерфейс оператора має три вкладки: вхідні параметри, проміжні дані та результат. При запуску КП «RT» завжди відкривається вкладка вхідні параметри, де оператор має змогу ввести всі необхідні для розра-

хунку дані та скористатись підпрограмою «Спрявлення» (етапи 1–4). Функціональне призначення інших двох вкладок – це відображення проміжних (етапи 5–7) та кінцевих результатів розрахунку (етап 8).

Створена КП «RT» під час своєї роботи використовує зовнішні файли даних, які розташовані у спеціальному вкладеному каталозі. Необхідно уникати видалення чи модифікації будь-якого файлу в цій директорії. В каталозі розміщуються наступні зовнішні файли: характеристики поїзда метрополітену, характеристики ділянки перегону, інструкція користувача КП «RT».

Після запуску програми перед оператором з'являється інтерфейс основного модулю програми (рис. 2).

Для введення розрахункових даних оператор повинен виконати наступну послідовність дій:

– за допомогою відповідної кнопки завантажити характеристики поїзда (рис. 2, п.1) або ввести їх вручну;

– натиснути перемикач (рис. 2, п.2), програма виконає розрахунок параметру  $W_{\text{осн}}$  та додасть результат до попередньо введеного масиву даних;

– ввести технічні характеристики поїзду (рис. 2, п. 3);

– завантажити характеристики перегону (рис. 2, п. 4) або ввести їх вручну та виконати його спрявлення (рис. 2, п. 5);

– вручну заповнити масив керуючих впливів (рис. 2, п. 6) та кроки варіації разом з обмеженням по швидкості для кожного кроку (рис. 2, п. 7).

На рис. 3 представлено інтерфейс КП «RT» з введеними даними готовими для розрахунку.

Для виконання розрахунку необхідно натиснути кнопку (рис. 2, п. 8) та дочекатися завершення розрахунку.

У разі якщо розрахунок виконується безуспішно (відсутні раціональні режими ведення) перед оператором з'являється повідомлення «Рішення відсутні». При цьому рекомендується змінити вхідні дані та повторити розрахунок.

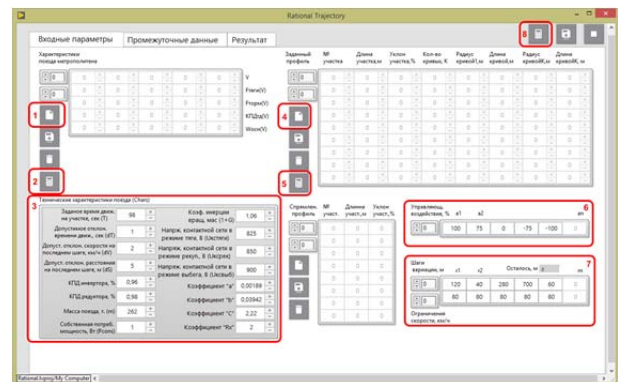


Рис. 2. Загальний вигляд інтерфейсу КП «RT». Вкладка «Вхідні параметри»

На вкладці «Проміжні дані» (рис. 4) розміщені всі результати розрахунку, а саме: «Швидкісні сітки» (чотиривимірний масив даних), усі розраховані «Кроки варіації» (двохвимірний масив даних), усі результуючі кроки варіації («Результати»), що задовольняють вхідним обмеженням (двохвимірний масив).

На вкладці «Результат» (рис. 5), в якості одно-вимірного масиву представлений раціональний результат розрахунку, а також значення кількості електроенергії в режимі тяги, в режимі рекуперативного гальмування та їх різниці. Крім того на даній вкладці розміщений інформативний індикатор часу, що було затрачено на виконання даного розрахунку.

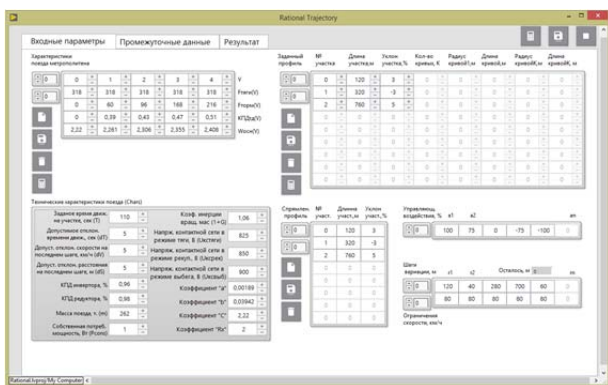


Рис. 3. Загальний вигляд інтерфейсу КП «RT». Готовність до розрахунку

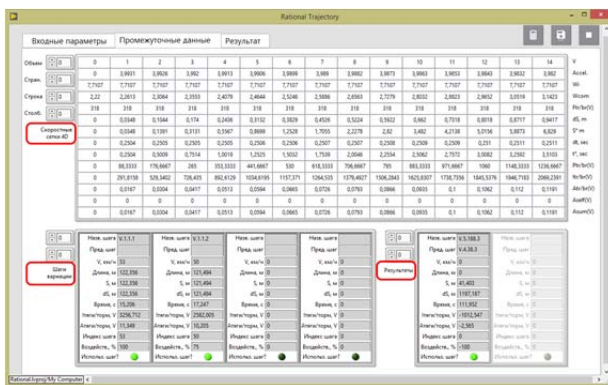


Рис. 4. Загальний вигляд інтерфейсу КП «RT». Вкладка «Проміжні дані»

Після виконання розрахунку оператор має змогу зберегти результати у вигляді зовнішнього файлу-звіту (рис. 5, п.1). До цього файлу заносяться всі розраховані швидкісні сітки, вхідні характеристики поїзда, що використовувалися для розрахунку та двухвимірний масив результатів, що задовольняють вхідні обмеження. При цьому раціональний режим ведення розміщується першим елементом масиву.

При кожному завантаженні програми оператор отримує порожній інтерфейс для вводу вхідних даних для розрахунку. Може виникнути ситуація, коли необхідно буде повернутись до якогось розрахунку, виконаного раніше, та змінити значення кількох параметрів. Тому в програмі передбачена можливість

збереження і завантаження значень всіх елементів вкладки «Вхідні параметри» у окремі зовнішні файли. Для цього слід використовувати елементи інтерфейсу з зображенням дискети.

Послідовність роботи з КП «RT»:

- запустити КП «RT» на виконання;
- ввести вхідні дані для розрахунку;
- виконати необхідні розрахунки;
- зберегти звіт з результатами розрахунку за необхідності;
- завершити роботу з програмою, натиснувши відповідну кнопку інтерфейсу програми (рис. 5, п.2).

Оцінку придатності розробленого КП «RT» виконано за точністю визначення основних вихідних динамічних та енергетичних параметрів, раціонального режиму ведення, під час заданих умов експлуатації поїзда метрополітену. Алгоритм тестування та оцінки заснований на принципі порівняння результатів досліджень, виконаних за допомогою КП «RT» та редактору Microsoft Excel, за однакових заданих умов.

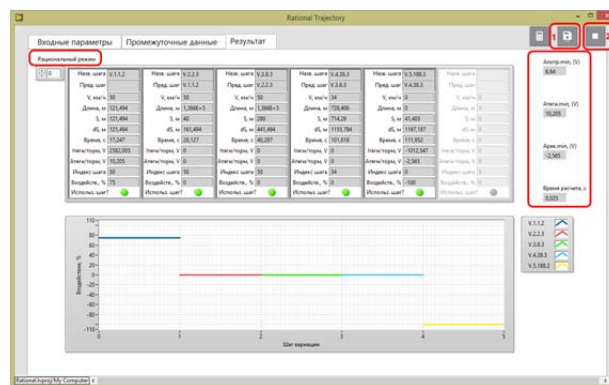


Рис. 5. Загальний вигляд інтерфейсу КП «RT». Вкладка «Результат»

Оцінка проводилась наступним чином:

- виконувались теоретичні розрахунки основних проміжних та кінцевих параметрів за допомогою редактору Microsoft Excel та КП «RT» для заданих умов експлуатації поїзда метрополітену;
- придатність КП «RT» визначалась шляхом порівняння результатів досліджень, виконаних в редакторі Microsoft Excel та КП «RT».

Послідовність операцій, що виконуються при оцінці придатності КП «RT» наступна:

- введення вхідних даних для виконання теоретичних розрахунків в редакторі Microsoft Excel;
- розрахунок динамічних та енергетичних параметрів руху поїзда, визначення раціонального режиму ведення в редакторі Microsoft Excel;
- збереження результатів теоретичних розрахунків в редакторі Microsoft Excel;
- введення вхідних даних для виконання теоретичних розрахунків в КП «RT»;
- розрахунок параметрів руху поїзда, визначення раціонального режиму ведення в КП «RT»;

– збереження результатів теоретичних розрахунків, виконаних КП «РТ» в формі звітів;

– оцінка та порівняння результатів, виконаних за допомогою редактору Microsoft Excel та КП «РТ».

Методика тестування та оцінки КП «РТ» складалась з трьох окремих експериментів. При цьому для кожного експерименту тягово-енергетичні характеристики поїзда однакові; керуючі впливи, кроки варіації, профіль колії – різні. В якості дослідного поїзда обрано модернізований поїзд з системами рекуперації (вагони моделей 81-7080, 81-7081, 81-7081-01). В якості дослідної ділянки обрано Святошинсько-Броварську лінію КП «Київський метрополітен».

Умови проведення експериментів наступні:

1) досліджувана ділянка «Політехнічний університет–Шулявська» (довжина 1200 м). Кількість керуючих впливів під час руху поїзда в режимі тяги – 3 ( $\alpha_1=100\%$ ;  $\alpha_2=75\%$ ;  $\alpha_3=50\%$ ). Кількість керуючих впливів під час руху поїзда в режимі рекуперативного гальмування – 2 ( $\beta_1=100\%$ ;  $\beta_2=75\%$ ). Кількість кроків варіації – 6 ( $r_1=60$  м;  $r_2=60$  м;  $r_3=320$  м;  $r_4=660$  м;  $r_5=40$  м;  $r_6=60$  м).

2) досліджувана ділянка «Театральна–Університет» (довжина 882,3 м). Кількість керуючих впливів під час руху поїзда в режимі тяги – 2 ( $\alpha_1=100\%$ ;  $\alpha_2=75\%$ ). Кількість керуючих впливів під час руху поїзда в режимі рекуперативного гальмування – 2 ( $\beta_1=100\%$ ;  $\beta_2=75\%$ ). Кількість кроків варіації – 5 ( $r_1=120$  м;  $r_2=40$  м;  $r_3=280$  м;  $r_4=700$  м;  $r_5=60$  м).

3) досліджувана ділянка «Політехнічний університет–Шулявська» (довжина 1200 м). Кількість керуючих впливів під час руху поїзда в режимі тяги – 3 ( $\alpha_1=100\%$ ;  $\alpha_2=75\%$ ;  $\alpha_3=50\%$ ). Кількість керуючих впливів під час руху поїзда в режимі рекуперативного гальмування – 2 ( $\beta_1=100\%$ ;  $\beta_2=75\%$ ). Кількість кроків варіації – 5 ( $r_1=120,7$  м;  $r_2=255$  м;  $r_3=146$  м;  $r_4=280$  м;  $r_5=80,6$  м).

За результатами проведення експериментів визначались наступні параметри: швидкісні сітки для кожного кроку варіації та профілю колії; час руху на дослідній ділянці, пройдена відстань, струм споживання, струм рекуперації, витрати електроенергії на тягу, кількість електроенергії, що повернуто до мережі.

При визначенні одного або декількох вихідних параметрів похибка оцінювалась в такий спосіб:

– абсолютна похибка між даними, що отримані в результаті досліджень за допомогою редактору Microsoft Excel та КП «РТ»:

$$\Delta = |X_{ME} - X_{RT}|, \quad (21)$$

де  $X_{ME}$  – значення параметру, отриманого в редакторі Microsoft Excel;  $X_{RT}$  – значення параметру, отриманого в КП «РТ»;

– відносна похибка:

$$\delta = \frac{|X_{ME} - X_{RT}|}{X_{RT}} \cdot 100, \quad (22)$$

Порівняльний аналіз результатів досліджень дозволив встановити, що для заданих однакових вхідних даних (профіль колії, керуючі впливи та кроки варіації) розбіжність значень основних вихідних параметрів не перевищує 5%. Отже, в цілому збіжність результатів задовільна, що свідчить про правильність та достовірність розробленої комп'ютерної програми для визначення раціонального режиму ведення поїзда та керуючих впливів під час заданих умов експлуатації.

**Висновки.** 1. Розроблено алгоритмічне забезпечення для визначення раціонального режиму ведення поїзда та керуючих впливів під час заданих умов експлуатації поїзда метрополітену, в основу якого покладено вирішення багатокритеріальної задачі за методом задоволених вимог (головного критерію). При цьому головним критерієм є мінімальна кількість споживання електроенергії з контактної мережі. На інші критерії (час руху на перегоні, пройдений шлях та швидкість руху в кінці останнього кроку варіації) накладаються певні задані обмеження. Розроблене алгоритмічне забезпечення стало передумовою для створення програмного забезпечення.

2. Розроблено КП «РТ», яка дозволяє автоматизувати процес визначення раціонального режиму ведення поїзда метрополітену при заданих умовах його експлуатації та досліджувати при цьому динамічні та енергетичні показники. Це програмне забезпечення дозволить зменшити час і вартість виконання досліджень, а також підвищить точність отримання результатів.

3. Результати досліджень, отримані за допомогою редактору Microsoft Excel та КП «РТ», відрізняються не більше ніж на 5%. Порівняльний аналіз показав задовільну збіжність результатів, що свідчить про правильність та достовірність виконання досліджень розробленим програмним забезпеченням. Тому, КП «РТ» можливо використовувати для визначення раціонального режиму ведення поїзда та керуючих впливів під час заданих умов експлуатації, за яких забезпечується графік руху на ділянці та споживається мінімальна кількість електроенергії з контактної мережі.

#### Література

1. Донченко А.В., Сулим А.О., Сіора О.С., Мельник О.О., Федоров В.В. Аналіз питань енергозбереження та енергоефективності під час експлуатації рухомого складу метрополітену. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізничного трансп. 2016. № 3(63). С. 108–119. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74732>
2. Khodaparastan M., Mohamed Ahmad A., Brandauer W. Recuperation of regenerative braking energy in electric

- rail transit systems. *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*. 2018. № 20. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2886809>
3. Шевлюгин М. В., Желтов К. С. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии. *НТТ – Наука и техника транспорта*. 2008. № 1. С. 15–20.
  4. Кузнецов В.Г., Саблин О.И., Губский П.В., Кольхаев Е.Г. Анализ резервов энергосбережения при внедрении системы рекуперации энергии на поездах Днепропетровского метрополитена. *Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. Нац. гірничого ун-ту*. 2015. № 95. С. 68–73.
  5. Сулим А.О., Третьяк Е.В., Хозя П.О., Мельник О.О., Мужичук С.О. Оцінка резервів енергозбереження під час штатних умов експлуатації рухомого складу метрополітену з системами рекуператії. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2019. № 3(47). С. 66–77. DOI: <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2019.3.47.66-77>
  6. Саблін О.І. Дослідження ефективності процесу рекуператії електроенергії в умовах метрополітену *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Вып. 8 (72) /том 6/. С. 9–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483>
  7. Енергетика тягових мереж: монографія / В.Г. Сиченко, В.Г. Кузнецов, Д.О. Босий, О.І. Саблін: за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Сиченка. Дніпро : Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2017. 210 с.
  8. Саблин О.И. Повышение эффективности рекуперации энергии в системе электроtransporta при ограниченном тяговом энергопотреблении. *Технологический аудит и резервы производства*. 2014. № 6/1(20). С. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483>
  9. Палант О.Ю., Стаматін В.В. Огляд наявних і перспективних систем автоведення поїздів метрополітену. *Проблеми економіки*. 2019. № 2(40). С. 119–125. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-2-119-125>
  10. Мелешин И.С. Как сэкономить на тягу. *Энергоэффективность и энергосбережение*. 2013. № 7-8. С. 65–67.
  11. Гольинский А. П., Жданович А.Б. Автоведение поездов метрополитена – базовая функция системы «Движение». *Транспорт Российской Федерации*. 2011. 3 (34). С. 44–45.
  12. Носков В. И. Задача синтеза системы управления движением транспортного средства. *Коммунальное хозяйство городов*. 2002. № 55. С. 166–171.
  13. Оптимизация управления движением поездов: под ред. доктора техн. наук Л. А. Баранова / Л. А. Баранов, Е. В. Ерофеев, И. С. Мелешин, Л. М. Чинь. Москва : МИИТ, 2011. 164 с.
  14. Li X., Lo H. K. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations. *Transportation Research*. 2014. Part B (64). P. 73–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.03.006>
  15. Кислий Д.М. Визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізничного трансп.* 2016. № 1(61). С. 71–84. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/60983>
  16. Petrenko O., Liubarskiy B., Pliugin V. Determination of railway rolling stock optimal movement modes. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2017. No 6. P. 27–31. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.6.04>
  17. Любарський Б.Г. Рациональні швидкісні режими руху приміського електропоїзду з асинхронними тяговими двигунами. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2015. № 18(1127). С. 86–92.
  18. Карачева К.Е. Расчет энергооптимальной траектории движения поезда метрополитена. *Материалы 53-й Международной студенческой конференции МНСК-2015: Транспорт / Новосибир. гос. ун-т, Новосибирск, 2015, С. 14.*
  19. Yatsko S., Sytnik B., Vashchenko A., Sidorenko Y., Liubarskiy B., Veretennikov I., Glebova M. Comprehensive approach to modeling dynamic processes in the system of underground rail electric traction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Issue 1 (97). P. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154520>
  20. Байрыева Л. С., Прокопович А.В. Теория электрической тяги. *Методическое пособие*. Москва: Изд-во МЭИ, 2004. 40 с.
  21. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н., Озеров М.И. Теория электрической тяги: под ред. И.П. Исаева. Москва: Транспорт, 1995. 294 с.
  22. Слепцов М.А., Долаберидзе Г.П., Прокопович А.В. и др. *Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учеб. заведений*. Москва: Издательский центр «Академия». 2006. 464 с.

#### References

1. A.V. Donchenko, A.O. Sulym, A.S. Siora, A.A. Melnyk, V.V. Fedorov. Analysis of energy saving and energy efficiency issues during operation of the metro rolling stock. *Scientific and technical library Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. 2016. № 3(63). P. 108–119. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74732>
2. Khodaparastan M., Mohamed Ahmad A., Brandauer W. Recuperation of regenerative braking energy in electric rail transit systems. *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*. 2018. № 20. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2886809>
3. Shevlyugin M.V., Zheltov K.S. On reduction of electric power consumption in Moscow underground by application of capacitive energy storage devices. *Science and Technology in Transport*. 2008. № 1. P. 15–20.
4. Kuznecov V.G., Sablyn O.Y., Gubskiy P.V., Kolyhaev E.G. Analiz rezervov energosberezheniya pri vnedrenny systemy rekuperacyyu energyy na poezdah Dnepropetrovskogo metropolytenu. *Girnycha elektromehanika ta avtomatyka: nauk.-tehn. zb. Nac. girnychogo un-tu*. 2015. № 95. С. 68–73.
5. A. Sulim, E. Tretiak, P. Hozia, O. Melnyk, S. Muzychuk. Estimation of energy saving reserves under normal operating conditions of metro rolling stock with regenerative energy systems. *Scientific production journal «Electromechanical and energy saving systems»*. 2019. № 3(47). P. 66–77. DOI: <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2019.3.47.66-77>
6. Sablin, O. Study of the efficiency of the electric energy recovery process in the subway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. No 8 (72) /vol 6/. P. 9–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483>
7. Energetyka tjavovyh merezh: monografija / V.G. Sychenko, V.G. Kuznecov, D.O. Bosyj, O.I. Sablin: za zag. red. d-ra tehn. nauk, prof. V. G. Sychenka. Dnipro : Vyd-vo PF «Standart-Servis», 2017. 210 s.
8. Sablyn O.Y. Povyshenye efektyvnosti rekuperacyyu energyy v systeme elektrotransporta pri ogranychennom tjavog-

- vom energopotreblenyy. Tehnologicheskyy audyt i rezervy proizvodstva. 2014. № 6/1(20). P. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483>.
9. Palant O.Y., Stamatina V.V. Overview of the Existing and Promising Automatic Train Operation Systems for Underground. The Problems of Economy. 2019. № 2(40). P. 119–125. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-2-119-125>.
  10. Meleshyn Y.S. Kak sekonomyt' na tjagu. Energoeffektivnost' i energoberezhnyye. 2013. № 7-8. P. 65–67.
  11. Golynskiy A.P., Zhdanovych A.B. Avtovedenye poezdov metropolityena – bazovaya funkcyja systemy «Dvyzhenyye». Transport Rossyjskoj Federacyi. 2011. 3 (34). P. 44–45.
  12. Noskov V.Y. Zadacha synteza systemy upravleniya dvyzheniem transportnogo sredstva. Kommunal'noe hozjajstvo gorodov. 2002. № 55. P. 166–171.
  13. Optymyzacija upravleniya dvyzheniem poezdov: pod red. doktora tehn. nauk L.A. Baranova / L.A. Baranov, E.V. Erofeev, Y.S. Meleshyn, L.M. Chyn'. Moskva : MIIT, 2011. 164 p.
  14. Li X., Lo H. K. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations. Transportation Research. 2014. Part B (64). P. 73–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.03.006>
  15. D.M. Kyslyi. Energy saving modes definition of trains handling. Scientific and technical library Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. 2016. № 1(61). P. 71–84. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/60983>
  16. Petrenko O., Liubarskiy B., Pliugin V. Determination of railway rolling stock optimal movement modes. Electrical Engineering & Electromechanics. 2017. No 6. P. 27–31. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.6.04>.
  17. Liubarskiy B. Rational speeds of movement of suburban electric trains with asynchronous traction motors. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». 2015. № 18(1127). P. 86–92.
  18. Karacheva K.E. Raschet energooptimal'noj traektorii dvyzheniya poezda metropolityena. Materialy 53-j Mezhdunarodnoj studencheskoj konferencyi MNSK-2015: Transport / Novosyb. gos. un-t, Novosybyrsk, 2015, P. 14.
  19. Yatsko S., Sytnik B., Vashchenko A., Sidorenko Y., Liubarskiy B., Veretennikov I., Glebova M. Comprehensive approach to modeling dynamic processes in the system of underground rail electric traction. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Issue 1 (97). P. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154520>.
  20. Bajrieva L.S., Prokopovych A.V. Teoryja elektrycheskoj tyagy. Metodicheskoe posobie. Moskva: Yzd-vo MEY, 2004. 40 p.
  21. Rozenfel'd V.E., Ysaev Y.P., Sydorov N.N., Ozerov M.Y. Teoryja elektrycheskoj tyagy: pod red. Y.P. Isaeva. Moskva: Transport, 1995. 294 p.
  22. Slepcev M.A., Dolaberydze G.P., Prokopovych A.V. i dr. Osnovy elektrycheskogo transporta: uchebnyk dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij. Moskva: Izdatel'skiy centr «Akademyja». 2006. 464 p.

**Сулим А.А., Сиора А.С., Мельник А.А., Хозя П.А., Третьяк Э.В. Разработка алгоритмического и программного обеспечения для определения рационального режима ведения поезда метрополитена**

*В статье разработано алгоритмическое обеспечение для определения рационального режима ведения поез-*

*да метрополитена. В основу создания алгоритмического обеспечения возложено решение многокритериальной задачи методом удовлетворенных требований (главного критерия), в качестве которого выбрано минимальное количество потребления электроэнергии из контактной сети. Описана математическая модель и основные этапы алгоритмического обеспечения для определения оптимального режима ведения поезда метрополитена. На базе созданного алгоритмического обеспечения разработано программное обеспечение в среде графического программирования LabVIEW. Изображен внешний вид интерфейса разработанного программного обеспечения. Описаны последовательность работы оператора с разработанным программным обеспечением. Апробировано разработанное программное обеспечение путем сравнительного анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований для одинаковых заданных условий эксплуатации поезда метрополитена. Тестирование программного обеспечения и условия его проведения осуществлялись по специально разработанной методике оценки пригодности. Подтверждена адекватность и правильность выполнения исследований с помощью разработанного программного обеспечения (расхождение результатов исследований не превышает 5%).*

**Ключевые слова:** алгоритмическое обеспечение, энергоэффективность, программное обеспечение, рекурративное торможение.

**Sulym A.O., Siora O.S., Melnyk O.O., Khozia P.O., Tretiak E.V. Development of algorithmic and software support for determination of rational mode of the metro train operation**

*The article deals with the algorithm support to determine the rational mode of a metro train driving. The solution of a multicriteria problem by the method of satisfied requirements (the main criterion), which is chosen as the minimum amount of electricity consumption from the catenary is underlying the creation of the algorithm. The algorithmic support for determining the rational mode of operation of the metro train is based on finding of such a control effect for the given speed limits on the section, which assures a schedule and consumes the minimum amount of electricity from the catenary.*

*The paper describes the mathematical model and the basic stages of algorithmic support for definition of a rational mode of the metro train operation. The algorithm for determining the rational mode of metro train operation includes the following stages: setup of the technical characteristics of the train; setup of the track profile and speed limits on the section; tasks of control effects and steps of variation; track profile routing subprocedure; construction of a high-speed net grid; subroutine for calculating the variation step; determination of driving modes, which provides a given time of movement on the track running section and zero speed at the end of the last step of the variation; determination of the rational mode of metro train driving.*

*On the basis of the created algorithmic support the software is developed under graphic programming LabVIEW. The appearance of the interface of the developed software is shown. The paper describes the sequence of operation of the operator with the developed software. The developed software is tested on the example of three separate experiments by the comparative analysis of results of theoretical (using the Microsoft Excel editor) and experimental (using the developed software) researches for identical set conditions of operation of the metro train. Software testing and conditions of its implementation were carried out according to a specially devel-*

*oped validity procedure. The faithfulness and correctness of research is confirmed by the use of the developed software.*

**Keywords:** *algorithmic support, energy efficiency, software, regenerative braking.*

**Сулим Андрій Олександрович** – кандидат технічних наук, заступник директора з наукової роботи, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», [sulim1.ua@gmail.com](mailto:sulim1.ua@gmail.com)

**Сіора Олександр Сергійович** – менеджер ввіділу кваліфікації і калібрування обладнання, Товариство з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство «Радікс», [alexandrsiora@gmail.com](mailto:alexandrsiora@gmail.com)

**Мельник Олександр Олександрович** – завідувач науково-дослідної групи науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки, Державне

підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», [om.oleksandrmelnyk@gmail.com](mailto:om.oleksandrmelnyk@gmail.com)

**Хозя Павло Олександрович** – кандидат технічних наук, старший науковий дослідник, завідувач науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», [pavlo.khozia@gmail.com](mailto:pavlo.khozia@gmail.com)

**Третяк Едуард В'ячеславович** – провідний інженер науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», [edgarkremenchug@ukr.net](mailto:edgarkremenchug@ukr.net)

Стаття подана 30. 08.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-67-73>

УДК 629.463

## ВПЛИВ ПОВЗДОВЖНЬО-ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ ГАЛЬМОВОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІЗКА ВАГОНА, ОБЛАДНАНОГО НОВИМ КОНЦЕПТОМ УПРЯЖНОГО ПРИСТРОЮ

Фомін О.В., Ловська А.О., Горбунов М.І.

## THE INFLUENCE OF LONGITUDINAL-DYNAMIC LOADS ON THE STRENGTH OF THE BRAKE LEVEL TRANSMISSION OF A WAGON FURNISHED WITH A NEW CONCEPT OF A DRIVE

Fomin O.V., Lovska A.O., Horbunov M.I.

*Досліджено повздожню навантаженість вантажного поїзда, обладнаного новими концептами упряжного пристрою. Встановлено, що використання концепту упряжного пристрою дозволяє знизити повздожню навантаженість поїзда майже на 30% у порівнянні з типовою схемою взаємодії локомотива з вагонами. Проведено розрахунок на міцність гальмової важільної передачі вантажного вагона, обладнаного новим концептом упряжного пристрою. При цьому максимальні еквівалентні напруження в елементах гальмової важільної передачі нижчі майже на 35% у порівнянні з типовою схемою. Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційних конструкцій рухомого складу з покращеними техніко-економічними та динамічними показниками.*

**Ключові слова:** упряжний пристрій; повздожня динаміка; динамічна навантаженість; несуча конструкція; міцність; гальмова важільна передача.

**Вступ.** Підвищення швидкостей руху залізничного транспорту в сучасних умовах експлуатації вимагає приділення особливої уваги питанням забезпечення безпеки руху. Однією з найважливіших складових рухомого складу, від якої залежить безпека руху є гальмова система. Складові гальмової системи в умовах експлуатаційних режимів випробовують значні навантаження. Для забезпечення ефективності роботи гальмової системи постійно приділяється увага удосконаленню її конструкції, матеріалів виконання, схеми роботи тощо.

Важливо зазначити, що зменшити навантаженість гальмової системи рухомого складу, зокрема гальмової важільної передачі, як виконавчої складової гальма, можливо шляхом зменшення повздожньої навантаженості поїзда. Відомо, що повздожнє навантаження в поїзді сприймається автозчепним пристроєм та частково гаситься поглинальним апаратом упряжного пристрою.

На сьогоднішній день у типовій конструкції автозчепного пристрою СА-3 використовуються упряжні пристрої, які складаються з тягового хому та поглинальним апаратом, клина, підтримуючої планки та упорної плити. При цьому поглинальні апарати мають достатньо складну конструкцію та значну вартість.

Тому впровадження нового концепту упряжного пристрою з метою зменшення динамічної навантаженості рухомого складу є досить актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження повздожньо-динамічних сил у вантажному поїзді при використанні різних типів поглинальних апаратів проводиться у [1]. Моделювання повздожньої динаміки здійснено в програмі Universal Mechanism UM8.1. Проаналізовано значення повздожніх зусиль в поїзді та визначено найбільш оптимальний для використання тип поглинального апарату.

Питанням удосконалення конструкції автозчепного пристрою для зменшення повздожньої навантаженості вагонів у складі поїзда в роботі уваги не приділяється.

Заходи щодо підвищення ефективності експлуатації гальм рухомого складу висвітлені у [2]. Апробовано графоаналітичний алгоритм для дуального зносу колодок, який дозволяє визначити величину і напрямок дії силових факторів. Але автором не проводяться дослідження щодо впливу цих факторів на повздожню динаміку поїзда.

Визначення повздожньої динаміки в з'єднаних поїздах розглядається у [3]. Розроблено бездротове вимірвальне обладнання, яке дозволило отримати показники повздожньої динаміки поїзда. Однак задача визначення повздожніх навантажень в поїзді

шляхом математичного моделювання авторами не ставиться.

Розподілення повздовжньо-динамічних сил для різних характеристик гістеретичного буфера проводиться у [4]. В роботі враховано, що час наповнення гальмівних циліндрів стисненим повітрям та параметри буферів вагонів у пасажирському поїзді є однаковими. Тобто вагони мають однакову гальмівну силу.

Однак авторами не проводиться визначення міцності гальмової важільної передачі з урахуванням отриманих повздовжньо-динамічних зусиль.

Дослідження повздовжньої навантаженості довгоскладових вантажних поїздів при гальмуванні проводиться у [5]. Визначено основні показники динаміки поїзда при гальмуванні.

Особливості визначення динамічних характеристик вантажних вагонів при гальмуванні поїзда на криволінійній ділянці висвітлюються у [6]. Проведено оцінку впливу величин кутів вільного повороту автозчепів, радіусів колових кривих, наявність у складі поїзда порожніх вагонів на безпеку руху поїзда.

Однак авторами робіт не запропоновано заходів щодо удосконалення конструкції рухомого складу для покращення показників його динаміки.

Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів проводиться у [7]. Розроблено квазідинамічні моделі процесів гальмування й виконана оцінка щодо відповідних конструктивних рішень стосовно поліпшення роботи гальмової системи вантажних вагонів.

При цьому у роботі не приділено увагу визначенню міцності елементів гальмової важільної передачі з урахуванням запропонованого удосконалення.

**Мета статті.** Метою статті є визначення впливу повздовжньо-динамічних навантажень на міцність гальмової важільної передачі візка вантажного вагона, обладнаного новим концептом упрядного пристрою.

Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

- запропонувати новий концепт упрядного пристрою вантажного вагона;

- визначити величину повздовжнього навантаження вагона, обладнаного новим концептом упрядного пристрою;

- провести розрахунок на міцність гальмової важільної передачі вантажного вагона, обладнаного новим концептом упрядного пристрою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З метою зменшення повздовжньо-динамічних зусиль в поїзді при експлуатаційних режимах, в тому числі при гальмуванні запропоновано використання замість типового автозчепного пристрою концепту упрядного пристрою (рис. 1). При цьому гасіння кінетичної енергії удару відбувається за рахунок перетворення її у роботу сил в'язкого опору. Цей опір створюється за рахунок переміщення дрез дросельні отвори поршня в'язкої рідини за принципом роботи гідравлічного демпфера. Повернення системи у початковий стан здійснюється за допомогою відпущеної пружини.

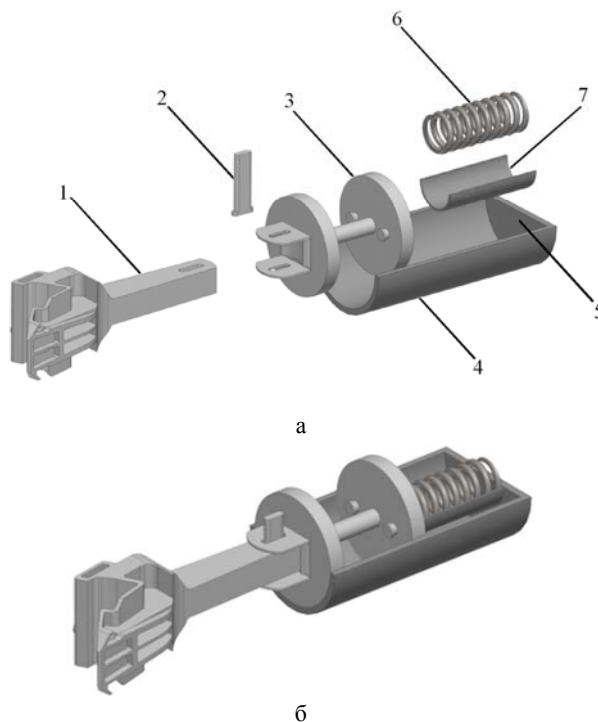


Рис. 1. Концепт упрядного пристрою автозчепу:

а – складові концепту; б – концепт в збірці

1 – корпус автозчепу; 2 – клин; 3 – адаптер; 4 – хребтова балка, виконана з труби круглого перерізу; 5 – днище; 6 – пружина; 7 – телескопічний елемент

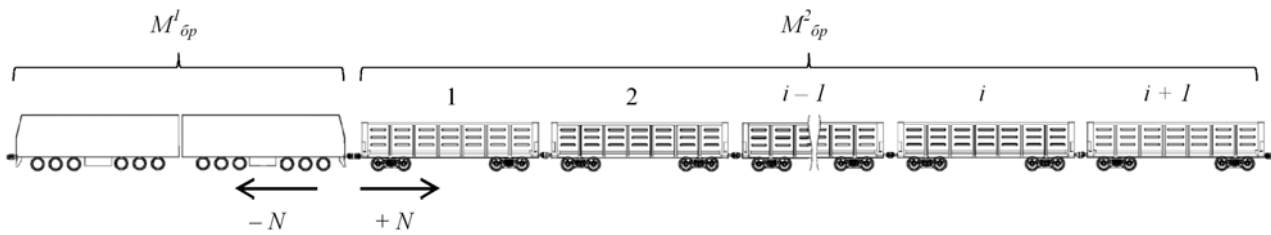


Рис. 2. Розрахункова схема поїзда

Важливо зазначити, що такий концепт упряжного пристрою може бути впроваджений на рухомому складу, хребтові балки якого мають замкнений переріз. Наприклад, таке технічне рішення можна використовувати на вагонах, несучі елементи кузова якого виконані з круглих труб.

Для обґрунтування використання концепту упряжного пристрою з метою зменшення повздовжньо-динамічних зусиль в поїзді проведено розрахунок за методом визначення сили за зчпним пристроєм шляхом уявного розділення поїзда на дві частини [8].

В якості прикладу розглянуто поїзд, який складається з 40 напіввагонів моделі 12-7023. В якості локомотива прийнята модель 2ТЭ10В. Швидкість руху поїзда прийнята рівною 60 км/год. Розрахункова схема наведена на рис. 2.

На підставі III закону Ньютона можна представити реакцію  $N$  у вигляді двох сил з різними знаками.

Тоді рівняння руху для лівої частини поїзда матиме вигляд:

$$M_{оп}^1 \cdot \ddot{x} = F_1(t), \tag{1}$$

$$M_{оп}^2 \cdot \ddot{x} = F_2(t), \tag{2}$$

при цьому

$$F_1(t) = \sum K_1 \cdot \varphi_k - N - \sum \beta \cdot \dot{x}, \tag{3}$$

$$F_2(t) = \sum K_2 \cdot \varphi_k + N - \sum \beta \cdot \dot{x}, \tag{4}$$

де  $M_{оп}^1$ ,  $M_{оп}^2$  – відповідно, маса-брутто лівої та правої частин поїзда;  $\sum K_1$ ,  $\sum K_2$  – відповідно, сума сил натиснення гальмових колодок в лівій та правій частинах поїзда;  $\beta$  – коефіцієнт в’язкого опору, що створюється концептом упряжного пристрою.

Сума сил натиснень гальмових колодок може бути знайдена за формулою [9]

$$\sum K = M_{оп} \cdot g \cdot \delta, \tag{5}$$

де  $\delta$  – нормативне значення коефіцієнта сили гальмового натиснення.

Розв’язок рівнянь (1) та (2) проведений в середовищі програмного забезпечення MathCad [10, 11].

Встановлено, що при типовій схемі взаємодії локомотива і вагонів прискорення, яке діє на склад вагонів складо близько  $1,2 \text{ м/с}^2$ . З урахуванням коефіцієнту в’язкого опору, що створюється концептом упряжного пристрою прискорення складо близько  $0,8 \text{ м/с}^2$ .

Тобто використання концепту упряжного пристрою дозволяє знизити повздовжню навантаженість поїзда майже на 30% у порівнянні з типовою схемою взаємодії локомотива з вагонами.

У зв’язку з тим, що при використанні концепту упряжного пристрою зменшується повздовжня навантаженість поїзда, то, відповідно, зменшується і навантаження, яке передається на гальмові колодки.

В результаті гальмування поїзда на горизонтальному шляху відбувається сповільнення його руху. При цьому інерційна дія  $F_{II}$  маси всього поїзда, рівна і протилежна силі всіх гальм  $\sum \Delta B_T$  [8]

$$F_{II} = \sum \Delta B_T. \tag{6}$$

Оскільки

$$B_T = K \cdot \varphi_k, \tag{7}$$

де  $K$  – сила натискання колодки на колесо;  $\varphi_k$  – коефіцієнт тертя між колодкою та колесом.

Звідси,

$$K = \frac{B_T}{\varphi_k} = \frac{F_{II}}{\varphi_k}. \tag{8}$$

На підставі проведених розрахунків встановлено, що при використанні нового концепту упряжного пристрою  $K = 31,3 \text{ кН}$ , а при типовій схемі зчеплення вагонів –  $K = 48,3 \text{ кН}$ .

Отримані значення сил натискання враховано, при розрахунках на міцність гальмової важільної передачі візка моделі 18-100.

Для визначення міцності гальмової важільної передачі з урахуванням використання концепту упряжного пристрою побудовано її просторову модель в середовищі програмного забезпечення SolidWorks (рис. 3).

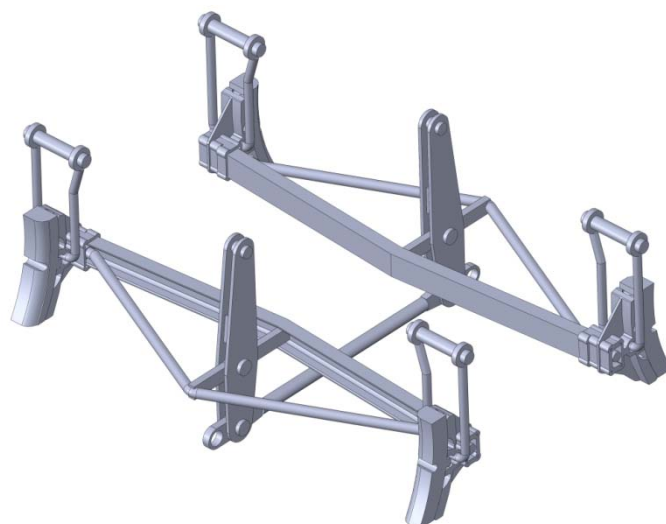


Рис. 3. Гальмова важільна передача візка вантажного вагона

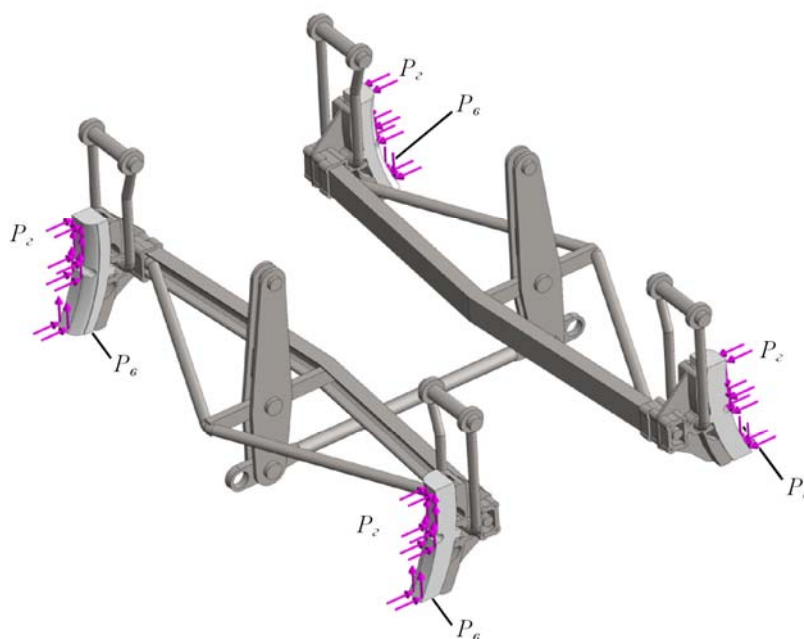


Рис. 4. Розрахункова схема гальмової важільної передачі

Розрахунок реалізований в середовищі CosmosWorks. В якості скінчених елементів використані ізопараметричні тетраедри. Оптимальна кількість елементів моделі визначена графоаналітичним методом [12, 13]. Кількість вузлів скінчено-елементної моделі склала 88683, елементів – 349083. Максимальний розмір елемента у моделі дорівнює 15 мм, мінімальний – 3 мм. Максимальне співвідношення боків – 825,27. Відсоток елементів зі співвідношенням боків менше трьох – 94,6, більше десяти – 0,338. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9. Співвідношення збільшення розмірів елемента – 1,8.

Закріплення моделі здійснювалося за елементами підвішування до рами. В якості матеріалу елементів гальмової важільної передачі використано сталь марки Ст. 3сп, а гальмових колодок – композит.

Розрахункова схема наведена на рис. 4. При цьому навантаження, яке передається на гальмову колодку від колеса при гальмуванні розкладалося на дві складові з урахуванням кута нахилу колодки. При цьому вертикальна складова  $P_e$  цього навантаження на першу за ходом руху пару колодок спрямована вгору, а на другу – до низу. Результати розрахунку наведені на рис. 5.

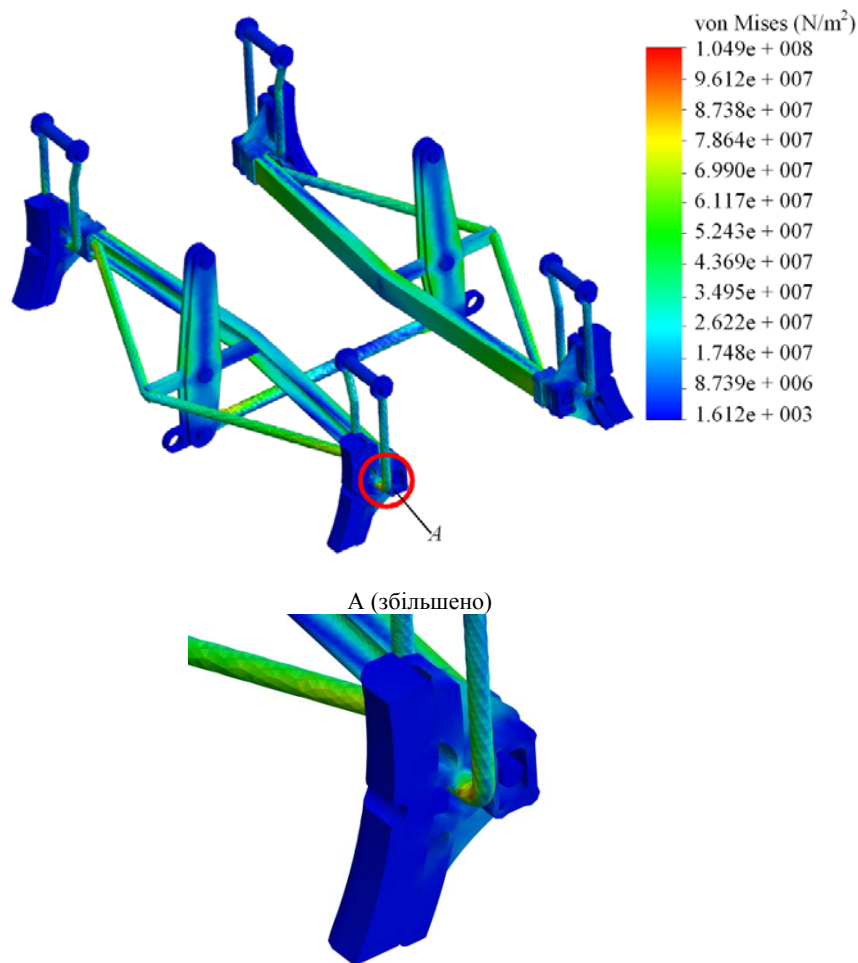


Рис. 5. Напружений стан гальмової важільної передачі

Максимальні еквівалентні напруження виникають у скобі та складають 104,9 МПа, отже не перевищують допустимі [14–16]. Максимальні переміщення виникають у гальмових колодках та складають 3,9 мм. Максимальні деформації –  $2,537 \cdot 10^{-3}$ .

З використанням нового концепту уп'язного пристрою стає можливим знизити максимальні еквівалентні напруження в елементах гальмової важільної передачі візка майже на 35% у порівнянні з типовою схемою

#### Висновки:

1. Запропоновано новий концепт уп'язного пристрою вантажного вагона. Концепт може бути впроваджений на рухомому складі, хребтові балки якого мають замкнений переріз. Гасіння кінетичної енергії удару відбувається за рахунок перетворення її у роботу сил в'язкого опору;

2. Визначено величину повздовжнього навантаження вагона, обладнаного новим концептом уп'язного пристрою. Розрахунок проведений за методом визначення сили за зчпним пристроєм шляхом уявного розділення поїзда на дві частини. Встановлено, що з урахуванням використання концепту уп'язного пристрою на вагоні прискорення, яке діє

на нього у повздовжній площині склало близько  $0,8 \text{ м/с}^2$ . Отже використання концепту уп'язного пристрою дозволяє знизити повздовжню навантаженість поїзда майже на 30% у порівнянні з типовою схемою взаємодії локомотива з вагонами;

3. Проведено розрахунок на міцність гальмової важільної передачі вантажного вагона, обладнаного новим концептом уп'язного пристрою. В якості розрахункового використаний метод скінчених елементів, реалізований в програмному середовищі CosmosWorks. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження виникають у скобі та складають 104,9 МПа. Максимальні переміщення зосереджені у гальмових колодках та дорівнюють 3,9 мм. Максимальні деформації склали  $2,537 \cdot 10^{-3}$ .

Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційних конструкцій рухомого складу з покращеними техніко-економічними та динамічними показниками.

**Подяка.** Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених “Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів”, яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

## Література

1. Rakshit, U. Study on Longitudinal Forces of a Freight Train for Different Types of Wagon Connectors / U. Rakshit, B. Malakar, B. K. Roy // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51 (1). – P. 283–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.05.074>.
2. Ravlyuk, V. Process features and parametric assessment of the emergence of the excessive wear for the brake pads of freight car bogies / V. Ravlyuk, M. Ravliuk, V. Hrebenuk, V. Bondarenko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 708. 012025. doi:10.1088/1757-899X/708/1/012025.
3. Yurii Davydov. Longitudinal Dynamics in Connected Trains / Yurii Davydov, Maxim Keyno // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 165. – P. 1490–1495.
4. Crăciun, C. I. Longitudinal dynamic force distribution for different hysteretic buffer characteristics / C. I. Crăciun, C. Cruceanu // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 444. 042003. doi:10.1088/1757-899X/444/4/042003.
5. Блохин, Е. П. Исследование продольной нагруженности длинносоставных грузовых поездов при торможении / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, Я. Н. Романюк // Наука и прогресс транспорта. – 2011. – №38. – С. 7–16.
6. Ковтун, Е. Н. Динамические характеристики грузовых вагонов при торможении поезда на криволинейных участках пути / Е. Н. Ковтун, О. М. Маркова, В. В. Малай // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – №3(46). – С. 69 – 74.
7. Равлюк, В. Г. Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів / В. Г. Равлюк, М. Г. Равлюк, В. А. Гребенюк, М. Р. Ткачук // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2019. – Вип. 87. – С. 63 – 74.
8. Казаринов, В. М. Автотормоза / В. М. Казаринов. – Москва: Транспорт, 1981. – 464 с.
9. Асадченко, В. Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава / В. Р. Асадченко. Москва, Транспорт. – 2004. – 120 с.
10. Ловська, А. О. Особливості моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами / А. О. Ловська // Вісник наукових праць СХУ ім. В. Даля. – 2017. – №4 (234). – С. 138 – 145.
11. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovsky, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
12. Ловська, А. О. Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні / А. О. Ловська // Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – 2016. – Вип. 28. – С. 90 – 98.
13. Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061
14. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
15. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.
16. EN 12663–2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. [Valid from 30.04.2010]. B., 2010. 54 p.

## References

1. Rakshit, U. Study on Longitudinal Forces of a Freight Train for Different Types of Wagon Connectors / U. Rakshit, B. Malakar, B. K. Roy // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51 (1). – P. 283–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.05.074>.
2. Ravlyuk, V. Process features and parametric assessment of the emergence of the excessive wear for the brake pads of freight car bogies / V. Ravlyuk, M. Ravliuk, V. Hrebenuk, V. Bondarenko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 708. 012025. doi:10.1088/1757-899X/708/1/012025.
3. Yurii Davydov. Longitudinal Dynamics in Connected Trains / Yurii Davydov, Maxim Keyno // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 165. – P. 1490–1495.
4. Crăciun, C. I. Longitudinal dynamic force distribution for different hysteretic buffer characteristics / C. I. Crăciun, C. Cruceanu // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 444. 042003. doi:10.1088/1757-899X/444/4/042003.
5. Blohin, E. P. Issledovanie prodolnoj nagruzhennosti dlinnosostavnyh gruzovyh poezdov pri tormozhenii / E. P. Blohin, L. V. Ursulyak, YA. N. Romanyuk // Nauka i progress transporta. – 2011. – №38. – P. 7–16.
6. Kovtun, E. N. Dinamicheskie harakteristiki gruzovyh vagonov pri tormozhenii poezda na krivolinejnyh uchastkah puti / E. N. Kovtun, O. M. Markova, V. V. Malyj // Transport Rossijskoj Federacii. – 2013. – №3(46). – P. 69 – 74.
7. Ravlyuk, V. G. Viznachennya faktoriv, shcho vplivayut na nadijnist roboti galmovoї vazhilnoji peredachi vizkiv vantazhnih vagoniv / V. G. Ravlyuk, M. G. Ravlyuk, V. A. Grebenyuk, M. R. Tkachuk // Zbirnik naukovih prac' UkrDUZT. – 2019. – Vip. 87. – P. 63 – 74.
8. Kazarinov, V. M. Avtotormoza / V. M. Kazarinov. – Moskva: Transport, 1981. – 464 p.
9. Asadchenko, V. R. Raschet pnevmaticheskikh tormozov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava / V. R. Asadchenko. Moskva, Transport. – 2004. – 120 p.
10. Lovska, A. O. Osoblivosti modelyuvannya dinamichnoyi navantazhenosti vagona-platformi zchlenovanogo tipu z konteynerami / A. O. Lovska // Visnik naukovih prats SNU im. V. Dallya. – 2017. – №4(234). – P. 138 – 145.
11. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovsky, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
12. Lovska, A. O. Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi konteynera-tsisterni, rozmischenogo na vagoni-platformi pri manevrovomu spivudaryanni / A. O. Lovska // Zbirnik naukovih prats DETUT: Seriya «Transportni sistemi i tehnologiyi». – 2016. – Vip. 28. – P. 90 – 98.
13. Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura // Eastern-

- European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061
- 14 DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kiyiv, 2015. 250 p.
- 15 GOST 33211-2014. Vagoni gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. [Deystvitelen ot 2016-07-01]. Moskva, 2016. 54 p.
- 16 EN 12663–2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. [Valid from 30.04.2010]. B., 2010. 54 p.

**Фомин А.В., Ловская А.А., Горбунов Н.И. Влияние продольно-динамических нагрузок на прочность тормозной рычажной передачи тележки вагона, оборудованного новым концептом упряжного устройства.**

*Исследована продольная нагруженность грузового поезда, оборудованного новыми концептами упряжного устройства. Установлено, что использование концепта упряжного устройства позволяет снизить продольную нагруженность поезда почти на 30% по сравнению с типовой схемой взаимодействия локомотива с вагонами. Проведен расчет на прочность тормозной рычажной передачи грузового вагона, оборудованного новым концептом упряжного устройства. При этом максимальные эквивалентные напряжения в элементах тормозной рычажной передачи ниже почти на 35% в сравнении с типовой схемой. Проведенные исследования будут способствовать созданию инновационных конструкций подвижного состава с улучшенными технико-экономическими и динамическими показателями.*

**Ключевые слова:** упряжное устройство; продольная динамика; динамическая нагруженность; несущая конструкция; прочность; тормозная рычажная передача.

**Fomin O.V., Lovska A.O., Horbunov M.I. Influence of longitudinal-dynamic loads on the strength of the brake level transmission of a wagon furnished with a new concept of a drive.**

*The longitudinal loading of a freight train equipped with new concepts of a harnessing device is investigated. The peculiarity of the concept is that the damping of the kinetic energy of the impact is due to its transformation into a force of viscous resistance. This resistance is created by moving the throttle holes of the viscous fluid piston according to the hydraulic damper principle. The system is restored to its original state by a spring.*

*It is important to note that such a concept of a harness device may be implemented on a rolling stock whose spine beams have a closed section. For example, such a technical solution can be used on wagons, whose body elements are made of round tubes.*

*The longitudinal load of a wagon equipped with the new concept of a harnessing device is determined. The calculation was performed by the method of determining the force of the coupling device by imaginary separation of the train into two parts. As an example, a train consisting of 40 carriages model 12-7023 is considered. As a locomotive adopted model 2TE10V. The train speed is 60 km/h. It was found that, taking into account the use of the concept of a harness device on an acceleration wagon acting on it in the longitudinal plane was about  $0.8 \text{ m/s}^2$ . Therefore, the use of the concept of a harness device reduces the longitudinal load of the train by almost 30% compared to the typical scheme of interaction of a locomotive with wagons. The calculation of the strength of the brake lever transmission of a freight wagon equipped with the new concept of the harness device has been made. The finite element method implemented in the CosmosWorks software environment was used as the calculation. It is established that the maximum equivalent stresses occur in the clamp and are 104.9 MPa. The maximum displacements are concentrated in the brake pads and are 3.9 mm. The maximum deformation was  $2,537 \cdot 10^{-3}$ . Thus, using the new concept of the harness device, it becomes possible to reduce the maximum equivalent stresses in the brake gears by almost 35% compared to the standard scheme.*

*The conducted researches will help to create innovative designs of rolling stock with improved technical, economic and dynamic indicators.*

**Keywords:** harness; longitudinal dynamics; dynamic load; load-bearing structure; strength; brake lever transmission.

**Фомін О. В.** – д.т.н., професор кафедри “Вагони та вагонне господарство” Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: [fomin1985@ukr.net](mailto:fomin1985@ukr.net).

**Ловська А. О.** – к.т.н., доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: [alyonalovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonalovskaya.vagons@gmail.com).

**Горбунов М. І.** – д.т.н., професор, зав. кафедри “Залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин” Східноукраїнського національного університету імені В. Даля, [gorbunov0255@gmail.com](mailto:gorbunov0255@gmail.com).

Стаття подана 30. 03.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-74-80>

УДК 629.463.62

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗДОВЖНЬОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ З ПОНИЖЕНИМ ЦЕНТРОМ ВАГИ

Фомін О.В., Ловська А.О., Сапронова С.Ю.

## INVESTIGATION OF THE LONGITUDINAL LOADING OF THE SUPPORTING STRUCTURE OF AN ARTICULATED PLATFORM WAGON WITH A REDUCED CENTER OF GRAVITY

Fomin O.V., Lovska A.O., Sapronova S.Yu.

*Проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги при експлуатаційних режимах. Враховано, що вагон-платформа завантажений двома великовантажними контейнерами типорозміру 1АА. Дослідження проведені в плоскій системі координат. Встановлено, що прискорення, які діють на несучу конструкцію першої з боку сили секції вагона-платформи складають  $37,7 \text{ м/с}^2$ , а другої – близько  $38,6 \text{ м/с}^2$ . Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають близько 300 МПа. Визначено поля розподілення прискорень відносно несучої конструкції вагона-платформи. Розбіжність між результатами математичного та комп'ютерного моделювання склала близько 13%. Проведені дослідження сприятимуть створенню нових конструкцій вагонів-платформ, а також підвищенню ефективності експлуатації комбінованих перевезень.*  
**Ключові слова:** вагон-платформа; зчленований вагон; динамічна навантаженість; несуча конструкція; міцність; комбіновані перевезення.

**Вступ.** Дотримання стратегічного плану розвитку залізничного транспорту та утримання його лідерських позицій у перевізному процесі зумовлюють необхідність впровадження в експлуатацію комбінованих систем транспорту. Відомо, що одним з найбільш перспективних транспортних засобів при комбінованих перевезеннях на сьогоднішній день є вагони-платформи зчленованого типу або секційні. Такі вагони мають ряд переваг перед іншими типами: зниження витрат на виготовлення, скорочення потрібного парку вагонів, зниження вартості життєвого циклу та ін.

Важливим напрямком створення вагонів-платформ є можливість їх використання для забез-

печення цивільної оборони країни (перевезення військової техніки, ведення вогняної дії тощо).

Створення таких конструкцій вагонів-платформ сприятиме підвищенню не тільки внутрішньої економіки, посиленню зовнішніх зв'язків на ринку транспортних послуг, а і підвищенню обороноздатності країни.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Визначення динамічної навантаженості контейнера при ударній взаємодії з вагоном-платформою проводиться у [1]. Наведені рівняння руху контейнера при переміщенні відносно рами вагона-платформи.

Моделювання міцності несучої конструкції довгобазного вагона-платформи проводиться у [2]. В якості розрахункового використаний метод скінчених елементів. Проведені дослідження підтвердили доцільність прийнятих при проектуванні вагона рішень.

Однак визначенню динамічної навантаженості вагонів-платформ зчленованого типу з контейнерами в роботах уваги не приділяється.

Визначення динамічної навантаженості транспортних засобів при повздовжньому ударі проводиться у [3]. В якості досліджуваного параметру розглянуті прискорення, як складові динамічного навантаження.

Особливості ходових міцнісних та динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-9975 висвітлюються у [4]. Проведені дослідження підтвердили доцільність прийнятих при проектуванні вагона-платформи рішень.

Питання математичного моделювання динамічної навантаженості вагонів в роботах не розглянуті.

Визначення міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу проводиться у [5]. Розрахунок проведений за методом скінчених елементів. Визначено максимальні еквівалентні напру-

ження, які діють у секціях під дією експлуатаційних навантажень.

При розрахунках на міцність автор обмежився нормативними значеннями навантажень та не проводив визначення динамічної навантаженості вагона-платформи.

Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами проводиться у [6, 7]. Наведені математичні моделі для визначення прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи. Результати розрахунку підтверджені шляхом комп'ютерного моделювання.

Однак визначенню динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги уваги не приділяється.

**Мета статті.** Метою статті є висвітлення особливостей визначення повздовжньої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги, завантаженого великовантажними контейнерами. Для досягнення зазначеної мети визначені такі задачі:

- провести математичне моделювання повздовжньої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги;
- визначити показники міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги;
- провести комп'ютерне моделювання повздовжньої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Для підвищення ефективності перевезень вантажів залізничним транспортом, у тому числі військової техніки з дотриманням встановлених габаритів пропонується впровадження вагонів-платформ зчленованого типу з пониженим центром ваги (рис. 1).

Несуча конструкція спроектована на базі вагона-платформи моделі 13-401. З боку обпирання секцій несучої конструкції на середній візок шворнева балка замінена на балку двотаврового профілю. Взаємодія секцій між собою здійснюється за допомогою типового пристрою зчленування SAC-1.

Несуча конструкція вагона-платформи передбачає можливість перевезення великовантажних контейнерів. Для цього в консольних частинах встановлені відкидні фітингові упори.

Для кріплення військової техніки несуча конструкція вагона-платформи може оснащуватися колісними упорами та іншими багатообертовими пристосуваннями.

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи проведено математичне моделювання. До уваги прийнятий випадок навантаженості несучої конструкції силою у 2,5 МН (ривок). Розрахункова схема наведена на рис. 2.

Дослідження проведені у плоскій системі координат. При цьому використано математичну модель, наведену у [8]. Однак модель була доопрацьована шляхом урахування переміщень двох секцій при експлуатаційних режимах навантаження. Також в моделі скасовані пружні зв'язки між контейнерами та несучою конструкцією вагона-платформи.

Враховано, що вагон-платформа завантажений контейнерами типорозміру 1AA.

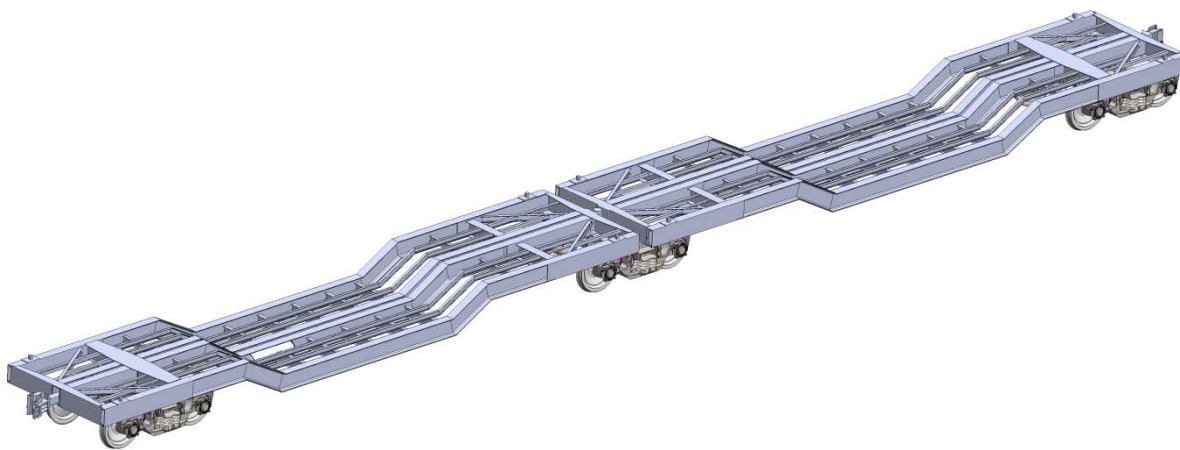


Рис. 1. Вагон-платформа зчленованого типу з пониженим центром ваги

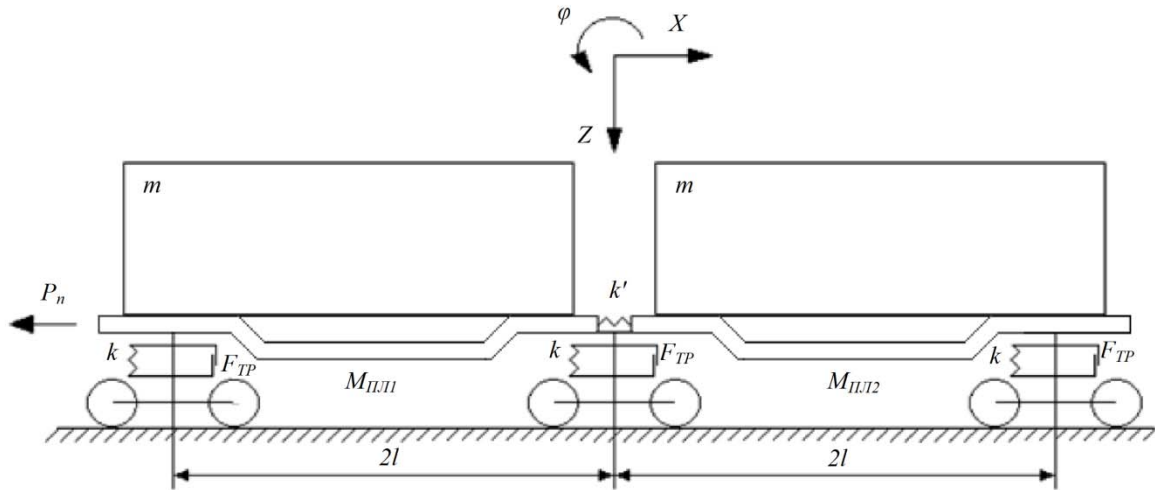


Рис. 2. Розрахункова схема вагона-платформи зчленованого типу при дії повздовжньої сили на нього

Математична модель при цьому має вигляд

$$M'_{пл1} \cdot \ddot{x}_{пл1} + M_{пл1} \cdot h \cdot \ddot{\phi}_{пл1} + k'(x_{пл1} - x_{пл2}) = P_n, \quad (1)$$

$$I_{пл1} \cdot \ddot{\phi}_{пл1} + M_{пл1} \cdot h \cdot \ddot{x}_{пл1} - g \cdot \phi_{пл1} \cdot M_{пл1} \cdot h = l \cdot F_{ТП} (\text{sign} \dot{\Delta}_1^{пл1} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{пл1}) + l(k_1 \cdot \dot{\Delta}_1^{пл1} - k_2 \cdot \dot{\Delta}_2^{пл1}), \quad (2)$$

$$M_{пл1} \cdot \ddot{z}_{пл1} = k_1 \cdot \Delta_1^{пл1} + k_2 \cdot \Delta_2^{пл1} - F_{ТП} (\text{sign} \dot{\Delta}_1^{пл1} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{пл1}), \quad (3)$$

$$m_i \cdot \ddot{x}_{пл1} + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{\phi}_{пл1} = 0, \quad (4)$$

$$I_i \cdot \ddot{\phi}_{пл1} + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{x}_{пл1} - g \cdot (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \phi_{пл1} = 0, \quad (5)$$

$$m_i \cdot \ddot{z}_{пл1} = 0, \quad (6)$$

$$M'_{пл2} \cdot \ddot{x}_{пл2} + M_{пл2} \cdot h \cdot \ddot{\phi}_{пл2} - k'(x_{пл1} - x_{пл2}) = 0, \quad (7)$$

$$I_{пл2} \cdot \ddot{\phi}_{пл2} + M_{пл2} \cdot h \cdot \ddot{x}_{пл2} - g \cdot \phi_{пл2} \cdot M_{пл2} \cdot h = l \cdot F_{ТП} (\text{sign} \dot{\Delta}_1^{пл2} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{пл2}) + l(k_1 \cdot \dot{\Delta}_1^{пл2} - k_2 \cdot \dot{\Delta}_2^{пл2}), \quad (8)$$

$$M_{пл2} \cdot \ddot{z}_{пл2} = k_1 \cdot \Delta_1^{пл2} + k_2 \cdot \Delta_2^{пл2} - F_{ТП} (\text{sign} \dot{\Delta}_1^{пл2} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{пл2}), \quad (9)$$

$$m_i \cdot \ddot{x}_{пл2} + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{\phi}_{пл2} = 0, \quad (10)$$

$$I_i \cdot \ddot{\phi}_{пл2} + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{x}_{пл2} - g \cdot (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \phi_{пл2} = 0, \quad (11)$$

$$m_i \cdot \ddot{z}_{пл2} = 0, \quad (12)$$

де

$$\Delta_1^i = z_{плi} - l \cdot \phi_{плi}; \quad \Delta_2^i = z_{плi} + l \cdot \phi_{плi},$$

$M'_{плi}$  – маса-брутто  $i$ -ої секції вагона-платформи;  $M_{плi}$  – маса несучої конструкції  $i$ -ої секції вагона-платформи;  $I_{плi}$  – момент інерції  $i$ -ої секції вагона-платформи;  $P_n$  – величина повздовжньої сили, що діє на автотзеп;  $l$  – половина бази секції вагона-платформи;  $F_{ТП}$  – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті;  $k'$  – жорсткість зв'язку між секціями;  $k_1, k_2$  – жорсткість пружин ресорних комплектів візків вагона-платформи (візок моделі 18-100);  $m_i$  – маса контейнера;  $z_{ci}$  – висота центру ваги контейнера;  $I_i$  – момент інерції  $i$ -го контейнера;  $x_i, \phi_i, z_i$  – координати, що визначають переміщення секцій вагона-платформи відносно відповідних вісей.

Розв'язання диференціальних рівнянь (1) – (12) здійснено в середовищі MathCad [9 – 11].

Результати розрахунку показали, що прискорення, які діють на несучу конструкцію першої секції вагона-платформи складають  $37,7 \text{ м/с}^2$ , а другої – близько  $38,6 \text{ м/с}^2$ .

Отримані величини прискорень враховано при дослідженні міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу. Просторову модель несучої конструкції вагона-платформи складено в програмному комплексі SolidWorks. Розрахунок на міцність здійснений в програмному середовищі CosmosWorks за методом скінчених елементів [12].

В якості скінчених елементів використані ізопараметричні тетраедри. Оптимальна кількість елементів сітки визначена за графоаналітичним методом [13, 14]. При цьому кількість елементів сітки склала 1447887, вузлів – 491557. Максимальний розмір елементу склав – 104,4 мм, мінімальний –

20,8 мм. Максимальне співвідношення боків сітки – 947,77. Відсоток елементів зі співвідношенням боків менше трьох – 36,2, більше 10 – 12,5. Кількість елементів в колі – 8. Співвідношення збільшення розміру елемента – 1,6.

Розрахункова модель несучої конструкції вагона-платформи наведена на рис. 3.

Враховано, що на несучу конструкцію вагона-платформи діє вертикальне навантаження  $P_e$ , а також повздовжнє навантаження на задній упор автотягачу  $P_n$ .

При складанні розрахункової моделі враховано, що вертикальне статичне навантаження розподілене як дистанційне, з урахуванням розміщення центру ваги контейнера.

Матеріал несучої конструкції – сталь марки 09Г2С. Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання на візки. Результати розрахунку наведені на рис. 4, 5.

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають в зоні взаємодії хребтової балки зі

шворневою та складають близько 300 МПа. Максимальні переміщення складають 9,3 мм та виникають у кінцевій балці рами. Максимальні деформації дорівнюють  $3,92 \cdot 10^{-3}$ . Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що міцність несучої конструкції вагона-платформи забезпечується [15 – 17].

За розробленою моделлю визначено прискорення, які діють в несучій конструкції вагона. При цьому до передніх упорів першої секції прикладалося повздовжнє навантаження, а другої – реакція, яка урівноважує це навантаження. Результати розрахунків наведені на рис. 6.

Максимальні прискорення зосереджені у середніх частинах секцій вагона-платформи та складають близько  $45 \text{ м/с}^2$ .

Отже розбіжність між результатами математичного та комп'ютерного моделювання складає близько 13%.

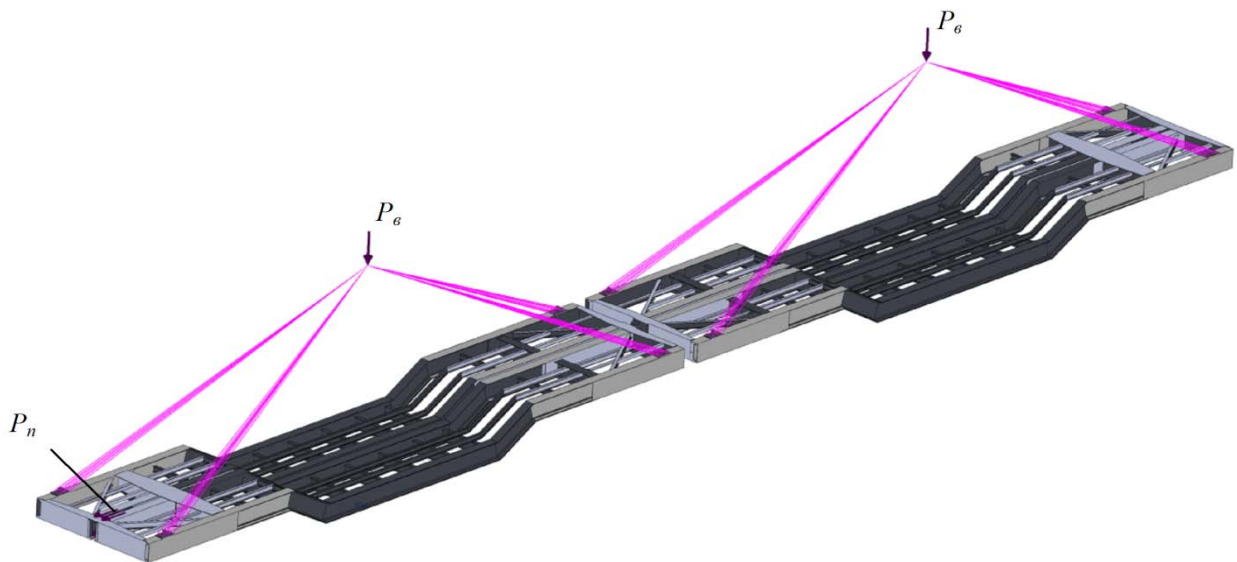


Рис. 3. Розрахункова модель несучої конструкції вагона-платформи

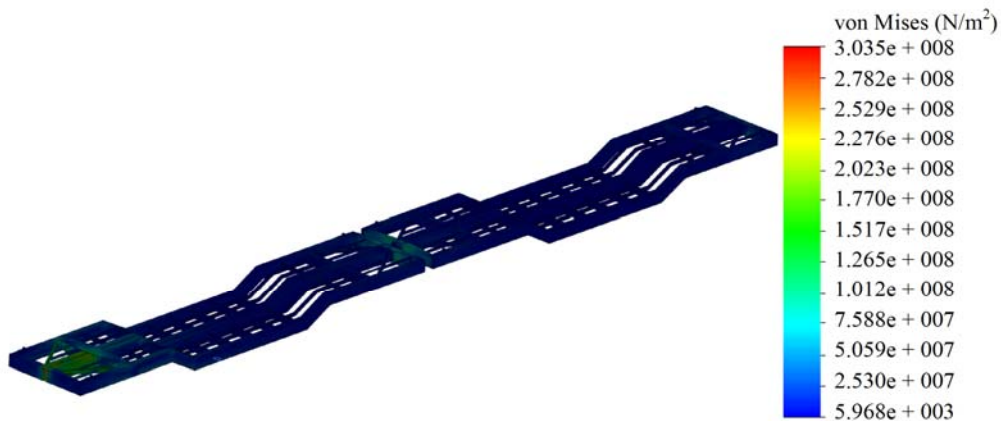


Рис. 4. Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу

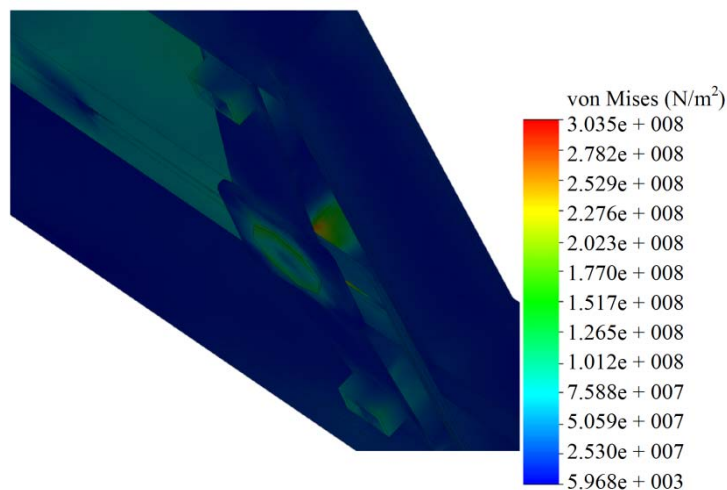


Рис. 5. Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-платформи зчленованого типу

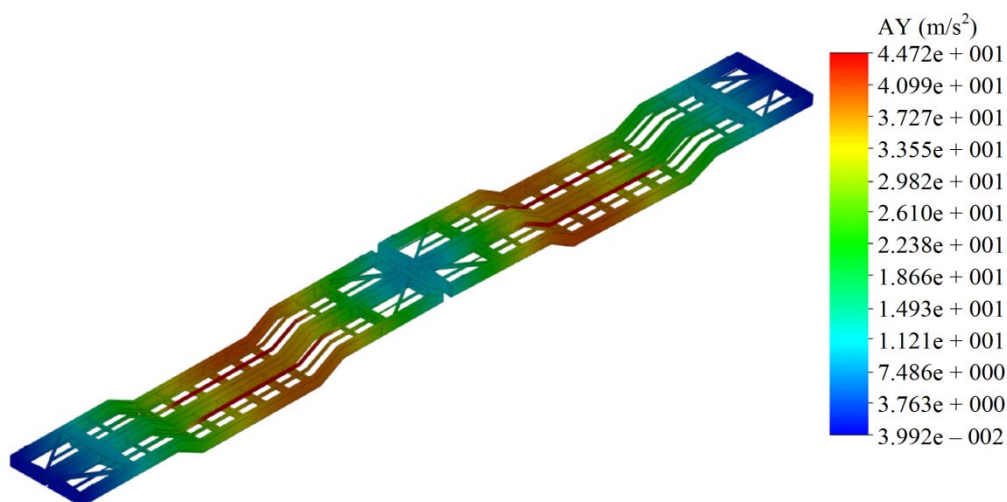


Рис. 6. Розподілення полів прискорень відносно несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу

### Висновки:

1. Проведено математичне моделювання по-вздожньої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги. Дослідження проведені у плоскій системі координат. Встановлено, що прискорення, які діють на несучу конструкцію першої секції вагона-платформи складають  $37,7 \text{ м/с}^2$ , а другої – близько  $38,6 \text{ м/с}^2$ ;

2. Визначено показники міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою та складають близько  $300 \text{ МПа}$ . Максимальні переміщення складають  $9,3 \text{ мм}$  та виникають у кінцевій балці рами. Максимальні деформації дорівнюють  $3,92 \cdot 10^{-3}$ . Отже міцність несучої конструкції вагона-платформи забезпечується;

3. Проведено комп'ютерне моделювання по-вздожньої навантаженості несучої конструкції ва-

гона-платформи зчленованого типу з пониженим центром ваги. Встановлено, що максимальні прискорення зосереджені у середніх частинах секцій вагона-платформи та складають близько  $45 \text{ м/с}^2$ . При цьому розбіжність між результатами математичного та комп'ютерного моделювання склала близько 13%.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації комбінованих перевезень та створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій вагонів-платформ зчленованого типу.

**Подяка.** Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених “Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів”, яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

## Література

17. Andrew Nikitchenko. Evaluation of interaction between flat car and container at dynamic coupling of flat cars / Andrew Nikitchenko, Viktor Artiukh, Denis Shevchenko, Raghu Prakash // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 7, 04008. doi: 10.1051/mateconf/20167304008.
18. Pavol Šťastniak. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform / Pavol Šťastniak, Pavol Kurčík, Alfréd Pavlík // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 235. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>.
19. Jan Zamecnik. Evaluation of wagon impact tests by various measuring equipment and influence of impacts on cargo stability / Jan Zamecnik, Juraj Jagelcak // Communications. – 2015. – Vol. 4. – P. 21 – 27.
20. Чепурной, А. Д. Ходовые прочностные и динамические испытания вагона-платформы / А. Д. Чепурной, А. В. Литвиненко, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, М. А. Чубань // Вісник НТУ "ХПИ". – 2015. – № 31 (1140). – P. 111 – 128.
21. Бондаренко, К. В. Оценка прочности рамы скоростного вагона-платформы / К. В. Бондаренко // Транспорт Российской Федерации. – 2014. – №3 (52). – С. 49 – 51.
22. Ловська, А. О. Особливості моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами / А. О. Ловська // Вісник наукових праць СНУ ім. В. Даля. – 2017. – №4 (234). – С. 138 – 145.
23. Alyona Lovskaya. Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry / Alyona Lovskaya, Juraj Gerlici, Oleksij Fomin, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko and Tomas Lack // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 254. 02035. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402035>
24. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку / Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномашенцева // Динаміка та керування рухом механічних систем : зб. наук. пр. / АНУ, ін-т техн. механіки. – Київ, 1992. – С. 87–95.
25. Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061
26. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovsky, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
27. Кирьянов, Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кирьянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
28. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – Москва: ДМК, 2007. – 784 с.
29. Ловська, А. О. Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні / А. О. Ловська // Збірник наукових праць ДЕУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – 2016. – Вип. 28. – С. 90 – 98.
30. Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsybaliuk, O. Burlutski // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 7, Issue 1 (97). – P. 33–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154282
31. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
32. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.
33. EN 12663–2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. [Valid from 30.04.2010]. В., 2010. 54 p.

## References

- 17 Andrew Nikitchenko. Evaluation of interaction between flat car and container at dynamic coupling of flat cars / Andrew Nikitchenko, Viktor Artiukh, Denis Shevchenko, Raghu Prakash // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 7, 04008. doi: 10.1051/mateconf/20167304008.
- 18 Pavol Šťastniak. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform / Pavol Šťastniak, Pavol Kurčík, Alfréd Pavlík // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 235. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>.
- 19 Jan Zamecnik. Evaluation of wagon impact tests by various measuring equipment and influence of impacts on cargo stability / Jan Zamecnik, Juraj Jagelcak // Communications. – 2015. – Vol. 4. – P. 21 – 27.
- 20 Chepurnoy, A. D. Hodovyye prochnostnyie i dinamicheskie ispytaniya vagona-platfornymi / A. D. Chepurnoy, A. V. Litvinenko, R. I. Sheychenko, R. V. Graborov, M. A. Chuban // Visnik NTU "HPI". – 2015. – № 31 (1140). – P. 111 – 128.
- 21 Bondarenko, K. V. Otsenka prochnosti ramyi skorostnogo vagona-platfornymi / K. V. Bondarenko // Transport Rossiyskoy Federatsii. – 2014. – №3 (52). – P. 49 – 51.
- 22 Lovska, A. O. Osoblivosti modelyuvannya dinamichnoyi navantazhenosti vagona-platforni zchlenovanogo tipu z konteynerami / A. O. Lovska // Visnik naukovih prats SNU im. V. Dallya. – 2017. – №4(234). – P. 138 – 145.
- 23 Alyona Lovskaya. Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry / Alyona Lovskaya, Juraj Gerlici, Oleksij Fomin, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko and Tomas Lack // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 254. 02035. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402035>
- 24 Nagruzhenost konteynerov-tsistern, raspolozhennyih na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepku / G. I. Bogomaz, D. D. Mehov, O. P. Pilipchenko, Yu. G. Chernomashentseva // Zb. nauk. prats "Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sis-tem" – KiYiv: ANU, Institut tehnIchnoYi mehanIki, 1992. – S. 87 – 95.
- 25 Fomin, O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / O. Fomin, I. Kulbovsky, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). – P. 11–19. doi: 10.15587/1729-4061
- 26 Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovsky, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
- 27 Kiryanov, D. V. Mathcad 13 / D. V. Kiryanov. – Sankt-Peterburg : BHV - Peterburg, 2006. – 608 p.

- 28 Alyamovskiy, A. A. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Inzhenernyy analiz metodom konechnykh elementov / A. A. Alyamovskiy. – Moskva: DMK, 2007. – 784 p.
- 29 Lovska, A. O. Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktivnoy konteynera-tsistemi, rozmischenogo na vagoni-platforni pri manevrovomu spivudaryanni / A. O. Lovska // Zbirnik naukovih prats DETUT: Seriya «Transportni sistemi i tehnologii». – 2016. – Vip. 28. – P. 90 – 98.
- 30 Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsybaliuk, O. Burlutski // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 7, Issue 1 (97). – P. 33–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154282
- 31 DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhnI. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kyiv, 2015. 250 p.
- 32 GOST 33211-2014. Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. [Deystvitelen ot 2016-07-01]. Moskva, 2016. 54 p.
- 33 EN 12663-2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. [Valid from 30.04.2010]. B., 2010. 54 p.

**Фомин А. В., Ловская А. А., Сапронова С. Ю. Исследование продольной нагруженности несущей конструкции вагона-платформы сочлененного типа с пониженным центром тяжести.**

*Проведено определение динамической нагруженности несущей конструкции вагона-платформы сочлененного типа с пониженным центром тяжести при эксплуатационных режимах. Учтено, что вагон-платформа загружен двумя большегрузными контейнерами типоразмера 1АА. Исследования проведены в плоской системе координат. Установлено, что ускорение, действующие на несущую конструкцию первой со стороны силы секции вагона-платформы составляют 37,7 м/с<sup>2</sup>, а второй - около 38,6 м/с<sup>2</sup>. Проведен расчет на прочность несущей конструкции вагона-платформы. Максимальные эквивалентные напряжения при этом возникают в зоне взаимодействия хребтовой балки со шворневой и составляют около 300 МПа. Определены поля распределения ускорений относительно несущей конструкции вагона-платформы. Расхождение между результатами математического и компьютерного моделирования составило около 13%. Проведенные исследования будут способствовать созданию новых конструкций вагонов-платформ, а также повышению эффективности эксплуатации комбинированных перевозок.*

**Ключевые слова:** вагон-платформа; сочлененный вагон; динамическая нагруженность; несущая конструкция; прочность; комбинированные перевозки.

**Fomin O.V., Lovska A.O., Sapronova S.Yu. Investigation of the longitudinal loading of the supporting structure of an articulated platform wagon with a reduced center of gravity.**

*The dynamic loading of the load-bearing structure of the articulated wagon-platform car with the reduced center of gravity under operational modes is determined. The bearing structure is designed on the basis of the wagon platform model 13-401. From the support of the sections of the load-bearing structure on the middle trolley bolt beam is replaced by a beam of the I-profile. The sections are interconnected using a typical SAC-1 articulation device.*

*To determine the dynamic loading of the load-bearing structure of the wagon platform, mathematical modeling was performed. The load case of the load-bearing structure of 2.5 MN (jerk) was taken into account. It is taken into account that the wagon platform is loaded with two heavy-duty containers of 1AA size. The studies were conducted in a flat coordinate system. Differential equations are solved in the MathCad software environment. It is found that the accelerations acting on the load-bearing structure of the first section of the wagon-platform section are 37.7 m/s<sup>2</sup> and the second - about 38.6 m/s<sup>2</sup>.*

*The strength of the load-bearing structure of the wagon platform was calculated. The spatial model of the carrier structure of the wagon platform is made in the software complex SolidWorks. The strength calculation is done in the CosmosWorks software using the finite element method. Isoparametric tetrahedra are used as finite elements. The maximum equivalent stresses in this case occur in the area of interaction of the spinal beam with the pin, and are about 300 MPa. The maximum displacements are 9.3 mm and occur in the end frame of the frame. The maximum deformation is 3.92·10<sup>-3</sup>. The calculations made it possible to conclude that the strength of the supporting structure of the wagon platform is provided. The fields of acceleration distribution with respect to the bearing structure of the wagon platform are determined. The mismatch between mathematical and computer simulation results was about 13%. The conducted researches will promote creation of new designs of wagons-platforms, and also increase of efficiency of operation of combined transportations.*

**Keywords:** flatcar; articulated wagon; dynamic loading; support structure; strength; combined transportation.

**Фомін О. В.** – д.т.н., професор кафедри “Вагони та вагонне господарство” Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: [fomin1985@ukr.net](mailto:fomin1985@ukr.net).

**Ловська А. О.** – к.т.н., доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: [alyonalovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonalovskaya.vagons@gmail.com).

**Сапронова С. Ю.** – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонного господарства» Державний університет інфраструктури та технологій, doc.sapronova@gmail.com.

Стаття подана 29.03.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-81-85>

УДК 656.23.03

## РОЗРОБКА СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОЇЗДІВ

Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О., Мірошникова М.В.

## DEVELOPMENT CONTROL SYSTEMS FOR CRITICAL TRAIN PARAMETERS

Chernetska-Biletska N.B., Baranov I.O., Miroshnykova M.V.

*Проведений аналіз сучасних систем забезпечення безпеки на транспорті показав існування резервів підвищення якості перевезень шляхом контролю відповідальних параметрів рухомих об'єктів. Встановлені найбільш вагомі проблеми створення і вдосконалення систем автоматичного управління на залізничному транспорті. З урахуванням досвіду експлуатації систем безпеки руху поїздів, визначені основні способи класифікації надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті та їх характеристики. Запропонована алгоритмічна схема роботи системи інтервального регулювання руху поїздів, яка є основним елементом системи підвищення безпеки руху. Розроблено структурні схеми пристроїв і систем забезпечення безпеки руху поїздів. Розроблена система інтервального регулювання руху, забезпечує збільшення інтенсивності руху на залізниці і дозволяє підвищити економічну ефективність перевезень.*

**Ключові слова:** безпека руху, система, поїзд, параметри руху, регулювання.

**Вступ.** В даний час в світі експлуатується безліч наземних, повітряних, транспортних засобів необхідність використання яких обумовлена розвитком економіки. В [1] наведені статистичні дані, відповідно до яких, основними виробничими процесами на транспорті вважаються перевезення вантажів і пасажирів, а також процеси технічного обслуговування і ремонту самих транспортних засобів.

Одним з основних завдань на транспорті є безаварійне і безпечне перевезення вантажів і пасажирів. Підвищення швидкостей руху транспортних засобів, збільшення дальності перевезень, кількості перевезених вантажів, освоєння нових територій континентів, поява принципово нових транспортних засобів і способів управління є основними факторами, які роблять дослідження в області безпеки перевезень актуальними. Проведений аналіз сучасних систем забезпечення безпеки на транспорті показав існування резервів підвищення якості перевезень шляхом контролю відповідальних параметрів рухомих об'єктів, а так само шляхом моніторингу інфор-

маційних управляючих систем та стану людини-оператора під час руху.

**Постановка проблеми.** Актуальність розвитку проблемної області даного напрямку і його народногосподарське значення обумовлено зростанням масштабів робіт по інтенсифікації та комп'ютеризації технологічного виробництва та комплексної автоматизації інтегрованого управління функціонуванням, як мережею технологічних процесів, так і окремим підприємством і цілою галуззю народного господарства.

Створення і вдосконалення систем автоматичного управління (САУ) на транспорті є однією з важливих проблем, вирішення якої багато в чому визначає рівень розвитку науки і техніки [1,2]. На перший план виходить завдання створення якісно нових САУ, що забезпечують високу надійність роботи, точність управління і адаптації. З посиленням умов експлуатації систем управління висуваються додаткові вимоги до їх якісних показників.

Завдання синтезу САУ розглядається як задача визначення структури і параметрів моделі системи, що забезпечує функціонування системи із заданою якістю при наявності впливів і заданих обмеженнях [3,4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В джерелах [4,5,6] наведені різні способи класифікації надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті та їх характеристики, які є підґрунтям актуальних напрямів дослідження.

В даний час накопичено великий досвід експлуатації систем безпеки руху поїздів, створена наукова база і розроблені системи контролю відповідальних параметрів руху поїздів, які мають певні проблеми функціонування [6,7].

Значний внесок у створення науково-методичного забезпечення та вирішення зазначених завдань внесли роботи вітчизняних та зарубіжних вчених [6,7,8].

**Метою роботи** є підвищення безпеки транспортних перевезень шляхом розробки алгоритмів контролю відповідальних параметрів руху поїздів, розробки керуючих людино-машинних систем з урахуванням впливу людського фактора і підвищення точності обробки сигналів датчиків із застосуванням сучасних методів фільтрації.

**Результати досліджень.** Управління є процесом систематичного впливу на об'єкт для досягнення заданої мети. Вибір і формулювання мети залежить від багатьох чинників і має задовольняти безлічі різних умов. Завдання підвищення якості управління зводиться до вибору найбільш оптимального вирішення поставленого завдання з безлічі можливих. Найкращий варіант відповідає екстремуму показника якості (максимуму або мінімуму в залежності від типу задачі). Показники якості являють собою функції або функціонали, що мають значення цільових функцій або функціоналів. Цільові функціонали розглядають, як функції де незалежними змінними є вектори, що характеризують варіанти [8]. У загальному вигляді показник якості для певного виду рішення можна представити у вигляді умовного математичного очікування:

$$J(c) = \int_x Q(x, c) p(x) dx \quad (1)$$

$Q(x, c)$  – функціонал вектора  $c = (c_1, \dots, c_N)$ , що залежить від вектора випадкових послідовностей  $x = (x_1, \dots, x_M)$ , щільність розподілу якого дорівнює  $p(x)$ ,  $x$  – простір векторів  $x$ . Всі вектори подаються у вигляді окремих матриць.

Рішення завдання підвищення якості управління вимагає знання початкової інформації про рівняння руху системи, про критерії оптимальності, про існуючі обмеження і властивості зовнішніх впливів. При наявності достатньої апріорної інформації, тобто після з'ясування критерію оптимальності та визначення обмежень можна визначити явне вираження для функціоналу  $J(c)$ . Рішення завдання оптимізації зводиться до визначення такого вектора  $c = c^*$  (оптимального), який при заданих обмеженнях доставляв би функціоналу  $J(c)$  екстремальні значення.

Для вирішення завдання оптимального адаптивного управління в одновимірній безперервній системі критерій оптимальності відповідає мінімуму показника  $\varepsilon^2$ ,  $\varepsilon = y - y_{ж}$ .

Прийоми пошуку рішення задачі оптимального управління різноманітні і охоплюють аналітичні та алгоритмічні методи.

Аналітичний підхід до вирішення завдання оптимального управління дозволяє отримати явний результат у вигляді формул, в той же час це досягається завдяки значним спрощенням моделі управління. Аналітичний підхід застосовується для рішення

простих завдань, які можуть бути сформульовані за умови значної ідеалізації завдання.

Алгоритмічні методи, що виникли на базі рішень різного роду рівнянь, не дають явного формульного рішення, а лише представляють алгоритм дій, здійснення якого призводить до необхідного результату.

Від вибору параметрів вектора  $c$  залежить ймовірність того, що  $k$ -та компонента вектора лежить поза допустимих меж, визначених інтервалом  $[a_{k-1}, a_{k-2}]$ , тобто

$$P_k(c) = P\{y_k \notin [a_{k-1}, a_{k-2}]\} \quad (2)$$

де  $y_k = f_x(x, \Phi(x), c)$ .

Якість управління повністю визначається вектор функцією  $P(c) = [P_1(c), \dots, P_L(c)]$ , і завдання оптимального управління можна сформулювати як задачу визначення такого вектора  $c = c^*$ , при якому функціонал

$$J(c^*) = \min_{c \rightarrow c^*} M_k \{P_k(c)\}, k \in 1; l \quad (3)$$

досягає мінімуму.

Для пошуку максимального значення критерію оптимальності можна скористатися алгоритмами екстремального керування. Побудова екстремальних систем управління зазвичай засноване на застосуванні того чи іншого виду пошукових коливань. Пошукові коливання дозволяють визначити напрямки руху по екстремальній характеристиці.

Підвищення якості управління автоматизованими системами реалізовано як аналітичними, так і алгоритмічними методами.

Аналітичний підхід до підвищення якості керуючих впливів застосовувався при проектуванні ергатичної системи «Пристрій адаптивної корекції дій оператора рухомого складу». Застосування аналітичних методів дозволило в формульному вигляді отримати алгоритм функціонування пристрою, але математична модель оператора і пристрою була істотно спрощена. Для спрощення моделі «людина-оператор» була представлена лінійна стаціонарна динамічна ланка системи, що не дозволяє враховувати здатності оператора до адаптації і екстраполяції. Для спрощення аналізу була прийнята схема послідовної корекції.

При проектуванні складних багатовимірних систем застосовувалися алгоритмічні методи підвищення якості управління. На основі вимог, що пред'являються в сфері транспортної безпеки, були розроблені алгоритми функціонування систем і пристроїв, які дозволили провести синтез структурних схем. Оптимізація управління проводилася за структурою проєктованих систем і пристроїв.

Суттєвим аспектом безпечного руху поїздів є інтервальне регулювання руху. В умовах постійно

зростаючої щільності руху поїздів на залізниці необхідно використання сучасної надійної системи інтервального регулювання руху. В рамках проведеного дослідження розроблена корисна модель, яка вирішує це завдання із застосуванням сучасних технологій.

Система інтервального регулювання руху поїздів (СІРРП) відноситься до області залізничної автоматики, і може бути використана на локомотивах, моторвагонних рухомих складах з метою підвищення безпеки регулювання руху поїздів, а також в системах інтервального регулювання з використанням радіоканалу.

За прототип було прийнято існуючі системи інтервального регулювання руху поїздів які використовують супутникові системи навігації [9].

Недоліком існуючих систем є відсутність можливості контролю цілісності складу під час руху і визначення швидкості руху та місця розташування відцепу в разі розчеплення поїзда.

Цей недолік знижує надійність і безпеку управління рухом поїздів. Сутність розробки полягає у визначенні координат початку і кінця складу без участі станційних пристроїв за допомогою застосування комплексного локомотивного пристрою безпеки (КЛУБ); у визначенні оптимального швидкісного режиму локомотива з урахуванням відстані до перешкоди і контролі його дотримання; у визначенні мінімально допустимого інтервалу з метою підвищення інтенсивності руху; в розрахунку фактичної швидкості руху поїзда за даними від приймача сигналів супутникових радіонавігаційних систем; в можливості прийняття рішення про екстрене гальмування, в можливості взаємодії КЛУБ з системою автоматичного управління гальмами (САУТ), в можливості контролю цілісності поїзда шляхом організації додаткового радіоканалу.

При використанні системи інтервального регулювання руху поїздів досягається безперервний контроль місця розташування поїзда із заданою точністю, збільшення інтенсивності руху за рахунок більш точного, в порівнянні з системами інтервального регулювання руху, побудованих на основі підлогових пристроїв автоматики, визначення місця розташування поїздів, підвищення безпеки руху шляхом безперервного контролю інтервалу, безперервний контроль цілісності рухомого складу. Алгоритмічна схема роботи СІРРП представлена на рис.

Пояснення до алгоритмічної схеми функціонування СІРРП: 1 – діагностика програмного комплексу і обладнання диспетчерського пункту; 2 – позиціонування поїздів; 3 – передача даних про місцезнаходження поїздів на локомотиви, станції, диспетчеру; 4 – визначення відстані між сусідніми поїздами; 5 – розрахунок допустимої швидкості руху з урахуванням ділянки колії; 6 – передача даних на сусідні локомотиви, найближчі станції, диспетчеру; 7 – умовний оператор: «інтервали між поїздами відповідають нормі»; 8 – умовний оператор: «повторна перевірка даних»; 9 – рух дозволено з встановленою

швидкістю або підвищеною швидкістю; 10 – умовний оператор: «поїзд зупиняється на станції»; 11 – вилучення поїзда з системи; 12 – визначення поїзда, якому необхідно зменшити швидкість або зупинитися; 13 – обчислення необхідної інтенсивності гальмування; 14 – сигнал про небезпечне зближення машиністу і диспетчеру; 15 – сигнал про гальмування на САУТ.

Система інтервального регулювання руху поїздів вирішує завдання підвищення безпеки та інтенсивності руху шляхом безперервного контролю місця розташування поїздів, контролю інтервалів між поїздами і цілісності складів.

Проведені дослідження дозволяють розробити технічні пристрої і алгоритми, призначені для підвищення безпеки роботи транспорту. Запропоновано системи підвищення безпеки руху транспортних засобів: «Система моніторингу стану рухомих об'єктів», «СІРРП».

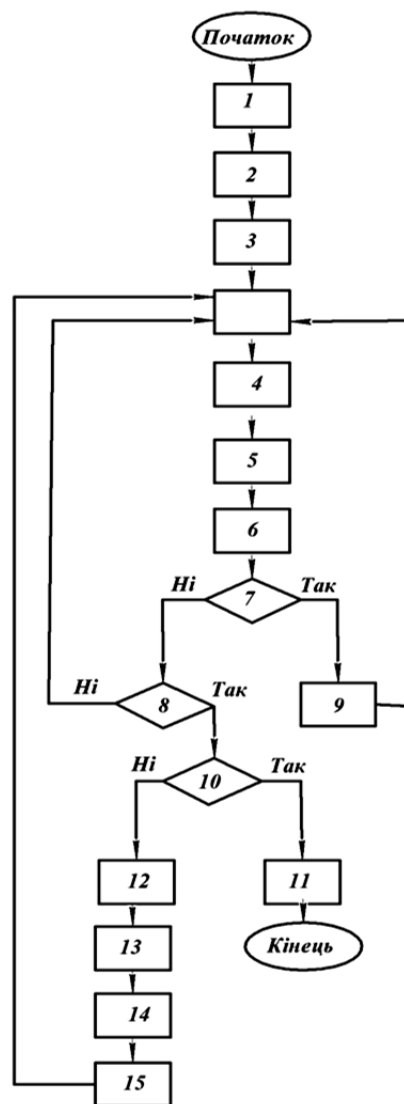


Рис. Алгоритмічна схема роботи системи інтервального регулювання руху поїздів

**Висновок.** Запропонована в роботі концепція дозволяє розробити такі технічні пристрої: «Пристрій адаптивної корекції дій оператора транспортного засобу», «Пристрій контролю небезпечного зближення поїздів, що прямують в одному напрямку».

Розроблено структурні схеми пристроїв і систем забезпечення безпеки руху. Розроблена система інтервального регулювання руху дозволить збільшити інтенсивність руху на залізниці, що дозволить істотно підвищити економічну ефективність перевезень.

В даний час на залізниці не представляється можливим відмовитися від підлогових пристроїв СЦБ і повністю перейти на системи інтервального регулювання руху побудованих на основі супутникових систем навігації на увазі можливості непрогнозованих збоїв в роботі останніх. Однак, застосування СІРРПІ спільно з підлоговими пристроями СЦБ дозволить забезпечити збільшення інтенсивності руху, зберігаючи при цьому високі показники надійності роботи залізничного транспорту.

Застосування пристрою виявлення небезпечно зближення поїздів дозволить організувати додатковий рівень контролю безпеки для роботи залізничного транспорту на основних магістралях. Використання пристрою на малодіяльних і не електрифікованих ділянках залізниць суттєво підвищить безпеку руху.

#### Л і т е р а т у р а

1. Шабельников, А.Н. Современные методы организационного и технологического управления / А.Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – №11 (11). – С. 18-23.
2. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебник для вузов / сост. В.В. Сапожников. - Иркут.: Маршрут, 2005. – 453с.
3. Сапожников, В.В. Надежность систем ЖАТ и связи / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, В.И. Шамапов. – Иркут.: Маршрут, 2006. - 261с.
4. Марюхненко, В.С. Синтез устройства адаптивной коррекции управляющих воздействий оператора транспортного средства / В.С.Марюхненко, М.Г.Комогорцев, Т.В.Трускова // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – 2008. – №3 (35). – С. 131-137.
5. Afraimovich, E. L. Geomagnetic storms and the occurrence of phase slips in the reception of GPS signals / E.L. Afraimovich, O.S. Lesyuta, I.I. Ushakov, S. V. Voeuykov//Annals of Geophysics. – 2002.-V.45. - №1. – P.55-71.
6. Haynes, R.D. Hardware and software reliability and confidence limits for computer-controlled systems / R.D. Haynes, W.E. Thompson // Microelectronics and reliability. – 1980, – v.20. – №.1-2. – P.109–122.
7. Марюхненко, В.С. Оценка влияния геометрического фактора на точность и информативность позиционирования объекта в спутниковой радионавигационной системе / В.С. Марюхненко // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – №2. – С.30 – 40.

8. Воронин, В.А. Системы интервального регулирования / В.А. Воронин // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 7. – С.23 – 29.
9. Воронин, В.А. Микропроцессорная система АБТЦ-М / В.А. Воронин // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 2. – С. 18–19: ил.

#### References

1. SHabel'nikov, A.N. Sovremennye metody organizacionnogo i tekhnologicheskogo upravleniya / A.N. SHa-bel'nikov // Avtomatika, svyaz', informatika. – 2007.-№11 (11).-S. 18–23.
2. Elektropitanie ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatik, telemekhaniki i svyazi: uchebnik dlya vuzov / sost. V.V. Sapozhnikov. - Irk.: Marshrut, 2005. – 453s.
3. Sapozhnikov, V.V. Nadezhnost' sistem ZHAT i svyazi / V.V. Sapozhnikov, Vl.V. Sapozhnikov, V.I. SHamanov. – Irk.: Marshrut, 2006. - 261s.
4. Maryuhnenko, B.C. Sintez ustrojstva adaptivnoj korrekcii upravlyayushchih vozdeystvij operatora transportnogo sredstva / V.S.Maryuhnenko, M.G.Komogorcev, T.V.Truskova // Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. – 2008. – №3 (35). – S. 131-137.
5. Afraimovich, E. L. Geomagnetic storms and occurrence phase slips in reception of GPS signals / E.L. Afraimovich, O.S. Lesyuta, I.I. Ushakov, S. V. Voeuykov//Annals of Geophysics. – 2002. V.45. – №1. – P.55-71.
6. Haynes, R.D. Hardware and software reliability and confidence limits for computer-controlled systems / R.D. Haynes, W.E. Thompson // Microelectronics and reliability. – 1980, – v.20. – №.1-2. P.109–122.
7. Maryuhnenko, B.C. Ocenka vliyaniya geometricheskogo faktora na tochnost' i informativnost' pozicionirovaniya ob"ekta v sputnikovoj radionavigacionnoj sisteme / B.C. Maryuhnenko // Uspekhi sovremennoj radioelektroniki. – 2008. – №2. – S.30 – 40.
8. Voronin, V.A. Sistemy interval'nogo regulirovaniya / V.A. Voronin // Avtomatika, svyaz', informatika. – 2007. – № 7. – S.23 – 29.
9. Voronin, V.A. Mikroprocessornaya sistema ABTC-M / V.A. Voronin // Avtomatika, svyaz', informatika. – 2006. – № 2. – S. 18–19: il.

#### **Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Разработка систем контроля ответственных параметров движения поездов.**

*Проведенный анализ современных систем обеспечения безопасности на транспорте показал существование резервов повышения качества перевозок путем контроля ответственных параметров движущихся объектов. Определены наиболее значимые проблемы создания и совершенствования систем автоматического управления на железнодорожном транспорте. С учетом опыта эксплуатации систем безопасности движения поездов, определены основные способы классификации чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте и их характеристики. Предложена алгоритмическая схема работы системы интервального регулирования движения поездов, которая является основным элементом системы повышения безопасности движения. Разработаны структурные схемы устройств и систем обеспечения безопасности движения поездов. Разработанная система интервального регулирования движения обеспечивает увеличение интенсивности*

движення на залізничному транспорті і дозволять підвищити економічну ефективність перевезок.

**Ключевые слова:** безпека руху, система, поїзд, параметри руху, регулювання.

**Chernetska-Biletska N.B., Baranov I.O., Miroshnykova M.V. Development control systems for critical train parameters.**

The analysis modern transport safety systems showed existence reserves for improving quality of transportation by controlling responsible parameters moving objects. Disadvantage existing systems is lack of ability control integrity warehouse during movement and determine speed of movement and location turnout in event train split.

The most significant problems creation and improvement systems of automatic control on railway transport are established. Taking into account experience operating train safety systems, main methods of railway emergency classification and their characteristics are identified. An algorithmic scheme operation interval control system for trains, which is main element system of improving traffic safety, is proposed. Structural diagrams train safety devices and systems have been developed. The system of interval control traffic is developed, provides increase intensity movement on railway and allows increase economic efficiency transportations.

The system interval control movement of trains solves problem increasing safety and intensity movement by continuous control location trains, control inter-train intervals and integrity warehouses. However use system interval control of trains in conjunction with the floor units SCS will allow to increase intensity traffic, while maintaining high performance of

railway transport. The use device for detecting dangerous approach trains will allow organize an additional level of safety control for operation railway transport on main highways. Use device in low-traffic and non-electrified sections of roads will significantly improve traffic safety.

These studies allow us develop technical devices and algorithms designed to improve transport safety. The systems increase safety movement of vehicles are offered: "System monitoring condition moving objects", "System interval control of movement trains". The concept proposed in work allows develop following technical devices: "Device adaptive correction of actions vehicle operator", "Device control dangerous approach trains traveling in one direction".

**Keywords:** traffic safety, system, train, traffic parameters, regulation.

**Чернецька-Білецька Н.Б.** – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля.

**Баранов І.О.** – к.т.н., доцент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля. mail: [baranov\\_90@ukr.net](mailto:baranov_90@ukr.net)

**Мірошникова М.В.** – старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля.

Стаття подана 02.04.2020

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-86-91>

УДК 338.4

## ВПЛИВ МАРКЕТИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОГО СЕРВІСУ

Шворнікова Г.М., Сорока С.І.

### THE IMPACT OF MARKETING ACTIVITY ON THE QUALITY OF TRANSPORT AND LOGISTIC SERVICE

Shvornikova H., Soroka S.

*Стаття присвячена актуальному питанню здійснення маркетингової діяльності на підприємствах транспортної галузі, зокрема залізничного транспорту. У роботі визначено, що маркетингова діяльність на сучасному етапі розвитку ринкової економіки є одним з важливіших інструментів забезпечення ефективного функціонування транспорту та його конкурентоспроможності на ринку послуг, що надаються юридичним та фізичним суб'єктам господарської діяльності. У роботі проведено аналіз особливостей маркетингової діяльності, її функцій та принципів. Наведено класифікацію транспортно-логістичних послуг та визначені їх основні характеристики, розглянуто вплив маркетингової та логістичної діяльності підприємств транспорту на якість послуг, що ними надаються.*

**Ключові слова:** транспортний комплекс, транспортний маркетинг, транспортно-логістична послуга, якість, планування, конкурентоспроможність.

**Вступ.** В сучасних умовах розвитку ринкових відносин маркетинг набуває все більшого поширення в управлінні виробничо-збутовою діяльністю підприємств, в тому числі і на транспорті. Але в Україні існують проблеми у визначенні функцій і принципів маркетингу на транспорті, зокрема залізничному. До теперішнього часу немає єдиного розуміння того, що таке транспортна послуга [1].

Сфера послуг - одна з перспективних галузей економіки країни, що стрімко розвивається. Сьогодні вже практично кожне підприємство в тій чи іншій мірі стикається зі сферою послуг. До послуг слід віднести вид діяльності, в процесі виконання якої не створюється новий продукт, а змінюється лише якість вже наявного, раніше створеного продукту.

Підвищення ролі послуги в сучасній економіці пояснюється, перш за все, появою нових видів діяльності в сфері послуг у зв'язку з впливом науково-технічного прогресу, ускладненням виробництва і насиченням ринку новими технічно складними товарами. Це викликає необхідність створення ком-

плексу додаткових послуг при збуті товарів, збільшення фінансових, транспортних, інформаційних та інших видів послуг у зв'язку з розвитком виробництва.

Значну економію коштів підприємства отримують за рахунок використання маркетингу в сфері транспортних послуг, оскільки сфера діяльності транспорту пов'язана з наданням безлічі різних видів послуг підприємствам і організаціям, посередницьким фірмам та іншим організаціям, які потребують різних видів послуг.

Тому актуальним є аналіз особливостей застосування маркетингу в сфері транспортних послуг, висвітлення функцій і принципів маркетингу на залізниці, характеристика існуючих визначень транспортної послуги.

Актуальні питання в області маркетингу на транспорті неодноразово розглядалися в роботах Зоріна О.І., Макаренко М.В., Верлока В.С., Ломотька Д.В. та ін. [2-5]. Основна маса публікацій присвячена маркетингу в сфері залізничних пасажирських перевезень, а саме проблемам управління фінансово-економічною діяльністю залізничного транспорту, формування та раціонального використання фінансових ресурсів, підвищенню інвестиційної активності в галузі та ін.

Однак слід зазначити, що в ході досліджень дещо поверхнево було розглянуто питання про ступінь впливу маркетингової діяльності підприємств залізничного транспорту на якість наданих ними послуг.

**Метою роботи** є вивчення особливостей та класифікації транспортно-логістичних послуг, зокрема на залізничному транспорті, визначення ролі і основних завдань маркетингу та логістики, а також ступеня їх впливу на якість послуг, що надаються транспортними компаніями.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На сучасному етапі розвитку економіки ефективне

функціонування транспортної сфери немисливо без застосування сучасних технологій маркетингу і реалізації маркетингової політики. Якісно нові підходи в управлінні транспортною сферою вимагають широкого застосування сучасних прийомів і методів, що дозволяють забезпечити задоволення потреб споживачів, в умовах раціонального використання наявних ресурсів [6].

Маркетинг на залізниці можна визначити як комплексну систему організації перевізного процесу, орієнтовану на більш повне задоволення попиту на транспортно-логістичні послуги і підвищення рентабельності галузі при оптимізації вантажопотоків і транспортної складової в структурі валового національного продукту.

Однак маркетингова діяльність на залізничному транспорті в даний час викликає багато запитань. Більш детальний їх розгляд має сприяти підвищенню ефективності управління залізничним транспортом і комплексному підходу до його планування [7].

Для більш повного розуміння транспортно-логістичної послуги, як об'єкта маркетингової діяльності на транспорті, розглянемо її основні характеристики і, безпосередньо, класифікацію послуг на залізничному транспорті.

Транспортно-логістичні послуги - це посередницька сфера, без якої неможливо існування каналів розподілу між виробниками і споживачами послуг.

Поняття транспортно-логістичної послуги включає в себе такі рівні [1]:

1. Основна послуга: переміщення вантажів і пасажирів.
2. Реальна послуга: якість обслуговування, швидкість доставки, збереження вантажу, комфорт пасажирів, технічний стан транспортного засобу.

3. Розширена послуга: вантажно-розвантажувальні роботи, транспортно-експедиторські послуги, консультації, послуги посередника.

4. Очікувана послуга: імідж, суспільне визнання переваги над конкурентами.

5. Перспективна послуга: потенційна транспортна послуга, можливе її поліпшення в майбутньому, перспективи її подальшого розвитку.

В останні кілька років сфера логістичного (в нашому випадку транспортного) обслуговування стає все більш популярною, внаслідок цього на ринку логістичних послуг виникло та існує безліч транспортних компаній з різним набором послуг. Тому цей ринок насичений підприємствами різної величини, що має на увазі високу конкуренцію. Вона переміщує фокус уваги фірми на балансування на грані підвищення якості послуг і зменшення їх вартості. Вирішення цієї проблеми сприяє виживанню фірми, її існуванню і успішному процвітанню [8]. Транспортні послуги розглядаються як засіб реалізації різних торгових угод. Широкий асортимент транспортних послуг має свої характерні особливості і специфіку маркетингової діяльності.

Будь-який потенційний споживач транспортної послуги (будь то пасажир, якого транспортна організація береться перевезти з пункту відправлення в пункт призначення, або організація, яка бажає територіально переправити свій вантаж) - є її клієнтом, тобто тим, від кого, з точки зору організації ефективною маркетинговою політикою, залежить ухвалення рішення про покупку.

Залізничний транспорт є в Україні одним із пріоритетних видів транспорту, про що свідчать статистичні дані (табл. 1, табл. 2) [9].

Таблиця 1

Кількість перевезених пасажирів за видами транспорту, тис.

Вид транспорту	Роки							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Залізничний	429784.9	7064.1	962.8	3611829.9	7504.8	797993.6	1346431.5	778253.4
Морський	429115.3	5921.0	722.7	3450173.1	8106.3	799688.8	1345544.9	774057.6
Річковий	425216.9	6642.0	631.1	3343659.5	8107.2	757382.8	1306228.5	774794.0
Автомобільний	389305.5	29.4	565.1	2913318.1	6473.3	769911.1	1096884.8	725819.9
Авіаційний	389794.1	25.5	550.8	2250345.3	6302.7	738603.2	1080772.6	700369.5
Трамвайний	389057.6	30.3	448.5	2024892.9	8277.9	694009.4	1038746.0	698367.3
Тролейбусний	164941.6	28.6	562.9	2019324.9	10555.6	675841.4	1058072.1	718886.9
Метрополітен	157962.4	71.9	596.2	1906852.1	12529.0	666271.1	1016241.2	726585.1

Таблиця 2

Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту, тис. т

Вид транспорту	Роки							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Залізничний	469308.1	4145.6	5720.9	1252390.3	92.1	154971.2	469308.1	4145.6
Морський	457454.5	3457.5	4294.7	1259697.7	122.6	128439.8	457454.5	3457.5
Річковий	443601.5	3428.1	2840.5	1260767.5	99.2	125941.1	443601.5	3428.1
Автомобільний	386276.5	2805.3	3144.8	1131312.7	78.6	99679.5	386276.5	2805.3
Авіаційний	349994.8	3291.6	3155.5	1020604.0	69.1	97231.5	349994.8	3291.6
Трубопровідний	343433.5	3032.5	3641.8	1085663.4	74.3	106729.2	343433.5	3032.5

У транспортному комплексі країни зайнято близько 2 млн. чоловік. Повна балансова вартість основних фондів транспорту становить близько 12% від всіх основних фондів української економіки. Частка залізничного транспорту в загальному обсязі послуг, що надаються населенню, становить понад 25%. Частка транспорту у валовому внутрішньому продукті України перевищує 6%.

Все це надає особливої актуальності транспортному маркетингу.

Таким чином, можна констатувати, що маркетингова діяльність має суттєвий вплив на розвиток всієї транспортної сфери в Україні [6, 10].

Основними принципами транспортного маркетингу є орієнтація на інтереси користувачів, на кінцевий результат, постійне оновлення технічних засобів і підвищення якості транспортного обслуговування.

Основними завданнями маркетингу на залізничному транспорті є:

- аналіз транспортної складової в кінцевій ціні продукту;

- оцінка реальних обсягів перевезень за напрямками і вантажам в залежності від якості продукції, рівня платоспроможності і набору послуг;

- визначення умов зі зміни обсягів перевезень з метою побудови нових транспортно-економічних зв'язків;

- виявлення незадоволеного попиту по сегментах транспортного ринку і розробка комплексних заходів по його освоєнню;

- розробка достовірних прогнозів перевезень, підвищення на їх основі якості поточного і стратегічного планування.

З точки зору маркетингу, стратегія розвитку транспортної сфери повинна розроблятися як по галузях, так і по окремих підприємствах транспорту.

Реформування залізничного транспорту здійснюється відповідно до затвердженої 12.07.2019 Стратегії акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019-2023 рік.

Крім того, проведення структурної реформи АТ «Укрзалізниця» передбачено в постанові Кабінету Міністрів України «Про затвердження основних принципів здійснення державної власності щодо акціонерного товариства «Українська залізниця» від 12.06.2019 № 628.

Метою проведення структурної реформи АТ «Укрзалізниця» (в ракурсі виконання актів законодавства ЄС) є організаційний і фінансовий поділ оператора інфраструктури та перевізника всередині Товариства. Це - перша умова справедливого доступу до інфраструктури [10].

Також трансформація державної залізничної компанії за видами бізнесу дозволить забезпечити прозорість фінансових потоків всередині суспільства, підвищити якість управління кожним видом діяльності. Це дозволить Укрзалізниці підготуватися до появи приватних конкурентів на ринку залізничних перевезень.

У стратегічному плані, процеси щодо реформування всієї структури залізничного транспорту повинні здійснюватися на основі чіткого розмежування конкурентного і монопольного сектора, з перспективою відмови від подальшої реалізації одними і тими ж суб'єктами господарювання конкурентних і природно-монопольних видів діяльності.

Основну роботу по реалізації стратегії маркетингу на залізничному транспорті в частині вантажних перевезень виконує галузева система транспортного обслуговування. Створюються структури маркетингу з пасажирських перевезень та інших видів діяльності залізничного транспорту [7].

Всі користуються послугами транспортних компаній. Транспортна діяльність, по суті, є сполучною ланкою всіх інших сфер діяльності людини і індикатором загальних тенденцій в економіці. Як було зазначено раніше, якість надаваних транспортних послуг багато в чому залежить від маркетингової стратегії і внутрішньої організації діяльності компанії, що передує процесу надання послуг. В основу організації діяльності транспортної компанії може бути покладена концепція і принципи логістики, що впливають на якість транспортних послуг. Механізм такого впливу потребує більш детального розгляду.

Оцінка якості транспортних послуг заснована на критеріях, відповідно до яких проводиться їх порівняння або класифікація [11].

У цьому контексті класифікація критеріїв якості транспортних послуг, стосовно вантажних та пасажирських перевезень, може бути наступною:

1. Функціональність перевезення, тобто набір функцій перевезення, які розширюють його можливості, як необхідних, так і тих, що відносяться до додаткових сервісів. У випадку з пасажирськими перевезеннями функціональність має на увазі можливість харчування при тривалих перевезеннях, можливість сну клієнта, зручне розміщення багажу і т.д. При вантажних перевезеннях, це можливість перевезення різного виду вантажів без порушення його якості.

2. Якість транспортних засобів. До цього критерію якості можна віднести безпеку транспортного засобу для пасажира або вантажу, а також його комфортабельність і надійність.

3. Якість поставки вантажу (перевезення пасажирів). Стосовно до вантажних перевезень, якість процесу поставки можна визначити, як здатність постачальника доставити корисний вантаж в необхідній кількості, в потрібне місце, у встановлений час і з мінімальними витратами. Якщо говорити про пасажирські перевезення, то сюди можна включити такі критерії, як точність відправлення (прибуття) транспортних засобів за розкладом, швидкість перевезення, час у дорозі та інші.

4. Компетентність персоналу. Цей критерій якості характеризує рівень знань і досвіду персоналу, необхідний для реалізації транспортних послуг.

5. Якість інфраструктури. У випадку з пасажирськими перевезеннями до цих критеріїв якості можна віднести якість доріг, чистоту в зимовий час і т.д. При вантажних перевезеннях до цієї складової якості відноситься сучасність вантажних терміналів, які багато в чому спрощують проходження потоку вантажів від постачальника до споживача.

Розглянемо вплив логістики та маркетингової діяльності транс-кравець компанії на представлені вище критерії якості послуг, що надаються. Слід зазначити, що принципи логістики застосовні як до організації підготовчої діяльності транспортних компаній, так і до організації своєї основної діяльності (надання послуг).

1. Функціональність перевезення лежить скоріше поза межами дії логістики, так як закладається на стадії маркетингових досліджень і проектування майбутньої послуги. Але на стадії закупівель транспортних засобів (де ступає в дію закупівельна логістика), повинна враховуватися закладена раніше функціональність.

2. Якість транспортних засобів. Цей критерій якості багато в чому забезпечується закупівельною логістикою компанії, яка відповідає за придбання, як самих транспортних засобів, так і за своєчасну поставку пально-мастильних матеріалів і запасних частин до транспортних засобів. Ця діяльність багато в чому обумовлює безпеку і надійність транспортних засобів під час експлуатації, тобто при безпосередньому процесі надання транспортної послуги.

3. Якість поставки вантажу (перевезення пасажирів) є центральним критерієм якості, забезпечуваним системою логістики транспортної компанії. Як зазначалося вище, цей критерій якості характеризує здатність постачальника доставити корисний вантаж в необхідній кількості, в потрібне місце, у встановлений час і з мінімальними витратами. Стосовно до пасажирських перевезень, критерій якості характеризує здатність постачальника перевезти пасажирів точно за розкладом, в потрібне місце, по оптимальному для нього маршруту. Ефективна організація подібної діяльності відноситься до предметної області транспортної логістики та повинна враховуватися на стадії розробки маркетингової стратегії.

4. Компетентність персоналу багато в чому обумовлюється якістю його підготовки перед здійсненням основної діяльності: наданням транспортних послуг. Ця складова є скоріше елементом корпоративної культури і обумовлюється рівнем розвитку технологій навчання персоналу. Можна стверджувати, що ця складова якості лежить поза межами дії логістики транспортної компанії.

5. Якість інфраструктури, є «зовнішнім» критерієм якості, на який компанія може здійснювати лише непрямий вплив (наприклад, через які виплачуються податки). Тому система логістики компанії не здійснює на неї прямого впливу. Однак, при проектуванні маршруту доставки вантажу або перевезення пасажирів, можна врахувати стан якості транспортної інфраструктури. А значить, виходить зво-

ротний зв'язок: якість інфраструктури впливає на логістичну діяльність компанії.

**Висновки.** У підсумку можна стверджувати, що якість транспортних послуг є комплексним поняттям, що визначаються багатьма критеріями, за якими споживач порівнює якість наданих йому транспортних послуг зі своїми очікуваннями і пропонуваною ціною. Концепція і принципи маркетингу і логістики для підвищення якості транспортних послуг застосовуються на стадії організації внутрішньої діяльності транспортних компаній і проявляються на стадії безпосереднього надання послуги з перевезення вантажів або пасажирів. Діяльність транспортної компанії має прямий вплив на критерії якості послуг: якість транспортного засобу і якість доставки вантажу або перевезення пасажирів. Центральна роль маркетингу і логістики в якості транспортних послуг полягає в «наскрізному» збереженні якості на всіх етапах діяльності компанії.

Крім того, облік перерахованих особливостей по доставці вантажів споживачам дозволяє більш правильно встановити рівень обслуговування та організувати ритмічну систему доставки продукції. При цьому жодне чинне транспортне підприємство не може успішно працювати на товарному ринку без кваліфікованого застосування маркетингу. При цьому елементи маркетингу, які застосовуються на великих підприємствах, не можуть бути в рівній мірі використані для середніх і дрібних підприємств.

Реалізація маркетингової діяльності в сфері транспортних послуг дозволить забезпечити більш високий рівень конкурентоспроможності підприємств та підвищення їх ефективності.

Підводячи підсумки, варто зазначити, що успішна реалізація комплексу намечених програм, а також високий рівень сервісу, що надається транспортними організаціями, дозволить знову заговорити про вітчизняний транспорт, як про один з найбільш перспективних і конкурентоспроможних напрямів вітчизняної сфери послуг.

#### Л і т е р а т у р а

1. Гончаренко Д.С., Зорин А.В. Особенности применения маркетинга в сфере транспортных услуг. Научный вестник Херсонского государственного университета. Херсон, 2014. Выпуск 9. Часть 4. С. 94-97.
2. Транспортный маркетинг : учебник / В.Г. Галабурда, Г.В. Бубнова, Е.А. Иванова и др. ; под ред. В.Г. Галабурды. М. : ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 452 с.
3. Бакалінський О.О., Макаренко М.В. Маркетинг пасажирських перевезень залізничним транспортом як складова концепції інтегрованого менеджменту послуг. Економіст. 2012. № 1. С. 55-58.
4. Верлока В.С. Маркетинг на залізничному транспорті: шляхи розвитку та проблеми. Вагонный парк. 2009. № 2-3. С. 40-41.

5. Зоріна О.І., Боровська О.Г., Сиволовська О.В. Управління якістю транспортних послуг : навч. посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2012. 166 с.
6. Тультаев Т.А., Зубин С.И. Влияние маркетинговой деятельности на развитие транспортных услуг в России. Интернет-журнал «Науковедение». 2013. Выпуск 6. С. 1-13.
7. Новак Г.Л., Григоренко Т.Г., Григоренко Е.И. Значение транспортного маркетинга в функционировании железнодорожного транспорта. Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. Северодонецк, 2017. № 3 (233). С. 132-135.
8. Жильцова О.Н. Разработка комплекса маркетинга для транспортной компании, стартующей на рынке логистических услуг. Научно-практический журнал «Маркетинг и логистика», 2017. №1(9). С. 36-47.
9. Офіційний сайт державної служби статистики. URL:<http://www.ukrstat.gov.ua/>
10. Барабаш В.В., Шворнікова Г.М. Сучасний стан транспортно-логістичної системи України та перспективи євроінтеграції. Проблеми сучасного управління: економічні, екологічні, політико-правові, історичні, культурні, ментальні аспекти: Зб. наук. праць за матеріалами XII Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Одеса, 24-26 лист. 2016 р. Одеса, 2016. С. 225-233
11. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. М., 2003. 520 с.
10. Barabash V.V., Shvornikova H.M. Suchasnyi stan transportno-lohistrychnoi systemy Ukrainy ta perspektyvy yevrointehratsii. Problemy suchasnoho upravlinnia: ekonomichni, ekolohichni, polityko-pravovi, istorychni, kulturni, mentalni aspekty: Zb. nauk. prats za materialamy KhII Vseukrainskoi nauk.-prakt. konf., m. Odesa, 24-26 lyst. 2016 r. Odesa, 2016. S. 225-233.
11. Lopatnikov L.I. Jekonomiko-matematicheskij slovar': Slovar' sovremennoj jekonomicheskoy nauki. M., 2003. 520 s.

**Шворникова А.М., Сорока С.И. Влияние маркетинговой деятельности на качество транспортно-логистического сервиса.**

*Статья посвящена актуальному вопросу осуществления маркетинговой деятельности на предприятиях транспортной отрасли, в частности железнодорожного транспорта. В работе определено, что маркетинговая деятельность на современном этапе развития рыночной экономики является одним из важнейших инструментов обеспечения эффективного функционирования транспорта и его конкурентоспособности на рынке услуг, которые предоставляются юридическим и физическим субъектам хозяйственной деятельности. В работе проведен анализ особенностей маркетинговой деятельности, ее функций и принципов. Приведена классификация транспортно-логистических услуг и определены их основные характеристики, рассмотрено влияние маркетинговой и логистической деятельности предприятий транспорта на качество предоставляемых ими услуг.*

**Ключевые слова:** транспортный комплекс, транспортный маркетинг, транспортно-логистическая услуга, качество, планирование, конкурентоспособность.

**References**

1. Goncharenko D.S., Zorin A.V. Osobennosti primeneniya marketinga v sfere transportnyh uslug. Naukovij vi-snik Hersons'kogo derzhavnogo universitetu. Herson, 2014. Vipusk 9. Chastina 4. S. 94-97.
2. Transportnyj marketing : uchebnik / V.G. Galaburda, G.V. Bubnova, E.A. Ivanova i dr. ; pod red. V.G. Gala-burdy. M. : FGOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte», 2011. 452 s.
3. Bakalinskyi O.O., Makarenko M.V. Marketnyh pasazhyrskykh perevezen zaliznychnym transportom yak skladova kontseptsii intehrovanoho menedzhmentu posluh. Ekonomist. 2012. № 1. S. 55-58.
4. Verloka V.S. Marketnyh na zaliznychnomu transporti: shliakhy rozvytku ta problemy. Vahonnyi park. 2009. № 2-3. S. 40-41.
5. Zorina O.I., Borovska O.H., Syvolovska O.V. Upravlinnia yakistiu transportnykh posluh : navch. posibnyk. Kharkiv : UkrDAZT, 2012. 166 s.
6. Tul'taev T.A., Zubin S.I. Vlijanie marketingovoj dejatel'nosti na razvitie transportnyh uslug v Rossii. Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013. Vypusk 6. S. 1-13.
7. Novak G.L., Grigorenko T.G., Grigorenko E.I. Znachenie transportnogo marketinga v funkcionirovanii zheleznodorozhnogo transporta. Vestnik Vostochnoukrainskogo nacional'nogo universitetu imeni Vladi-mira Dalja. Severodoneck, 2017. № 3 (233). S. 132-135.
8. Zhil'cova O.N. Razrabotka kompleksa marketinga dlja transportnoj kompanii, startujushhej na rynke logisticheskikh uslug. Nauchno-prakticheskij zhurnal «Marketing i logistika», 2017. №1(9). S. 36-47.
9. Ofitsiyni sait derzhavnoi sluzhby statystyky. URL:<http://www.ukrstat.gov.ua/>

**Shvornikova H., Soroka S. Influence of marketing activity on quality of transport and logistics service.**

*The goal of any production or trading system is to satisfy customer needs. Marketing and logistics are parts of this system. Marketing determines demand, and logistics ensures the flow of goods to the consumer. Thus, both functions provide a single process and must be properly interacted to succeed.*

*In modern conditions of market relations development, marketing is becoming more widespread in the management of production and marketing activities of enterprises, including in transport. But in Ukraine there are problems in defining the functions and principles of marketing in transport, in particular railway. There is still no common understanding of what a transport service is. Therefore, it is relevant to analyze the features of the marketing use in the field of transport services, highlight the functions and principles of marketing on the railway, and characterize the existing definitions of transport services.*

*Transport marketing is defined as a system of organization and management of transport enterprises, companies and firms providing transport services to transport users based on a comprehensive study of the transport market and demand for transport products in order to create the best conditions for its implementation for market entities.*

*At this stage in the development of the Ukrainian economy, there are problems in marketing management at transport enterprises. In practice, there is no single understanding of what a marketer of a transport company should do, especially railways. Currently, rail transport focuses mainly on passenger transport, while freight transport remains on the sidelines. Therefore, the application of the prin-*

---

*ciples and elements of marketing is extremely important for Ukrainian transport enterprises. This will allow enterprises to withstand the conditions of the economic crisis and take a stable position among competitors.*

*In this regard, the article made an attempt to determine the basic concepts of transport and logistics services, its characteristics and features. The basic principles and functions of transport marketing are considered, an analysis of the implementation of marketing activities in transport is performed. The aspects of the interaction of marketing and logistics of a transport company are determined. The article describes the impact of marketing on the quality of transport and logistics services.*

**Keywords:** *transport complex, transport marketing, transport and logistics service, quality, planning, competitiveness.*

**Шворнікова Ганна Михайлівна**, к.т.н., доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, e-mail: [shvorni@gmail.com](mailto:shvorni@gmail.com)

**Сорока Сергій Іванович**, к.т.н., доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля.

Стаття подана 09.04.2020

**ВІСНИК  
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
№ 5 (261) 2020**

**Науковий журнал**

Відповідальний за випуск

Чернецька-Білецька Н.Б.

Оригінал-макет

Могильна О.В.

**Статті надруковано в авторській редакції**

Підписано до друку 26.10.2020 р.  
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 10,6. Обл.-вид. арк. 11,9.  
Наклад 50 прим. Вид. № 3289. Заказ № 29. Ціна вільна.

Видавництво  
Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

**Адреса університета:** просп. Центральний 59-А  
м. Северодонецьк, 93400, Україна  
**E-mail:** [vidavnictvoSNU.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvoSNU.ua@gmail.com)

Надруковано:  
Відділ технічного обслуговування СНУ ім. В. Даля  
Адреса: просп. Центральний, 59-а  
м. Северодонецьк, 93400