

ISSN 2222-419X (Print)
ISSN 2313-8688 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

ЗБІРНИК

наукових праць

**Дніпровського
національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА
ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ»**

Засновано в 2011 році

Випуск 26

Дніпро
2023

УДК 626
ББК 39
Д 54

ЗАСНОВНИК:
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ВИДАВЕЦЬ:
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Затверджено до друку рішенням вченої ради Українським державним університетом науки і технологій від 29.11.2023 р., протокол № 4

Збірник наукових праць «Транспортні системи та технології перевезень», наказом Міністерства освіти і науки України №409 від 17.03.2020 р. внесено до Категорії Б «Переліку наукових фахових видань України».

Редакційна колегія:

головний редактор – доктор технічних наук *А. М. Афанасов*;
заступник головного редактора – кандидат технічних наук *М. І. Березовий*.
відповідальний секретар – кандидат технічних наук *Р. Г. Коробйова*.

Члени редакційної колегії:

доктори технічних наук *Т. В. Бутько, І. В. Жуковицький, Д. М. Козаченко, Д. В. Ломотько, Є. В. Нагорний, В. В. Скалозуб*, доктор фізико-математичних наук *В. І. Гаврилюк (Україна)*, доктор технічних наук *Маріанна Яцина (Польща)*.

Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – Дніпро: Вид-во Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2023. – Вип. 26. – 100 с.

ISSN 2222-419X (Print)

ISSN 2313-8688 (Online)

УДК 656
ББК 39

Д 54

В статтях висвітлені результати наукових досліджень, виконаних авторами в Українському державному університеті науки і технологій та інших організаціях у сфері формування та забезпечення ефективної роботи складових елементів транспортного комплексу, розвитку його матеріально-технічної бази, удосконалення технологій експлуатаційної, вантажної та комерційної роботи транспорту.

Збірник становить інтерес для співробітників науково-дослідних організацій, наукових та науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів, студентів вищих навчальних закладів, інженерно-технічних працівників установ, організацій та підприємств транспортної галузі.

UDK 626

Results of researches, which are made in Ukrainian State University of Science and Technologies and other organizations in the fields of formation and effective operation of the constituent elements of the transport sector, its material and technical base development, freight and commercial operation improvement are presented in the articles.

The collection is intended for the research organizations employees, research and educational personnel, as well as for the doctoral candidates, postgraduates and for the higher school students, engineering employees of organizations and enterprises of transport industry.

© Український державний університет
науки і технологій, 2023

ЗМІСТ

Д. М. КОЗАЧЕНКО, С. В. ГРЕВЦОВ, О. В. КЛИГА РОЗВИТОК МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ ІЗ СОРТУВАЛЬНИХ ГИРОК	4
О. М. БАЛЬ, Я. В. БОЛЖЕЛАРСЬКИЙ, М. О. БАБ'ЯК, Ю. В. ТЕРЕЩАК, Л. Й. СОЛОДЯК ПЕРСПЕКТИВИ РОЗБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ В НАПРЯМКУ РУМУНІЇ, МОЛДОВИ І ПОЛЬЩІ.....	14
О. В. ЗАРУБА, А. М. ОКороков ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МАРШРУТАМИ.....	30
В. Г. ДЖЕНЧАКО, Г. В. МАСЛАК, М. В. ХАРА, О. Ю. НЕТРЕБКО ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ВАНТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ФАБРИКИ В УМОВАХ ЗМІННОГО СЕРЕДОВИЩА	37
М. І. БЕРЕЗОВИЙ, В. В. МАЛАШКІН, С. В. БОРИЧЕВА, С. В. ЛАУШНИК, І. В. РАДЖАПОВА РОЗРОБКА ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕТИНУ КОРДОНУ З ЄС КОНТРЕЙЛЕРНИМИ ПОЇЗДАМИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ ЗЕРНОВОЇ ГРУПИ	44
А. С. ДОРОШ, Є. Б. ДЕМЧЕНКО, Д. В. ХИЛЬКЕВИЧ, Н. Ю. БЕРУН ТРАНСПОРТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	53
О. М. ОГАР, Д. В. ЛОМОТЬКО, Г. І. ШЕЛЕХАНЬ, М. Д. ЛОМОТЬКО ФОРМУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНОЮ КОМПАНІЄЮ-ПЕРЕВІЗНИКОМ РЕГІОНАЛЬНОГО ТИПУ	61
О. М. МЕЛЬНИК ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ БЕЗПЕКО-ОРІЄНТОВАНОЇ РОБОТИ МОРСЬКИХ СУДЕН ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ	68
Є. М. ЛЕБІДЬ, І. Г. ЛЕБІДЬ, Н. О. ЛУЖАНСЬКА МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА ПРИ ВИКОНАННІ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	76
Ю. Л. ХОМЕНКО, А. М. ОКороков ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПОРТНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ ЗЕРНОВИХ З УКРАЇНИ	85
О. І. ХАРЧЕНКО, О. М. САКАЛЬ, А. С. КАРАПИШ ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ.....	92

УДК 656.212.5

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{2*}, О. В. КЛИГА^{3*}

^{1*}Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта: dmytro.kozachenko@outlook.com, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*} Каф. «Транспортні технології», Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 32, м. Львів, Україна, 79052, тел. +38 (067) 771 77 59, ел. пошта: serhii.v.hrevtsov@lpnu.ua, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{3*}Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта: aleksandr.klyga@gmail.com, ORCID 0009-0003-8705-449X

РОЗВИТОК МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ ІЗ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Мета. Метою цієї статті є проведення історичного аналізу розвитку методів моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок та визначення напрямків їх удосконалення для вирішення задач, що сьогодні стоять перед залізничним транспортом України. **Методика.** Дослідження виконані на підставі обробки літературних джерел бібліотеки Українського державного університету науки та технологій, а також наукометричних баз Scopus та Google Scholar. **Результати.** Основним елементом процесу розформування составів на сортувальних гірках є процес керованого скочування вагонів. Зародження методів моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок відбулося на початку 20-го сторіччя, коли вони виділилися із методів тягових розрахунків. До середини 20-го сторіччя моделювання скочування відчепів здійснювалося з метою вирішення задач проектування сортувальних гірок. Для цього періоду характерним є моделювання скочування поодиноких вагонів в відомих умовах. Ускладнення методів моделювання роботи сортувальних гірок пов'язано з задачами автоматизації управління скочування відчепів. З цією метою були вирішені задачі встановлення законів та параметрів розподілу випадкових величин що опору, що діють на відчепа, врахування зміни поздовжнього профілю колії під відчепом, моделювання роботи гальмових уповільнювачів та систем управління ними та ін. Сучасні умови функціонування сортувальних гірок України характеризуються значним зменшенням обсягів роботи. **Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній на підставі історичного аналізу розвитку методів моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок встановлені зв'язки між умовами роботи залізничного транспорту та методами моделювання гіркових процесів. **Практична значимість.** Практична значимість результатів полягає в тому, що вони вказують на необхідність розвитку методів моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок за неточної інформації про їх ходові характеристики та умови скочування. Це дозволить підвищити ефективність роботи сортувальних гірок без значних капітальних вкладень у системи управління розпуском.

Ключові слова: залізничний транспорт, сортувальна гірка, розформування составів, скочування відчепів, моделювання

Вступ

Сортувальні гірки являють собою складні системи, в процесі функціонування яких взаємодіє значна кількість об'єктів. Принципово визначення експлуатаційних показників цих систем можливо на підставі експериментів з реально діючими гірками. Однак наведені експерименти пов'язані із значними витратами коштів і тимчасовим виведенням гірок з експлуатаційної роботи. Тому основою сучасних методів оцінки сортувального процесу є математичне моделювання розформування составів. Результати такого моделювання використовуються на стадії проектування сортувальних гірок, оцінки ефективності їх механізації, при розробці автоматизованих систем управління розформуванням, а

також в експлуатаційній роботі при аналізі техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальних гірок, при дослідженні випадків порушення безпеки руху, при навчанні оперативного персоналу та ін. У зв'язку з цим дослідження методів моделювання розформування составів поїздів на сортувальних гірках є актуальною задачею для залізничного транспорту.

Мета

Метою цієї статті є проведення історичного аналізу розвитку моделювання скочування відчепів із сортувальних гірок та визначення напрямків їх удосконалення для вирішення задач, що сьогодні стоять перед залізничним транспортом України.

Методика

В цьому дослідженні сортувальна гірка розглядається як система, що знаходиться у взаємодії з іншими підсистемами залізничної станції і з'єднана з ними множиною прямих та зворотних зв'язків, які змінюються у часі. Характеристика сортувальної гірки як системи наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики сортувальної гірки як системи

Класифікаційна ознака	Клас системи
Природа елементів	Реальна
Походження	Штучна
Мінливість властивостей	Динамічна
Передбачуваність станів	Стохастична
Характер поведінки	З управлінням
Ступінь складності	Складна
Ступінь зв'язку з зовнішнім середовищем	Відкрита
Ступінь участі людини у реалізації керуючих впливів	Ергатична

Цілями сортувальної гірки як системи є забезпечення розформування-формування потоку составів поїздів у заданому темпі з мінімальними експлуатаційними витратами та при безумовному дотриманні умов безпеки руху.

Дослідження у цій роботі виконані на підставі обробки літературних джерел бібліотеки Українського державного університету науки та технологій, а також наукометричних баз Scopus та Google Scholar.

Результати

Розформування-формування составів вантажних поїздів є одним із найбільш масових видів маневрової роботи. З цією роботою пов'язані значні витрати часу та палива. Тому розробка технічних засобів для підвищення ефективності розформування-формування составів поїздів почалися ще на етапі становлення залізничного транспорту. В ході перших років експлуатації залізниць було встановлено, що ухил колії в сторону сортувальних колій створює умови для самостійного руху вагонів та прискорює їх сортування. Історична довідка про розвиток сортувальних гірок наведена в роботах [1, 2]. Основні інноваційні рішення в цьому напрямку були здійснені у 19-му сторіччі у Німеччині. В 1846 році в Німеччині у Дрездені була побудована станція на суцільному ухилі, що зменшувало участь локомотивів при сортуванні вагонів. Можливість побудови станцій на суцільному ухилі суттєво обмежена рельєфом місцевості тому

були конструкція сортувального пристрою продовжувала удосконалюватись. Перша сортувальна гірка сучасної конструкції з протиухилом та площадкою на вершині гірки була побудована на станції Speldorf в 1876 році. У США перша сортувальна гірка була побудована в 1982 році, у Франції у 1888 р. З тих часів сортувальні гірки почали розвиватися і на сьогодні вони стали основним технічним засобом, що забезпечує розформування-формування составів вантажних поїздів.

Поява методів моделювання розформування-формування составів поїздів на сортувальних гірках була пов'язана з необхідністю вирішення задач проектування і припадає на початок 20-го сторіччя. Необхідно відмітити, що рух вагонів на сортувальних гірках підкоряється тим же самим фізичним законам, що і їх рух у складі поїздів. Тому методи моделювання руху вагонів на сортувальних гірках розвивалися як спеціальні методи тягових розрахунків теорії тяги поїздів. Наукові методи теорії тяги поїздів розвивалися у другій половині 19-го сторіччя. Зокрема у 1858 р. була опублікована праця професора Добронравова «Загальна теорія парових машин та теорія паровозів», де він навів рівняння руху поїзда та детально розглянув складові сил опору руху. Детальні дослідження опорів руху залізничного рухомого складу наведено у 1889 р. в роботі Петрова [3].

Перший етап розвитку методів моделювання скочування відцепів з сортувальної гірки пов'язаний з вирішенням задач їх проектування. Зокрема перший розрахунок висоти сортувальної гірки був опублікований Фроловим у роботі [4]. Методика розрахунку швидкості скочування одиночного відчепа була опублікована Дубеліром у 1910 р. [5]. Метою розрахунку було вирішення задачі проектування поздовжнього профілю сортувальної гірки та сортувального парку. При цьому поздовжній профіль було розділено на три ділянки: спускна частина гірки, стрілочна зона та сортувальні колії. Відцеп розглядався як матеріальна точка.

Формування сучасного підходу до моделювання процесу скочування відцепів з сортувальної гірки здійснено Образцовим в 1928 в роботі [6]. Так же як і Дубелір в роботі [5] Образцов при моделюванні руху вагонів ґрунтувався на методах тягових розрахунків для поїзної роботи. Однак ним було вказано на суттєві відмінності в умовах руху вагона в составі поїзда та під час скочування з гірки, що викликає необхідність розробки спеціальних методів розрахунку. В

якості основного рівняння руху в роботі використано формулу

$$P = mv \frac{dv}{ds},$$

де P – рушійна сила; m – маса відчепа; s – відстань скочування.

Рушійна сила в цій формулі визначається за виразами

$$P = F - W,$$

$$F = Q \sin \alpha_n,$$

$$W = Qw_0 + 0,07 f_b (v + v_b)^2 + 0,75 \frac{Q}{R},$$

де F – проекція ваги вагона на площину скочування відчепа; W – сила опору руху відчепа; α_n – кут нахилу; w_0 – основний питомий опір руху вагона; f_b – площа поперечного перетину вагона; v_b – швидкість вітру; Q – вага відчепа; R – радіус кривої.

В роботі наведено три методи вирішення рівняння руху: графічний (метод Ліпеца), спрощений графічний та аналітичний метод. На відміну від роботи [5] в роботі [6] виконується побудова залежності часу скочування відчепа від відстані та сформульована задача перевірки умов розділення відцепів на стрілочних переводах. На відміну від методики тягових розрахунків для поїзної роботи та від [5] в роботі [6] опір повітря враховується не разом з основним опором руху вагонів, а разом з опором вітру. Тому значення основного питомого опору руху вагонів при виконанні гіркових розрахунків не залежить від швидкості руху. Також в [6] викладено порядок виведення формули для визначення опору руху від кривих на підставі формули з методики тягових розрахунків для поїзної роботи.

Порівняння підручників [7] та [8] показує, що методи моделювання скочування відцепів для вирішення задач проектування сортувальних гірок цілісно сформувалися в 30-х роках ХХ-го сторіччя. Так в підручнику «Залізничні станції» проф. Карейші 1930-го року [7] наведено лише опис загальних принципів проектування сортувальних гірок. В той час як у підручнику проф. Образцова 1938-го року [8] наведена цілісна методика проектування сортувальних гірок і, зокрема, методів моделювання скочування відцепів. В основу методики [8] була покладена робота [6]. На відміну від [6] в [8] уже враховувались опори від ударів в стрілках, а також наведена методика визначення опору гальмових уповільнювачів. Також, додатково до методів графічного моделювання руху із [6] в роботі [8]

наведено табличний метод моделювання скочування вагонів, в основу якого покладено чисельний метод рішення рівняння руху. Методика Образцова була покладена в основу діючих на той час правил проектування залізниць. В цілому методика, що наведена в [8], відповідає сучасним методам моделювання руху вагонів на сортувальних гірках. Однак вона розглядає сортувальну гірку як детерміновану систему, коли параметри гірки, відцепів та навколишнього середовища точно відомі. Методика [8] була орієнтована виключно на моделювання руху одновагонних відцепів як матеріальних точок. При цьому поздовжній колій гірки задавався ламаючою лінією, перевірка умов розділення здійснювалася лише на стрілочних переводах на ділянках від гостряків до граничних стовпчиків, опори руху вагонів в ній визначаються досить спрощено.

Другий етап розвитку методів моделювання скочування відцепів з сортувальної гірки пов'язаний з вирішенням задач автоматизації управління розпуском составів, урахуванням її вимог та оцінкою їх ефективності під час проектування.

Технічною основою для автоматизації розформування составів було впровадження в роботу залізниць вагонних уповільнювачів, гіркової автоматичної централізації та електронно-обчислювальних машин.

Уповільнювачі для сортувальних гірок вперше було запатентовано у 1923 в США [9]. При цьому значне підвищення переробної спроможності сортувальних станцій за рахунок механізації управління швидкістю скочування відцепів викликало бурхливий розвиток цих пристроїв. Тому до 1935 року було винайдено переважну кількість конструкцій вагонних уповільнювачів, які використовуються і до теперішнього часу. У 40-х роках 20-го сторіччя почалося впровадження систем автоматичного управління швидкістю скочування відцепів на сортувальних гірках. Першою в світі станцією, обладнаною такою системою була збудована у 1948 році станція North Platt (США) [10, 11].

При вирішенні задачі автоматичного управління розформування реальних составів виник цілий ряд додаткових проблем у порівнянні з задачами проектування. Так при проектуванні сортувальних гірок використовують розрахункові параметри вагонів та умов навколишнього середовища. В той же час в задачах управління розпуском составів ці параметри повинні відповідати умовам скочування конкретного відчепа. Опір руху вагонів залежить від великої кількості

факторів і являє собою випадкову величину, що суттєво впливає на ходові характеристики відчепів. Тому виникли задачі уточнення ходових характеристик відчепів. Так з метою удосконалення методів моделювання розпуску составів у 1965 під керівництвом Ющенка було виконано оцінку основного та додаткового опору руху восьмивісних вагонів [12]. Питанням розробки методів оцінки ходових характеристик відчепів в оперативних умовах та їх точності присвячені роботи [13-19]. Масштабні дослідження по встановленню опорів руху вагонів були виконані у 1975 році Всесоюзним науково-дослідним інститутом залізничного транспорту [20]. В ході виконаних спостережень, експериментальних та теоретичних досліджень були встановлені залежності для визначення опорів руху відчепів під час їх скочування. Результати цих досліджень були покладені в основу Правил та норм проєктування сортувальних пристроїв на залізницях Союзу РСР [21]. Необхідно відмітити, що в [21] були наведені вирази для моделювання основного питомого опору відчепів та опору руху відчепів від стрілок та кривих як випадкових величин. Однак відсутність таких же виразів для визначення опору руху від середовища та вітру і від гальмових засобів не дозволяє побудувати адекватну модель скочування відчепів, що враховує дію випадкових факторів.

Дослідження по встановленню опорів руху залізничних вагонів на сортувальних гірках США та по розробці методів розрахунку їх величини представлені в [22].

Керованим параметром під час скочування відчепів є опір гальмових уповільнювачів чи гальмових башмаків. Починаючи від перших моделей і до діючих на сьогодні в Україні галузевих будівельних норм «Споруди транспорту: сортувальні пристрої залізниць» [23] при вирішенні задач проєктування питомий гальмовий опір визначався на підстав розрахункового значення питомої потужності уповільнювача чи гальмового башмака, заданої в метрах енергетичної висоти. При цьому, величина цього опору враховувалася рівномірно в зоні дії уповільнювача чи башмака. Така модель суттєво відрізняється від реального процесу гальмування відчепів, що є джерелом похибок. По-перше, процес гальмування підлягає впливу великої кількості випадкових факторів, тому гальмовий питомий опір уповільнювача чи башмака являє собою випадкову величину і точне його значення є невідомим. По-друге, процес гальмування відчепів відбувається через взаємодію уповільнювача чи

башмака з окремими колесами вагонів, а не відчепів в цілому. Гальмові уповільнювачі діють на колеса під час їх проходження повною гальмовою потужністю на певному ступені гальмування від моменту приведення їх в робочий стан, до моменту вимкнення. Через це процес гальмування відчепів не є рівномірним, а залежить від конструкції гальмових засобів. Рішення по початок, зміну ступеня та закінчення гальмування приймає оператор сортувальної гірки чи алгоритм управління уповільнювачем. Рішення про укладання додаткового гальмового башмака приймає регулювальник швидкості. Тому процес гальмування є керуємим. При цьому в реальних системах реалізація рішення щодо зміни режиму гальмування відчепів відбувається з деякою похибкою. Узагальнення результатів спостережень та експериментів з гальмовими уповільнювачами на діючих станціях наведені в роботі Мухи та ін. [24].

Одним із методів врахування випадкового питомого опору та похибок реалізації заданого режиму гальмування є встановлення швидкості виходу відчепів із гальмової позиції що відрізняється від заданої на випадкову величину Δv . Величина Δv , як правило, моделюється за нормальним законом розподілу. Такий підхід реалізовано зокрема в роботах [25, 26]. Перевагою вказаного методу є його простота, Недоліки пов'язані з тим, що оптимальні швидкості скочування відчепів, як правило, відповідають областям мінімальних та максимальних режимів гальмування відчепів, в яких швидкість виходу має відмінний від нормального закон розподілу. Також в моделях не враховується залежність між швидкістю руху відчепів та величиною похибки її реалізації, хоча на низьких швидкостях руху час взаємодії вагонів та уповільнювачів є більшим, що дозволяє більш точно реалізувати задану швидкість виходу. Моделі гальмових уповільнювачів, в залежності від їх конструкції (натискні, вагові, з плоско-паралельною схемою) представлені в монографії Бобровського та ін. [27]. Моделі пасивних точкових уповільнювачів представлені в роботі Назарова [28]. Принципи роботи систем управління уповільнювачами, як правило, являють собою комерційну таємницю і принципи їх дії опубліковані лише в роботах окремих авторів. Зокрема, результати детальних теоретичних досліджень побудови систем управління балковими уповільнювачами наведені в монографії Жуковицького [29].

Точність вирішення задач управління розформуванням составів вимагає удосконалення поділу маршруту скочування відчепів на ділянки, в межах яких діють ті чи інші сили. В цих умовах моделі скочування, в яких відчепа розглядаються як матеріальні точки, стають не адекватними або громіздкими. Методи моделювання руху багатовагонних відчепів розроблено в роботах Мухи [30] та Шафіта [31]. Найбільш точно оцінювати сили, що діють на відчеп під час його скочування дозволяє осьова модель відчепа запропонована Мухой та Бобровським у [32]. В цій моделі відчеп розглядається як нерозтяжний гнучкий стержень, що представляє собою систему шарнірно з'єднаних матеріальних точок, які відповідають окремим колісним парам вагонів. Експерименти із більш складними моделями в яких розглядаються процеси переміщення окремих вагонів у відчепі, а також вантажів у вагонах [33] показали, що ці процеси несуттєво впливають на швидкість та час руху. Через громіздкість використання таких моделей в задачах управління розпуском составів є недоцільним. Областю використання цих моделей є дослідження випадків порушення безпеки руху [34].

Джерелом похибок при визначенні швидкості та часу скочування відчепів є метод представлення поздовжнього профілю гірки. Поздовжній профіль реальних сортувальних гірок складається з прямолінійних ділянок та вертикальних кругових кривих. В перших моделях [5, 6] скочування відчепів поздовжній профіль колії задавався прямолінійними відрізками між вершинами кутів повороту вертикальних кривих. При виконанні моделювання скочування відчепів через спотворення профілю розрахунки швидкості та часу скочування в окремих точках маршруту здійснюються з похибкою. Одним із методів подолати цієї проблеми є кусочно лінійна апроксимація поздовжнього профілю, або його задання у вигляді відрізків та дуг. Подібна методика представлена у роботі Огаря та ін. [35]. Такий підхід дозволяє використовувати при моделюванні опис поздовжнього профілю, що відповідає реальному. В той же час функція, що описує поздовжній профіль, має розриви першої і другої, або другої похідної, що не дозволяє використовувати аналітичні методи рішення диференціального рівняння руху. Для подолання цієї проблеми Шафітом у [36] було запропоновано використовувати для апроксимації поздовжнього профілю неперервні криві, зокрема поліномами четвертого ступеня. Подібний підхід використано також в роботах [37, 38]. Дослідження,

виконані в [36], показали, що похибка при розрахунку швидкості та часу скочування відчепа є такою ж як і при кусочно-лінійній апроксимації. Загальним недоліком апроксимації поздовжнього профілю гірки неперервними кривими (парабола, експонента, циклоїда) є те, що отримані профілі відрізняються від реальних профілів гірок, що як наслідок приводить до похибок. Проблема представлення профілю сортувальної гірки для використання аналітичних методів рішення рівняння руху відчепа була вирішена Бобровським в [39]. В цій роботі викладено метод представлення поздовжнього профілю за допомогою модифікованого кубічного сплайну, що з однієї сторони дозволяє забезпечити неперервність першої та другої похідних, а з іншої – відповідність функції реальному профілю гірки.

Виконання багаторазових моделювань скочувань відчепів потребує удосконалення методу вирішення рівняння руху. Починаючи з перших моделей для встановлення параметрів руху залізничного рухомого складу для його вирішення застосовувались два підходи, коли змінною є відстань, чи час. Зокрема, рівняння руху в якому змінною є шлях представляється виразом:

$$ds = \frac{1000dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_r(s, r))}, \quad (1)$$

в якому змінною є час, представлений виразом:

$$dt = \frac{1000dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_r(s, r))} \quad (2)$$

В перших моделях рівняння руху відчепа вирішувалось вручну чисельними або аналітичними методами [6]. Точність цих методів суттєво залежить від кількості ділянок, на яку розбивається маршрут скочування. Тому підвищення точності рішення напряму залежить від витрат часу на розрахунки. Враховуючи, що задача моделювання скочування відчепів вирішувалась під час проектування, то для спрощення її розв'язання було розроблено різноманітні графічні та графоаналітичні методи, наприклад представлений в роботі Ющенко [40]. Поява в середині 20-го сторіччя електронних обчислювальних машин дозволила зняти проблему виконання рутинних розрахунків у різноманітних галузях, зокрема і в галузі моделювання скочування відчепів з сортувальних гірок. Однак швидкодія існуючих на той час комп'ютерів дозволяла автоматизувати лише окремі задачі проектування поздовжнього профілю гірки [41]. При виконанні масових розрахунків під час техніко-економічної оцінки варіантів конструкції

гірки, а особливо в задачах реального часу управління скочування відчепів тривалість розрахунків була неприпустимою. Тому розробка аналітичних методів вирішення рівняння руху відчепів була продовжена, наприклад у роботах [42-44]. Найбільш точне рішення рівняння руху наведено в роботі Жуковицького [45]. Так як залежність сил опору руху від відстані скочування являє собою кусочно задану функцію, то аналітичні рішення передбачають спрощення, які знижують точність отриманих рішень. Через це в сучасних умовах аналітичні методи рішення рівняння руху відчепів застосовуються лише при виконанні теоретичних досліджень. Комбінований метод рішення рівняння руху відчепів запропоновано Бобровським у [46]. Так же як і чисельні методи в [46] пропонується розбивати маршрут скочування на ділянки де характер дії на відчеп зовнішніх сил залишається постійним. В межах кожної з ділянок рішення рівняння руху відчепів отримують аналітичним методом Рунге-Кутта II-го чи IV порядку. Такий підхід з одного боку забезпечує точність, необхідну для практичних розрахунків, а з другого, через відносно велику протяжність ділянок, і необхідну для практичних розрахунків швидкість отримання рішення.

Під час руху відчепів сортувальними коліями відбувається його складна взаємодія з вагонами, що на ній знаходяться. Моделювання таких процесів описано в роботі [47].

Сортувальна гірка є керованою системою. Тому швидкість та час скочування відчепів суттєво залежать від обраних режимів гальмування. До впровадження цифрових електронних обчислювальних машин здійснювалися спроби вирішення задачі автоматизації управління швидкістю скочування відчепів шляхом встановлення швидкості виходу відчепів з гальмових позицій на підставі їх вагової категорії [48], або вирівнювання швидкості їх руху [49]. Однак для сортувальних гірок традиційної конструкції вказані підходи не дозволили вирішити проблему.

В загальному випадку проблема управління швидкістю скочування відчепів передбачає вирішення задач прицільного та інтервального регулювання. Одним із підходів, який застосовується при виборі режимів гальмування є використання алгоритмів управління реальних автоматизованих систем. Такий підхід реалізовано, зокрема в [50, 51]. Однак на сьогодні в світі переважна частина гірок залишаються неавтоматизованими, а алгоритми функціонування автоматизованих систем переважно є комерційною таємницею. Тому актуальною є задача розробки

загальних методів вибору режимів гальмування. Методика оптимізації режимів гальмування була запропонована Мухом у [52]. В цій роботі була сформульована задача пошуку таких режимів гальмування, при яких виконуються умови розділення відчепів по маршрутам скочування, а загальний час розпуску був би мінімальним. В результаті формалізації була отримана оптимізаційна задача з лінійною цільовою функцією та нелінійними обмеженнями. Значний обсяг досліджень по формалізації та розробці алгоритмів пошуку оптимальних режимів гальмування виконано Бобровським. В ході досліджень встановлено існування областей допустимих режимів гальмування відчепів. В роботі [53] доведено, що при відомих параметрах відчепів та умовах їх скочування оптимальні режими гальмування завжди досягаються на межі області допустимих режимів гальмування, що дозволяє представляти режим гальмування відчепів одним числом. В якості ефективного методу пошуку оптимальних режимів гальмування в роботах [55, 56] запропоновано ітераційний метод. Цей метод являє собою метод прямого пошуку заснований на ідеї виділення розрахункових сполучень відчепів та вирівнювання інтервалів між ними. Недоліком такого підходу є те, що він реалізує вирішення задачі в детермінованій постановці.

Методи вирішення задачі вибору режимів гальмування відчепів в стохастичній постановці наведено в роботах [54, 57]. Необхідно відмітити, що на відміну від [53] де область допустимих режимів гальмування відчепів з відомими характеристиками побудована на підставі теоретичних досліджень, в [54] область допустимих режимів гальмування відчепів з випадковими характеристиками отримана лише на підставі узагальнення даних експерименту. Тому проблема побудови областей допустимих режимів гальмування вимагає додаткових досліджень.

Характерною рисою сучасних умов експлуатації сортувальних гірок України є значне зменшення обсягів роботи у порівнянні з тими, для яких вони були запроектовані. В той же час їх технічні засоби є суттєво зношеними [58]. Тому вирішення задачі управління розпуском составів в стохастичних умовах необхідне в першу чергу не для побудови автоматизованих систем управління гірок, а для організації безпечної роботи існуючих сортувальних гірок з механізованими та не механізованими гальмовими позиціями.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній на підставі історичного аналізу розвитку методів моделювання скочування відцепів із сортувальних гірок встановлені зв'язки між умовами роботи залізничного транспорту та методами моделювання гіркових процесів.

Практична значимість результатів полягає в тому, що вони вказують на необхідність розвитку методів моделювання скочування відцепів із сортувальних гірок за неточної інформації про їх ходові характеристики та умови скочування. Це дозволить підвищити ефективність роботи сортувальних гірок без значних капітальних вкладень у системи управління розпуском.

Висновки

1. Методи моделювання скочування відцепів із сортувальних гірок з'явилися на початку ХХ-го сторіччя як спеціальні методи тягових розрахунків теорії тяги поїздів. Виділення їх із методів тягових розрахунків у окрему групу методів виконано академіком Образцовим. Початковий етап формування методів моделювання скочування відцепів із сортувальних гірок пов'язаний із вирішенням задач проектування. Його характерними рисами були використання спрощених моделей та ручних розрахунків.

2. Впровадження механізованих засобів регулювання швидкості скочування вагонів з однієї сторони та поява електронно-обчислювальних машин з іншої створили в середині ХХ-го сторіччя умови для автоматизації управління розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках. Необхідність вирішення задач управління швидкістю відцепів в реальному часі призвело до суттєвого ускладнення математичних моделей скочування відцепів за рахунок уточнення сил, що діють на відчепа та більш досконалих методів вирішення рівняння руху відцепів.

3. Характерною рисою сучасних умов експлуатації сортувальних гірок України є значне зменшення обсягів їх роботи у порівнянні з тими, для яких вони були запроєктовані. Тому основний напрямок наукових досліджень удосконалення моделей скочування відцепів повинен бути пов'язаний не з проблемою збільшенням переробної спроможності гірок, а проблемами підвищення безпеки та зниження собівартості сортувального процесу. В цих умовах актуальною задачею є удосконалення методів

функціонального моделювання гірки як стохастичної системи в цілому і удосконалення моделей скочування відцепів в умовах відсутності точної інформації про їх ходові характеристики та умови скочування зокрема.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Droege, J. A., Freight terminals and trains. New York [etc.]: McGraw-Hill Book Company, 1912, 465 p. <https://archive.org/details/freightterminal04droeogoog/page/64/mode/2up>
2. Берндт Т., Власенко С. В. Сортировочные горки на железных дорогах мира. *Автоматика, связь, информатика*. 2007. № 6. С. 45-48.
3. Петров Н., Сопротивление поезда на железной дороге. Санкт-Петербург: Типография В. Демакова, 1889. - 394 с.
4. Фролов А. Н., Сборник статей, касающихся станций и маневров. Саратов. 1906. 143 с.
5. Дубелир Г.Д., О проектировании горок для сортировочных станций. Санкт-Петербург: 1910. 9 с.
6. Образцов В.Н., К вопросу о тяговых расчетах сортировочных горок. *Труды МИИТа*. 1928. Вып.9. С. 129 - 152.
7. Карейша С. Д., Железнодорожные станции: Посobie для учебных заведений транспорта. Москва: Транспечать НКПС, 1930. 305 с.,
8. Образцов В. Н., Станции и узлы. Ч.2. Москва: Трансжелдориздат. 1938. 492 с.
9. American railway signaling principles and practices. Chapter XXI, Hump Yard Systems. Signal Section. New York: AAR. 1935, 89 p. <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015026081862&view=1up&seq%0B=845&seq=893>
10. Builds second large retarder yard to improve operations. *Railway age*. 1948. October 30. P. 88-91. https://archive.org/details/sim_railway-age_1948-10-30_125_18/page/794/mode/2up
11. Автоматическое управление роспуском вагонов с сортировочной горки. *Железнодорожный транспорт*. 1955. №11. С. 88-90.
12. Ющенко Н.Р., Шафит Е.М., Третьяк Б.А., Иванков Н.М., Сопротивление движению восьмиосных вагонов при скатывании с сортировочной горки. *Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок*. Москва: Транспорт. 1966. С. 18-27.
13. Красовский Г.А., Автоматизация процесса определения ходовых свойств отцепов в системе горочной автоматизации. Диссертация к.т.н. Москва: ЦНИИ МПС. 1958. 223 с.
14. Ваванов Ю.В., Фонарев Н.М., Методы измерения ускорений отцепов и анализ их погрешностей. *Вестник ВНИИЖТа*. 1967. №8. С. 22-25.
15. Рудановский В.М., Об определении удельных сопротивлений движению вагонов на путях с переменным уклоном. *Вестник ВНИИЖТа*, 1969. №1. С. 46-50.

16. Страковский И.И., Тишков Л.Б., Об измерительном участке для определения ходовых свойств вагонов на сортировочных горках. *Вестник ВНИИЖТа*. 1975. №5. с.54-59.
17. Муха Ю. А., Павловский А. И., Динамика скатывания отцепов с горки и проблема оценки их ходовых свойств. *Труды ДИИТа*. 1981. Вып. 216/14. С. 37-47.
18. Павловский А.И., О погрешностях оценки ходовых свойств отцепов на измерительном участке. *Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Сб. научн. тр. ДИИТа*. 1981. Вып. 216/14. с.61-68.
19. Жуковицкий И.В., Устенко А.Б., Использование метода статистических решений для повышения точности идентификации ходового сопротивления отцепов. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2020. Вип. 19. С.55-59. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2020/208696>
20. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок. *Труды ВНИИЖТа*. Москва: Транспорт. 1975. 151 с.
21. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 – 89. Москва: Транспорт. 1992. 104 с.
22. Wong P.J., Stock W.A., Hackworth M. A. et al., Railroad classification yard technology manual – Volume III: Freight Car Rollability. Springfield: National Technical Information Service. 1981. 160 p. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/32570>
23. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування. ГБН В.2.3-37472062-_:201_ [Текст]: Схвалено: рішенням Мінрегіонбуду України 11.09.2012 р. № 140. – Київ, 2012.
24. Муха Ю.А., Харланович И.В., Шейкин В.П. и др., Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях. Москва: Транспорт. 1985. 248 с.
25. Козаченко Д. М., Березовий М. І., Таранець О. І., Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відцепів та характеристик навколишнього середовища. *Вісник ДНУЗТ*. 2007. Вип. 16. С. 73-76.
26. Кудряшов А. В., Дослідження впливу різних факторів на величину інтервалів на розділових стрічках. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПИ"*. 2015. № 11 (1120). С. 57-62.
27. В.И. Бобровский, Д.И. Козаченко, И.И. Божко и др., Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках: Монография. Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2010. 260 с.
28. Назаров О. А. Підвищення ефективності сортувального процесу на гірках шляхом впровадження систем розподіленого регулювання швидкості відцепів: автореф. Дисертація к. т. н. Дніпропетровськ: ДНУЗТ. 2012. 157 с.
29. Жуковицкий И. В., Цифровые системы управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках : монография. Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2012. – 203 с.
30. Муха Ю. А., Построение кривых скорости скатывания длинных отцепов с сортировочной горки и сравнение этих кривых с опытными. *Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТа*. 1962. Вып. 41. С. 85-110.
31. Шафит Е.М. Дифференциальные уравнения скатывания отцепов с сортировочной горки при различных способах аппроксимации продольного профиля. *Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТа*. 1965. Вып. 52. С. 55 - 72.
32. Муха Ю.А., Бобровский В.И., Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири - К» сортировочного процесса на горках. *Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа*. 1977. Вып. 194/11. С. 53 - 102.
33. Козаченко, Д. М. Моделювання скочування відчепа як динамічної системи взаємопов'язаних вагонів. *Зб. наук. пр. Донец. ін-ту залізн. т-ту*. 2009. № 20. С. 5–15.
34. Козаченко, Д. Н. Устойчивость вагонов при торможении замедлителями / Д. Н. Козаченко, С. А. Пожидаев, К. И. Железнов // *Транспортні системи та технології перевезень*. 2015. Вип. 10. С. 57–63. – DOI: 10.15802/tstt2015/57068.
35. Огар, О. М., Бантюков, С.Є., & Антуф'єва, М. В., Математичний опис плану і позовжнього профілю елементів сортувального комплексу в імітаційних моделях гіркових технологічних процесів. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2010. Том 2/3(44). С. 53–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2010.2640>
36. Шафит Е. М., Аппроксимация продольного профиля сортировочных горок *Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТа*. 1965. Вып. 52. С. 35 - 54.
37. Ахвердиев К.С., Алибеков Б.И., Жуков В.П., Оптимальный горочный профиль и динамика скатывания отцепа по нему. *Транспорт: наука, техника, управление*. 1991. №8. С. 13 - 18.
38. Смирнов В.И. Динамика скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки. *Транспорт: наука, техника, управление*. 1994. - №1. - с. 17 - 23.
39. Бобровский В.И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов. *Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте*. 1996. №1, 2. С. 19 - 25.
40. Ющенко Н. Р. Графический метод построения кривых скорости и времени скатывания отцепов с горки. *Труды ДИИТа*. 1951. Вып. 21. С. 271 - 287.
41. Никитин В. Д., Мацкель С.С., Проектирование продольного профиля парков сортировочной станции с помощью математического моделирования маневровых процессов на ЭЦВМ. *Вопросы расчета и проектирования железнодорожных станций и узлов: Труды МИИТа*. 1969. Вып. 304. С. 4 - 41.
42. Шафит Е.М. Машинное решение дифференциальных уравнений скатывания отцепов с

сортировочной горки. *Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТа*. 1965. Вып. 52. С. 73 - 95.

43. Буянова В.К. Моделирование на ЭЦВМ процесса роспуска вагонов с сортировочной горки. *Вестник ВНИИЖТа*. 1965. №6. С. 60 - 64.

44. Павлов В.Е. Об алгоритме расчета скорости вагона на горке в зависимости от расстояния. 1967. *Труды ЛИИЖТа*. Вып. 259. С. 95 - 100.

45. Жуковицкий И.В. Решение дифференциального уравнения свободного скатывания отцепа с горки // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - №4. - с. 14 - 17

46. Бобровский В.И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения. *Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте*. 1996. №6. С. 34 - 39.

47. Kornienko K., Olgeizer I., Mayer O., Tanaino I., Simulation Modelling of Car Movement on Sorting Tracks. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. vol 509. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_42

48. Car weighing device. *Railway Age*. 1955. Vol 139. Iss 2. P. 27. https://archive.org/details/sim_railway-age_1955-07-11_139_2/page/28/mode/2up

49. Бунин, Д. А., Автоматизация целевого торможения. *Железнодорожный транспорт*. 1958, № 7. С. 87-89.

50. Тененбаум Э. М., Москвичева Т. Е. Организация имитационной модели управляемого роспуска составов. *Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. научн. тр.* 1982. Вып. 224/11. С. 61 - 69.

51. Moczarski J., Modeling and Simulation in the Research of Automatic Wagon Shunting Control Systems. *Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means 2020*. 2020. Part 1. P. 81-84. Available from: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-A4-I-dalis.pdf>

52. Муха Ю.А. Оптимизация режимов торможения скатывающихся отцепов при расформировании составов на сортировочной горке. *Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа*. 1976. Вып. 181/10. С. 17 - 23.

53. Kozachenko, D., Bobrovskiy, V., Demchenko, Y., A method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps. *Journal of Modern Transportation*. 2018. 26. P. 189–199. <https://doi.org/10.1007/s40534-018-0161-2>

54. Bobrovskiy V, Kozachenko D, Dorosh A et al. Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the sorting humps. *Transport Problems*. 2016. 11(1), 147–155. Available from: <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14>

55. Бобровский В. И., Рогов Н. В., Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках. *Вісник ДНУЗТ*. 2004. Вип. 4. С. 174-182. <https://crust.ust.edu.ua/items/29e9a56b-37c7-436a-8a10-8d2e3db4c9fa>

56. Бобровский В. И., Кудряшов А. В., Оптимизация режимов расформирования составов на сортировочных горках. *Вісник ДНУЗТ*. 2010. Вип. 32. С. 224–229. <https://crust.ust.edu.ua/bitstreams/99ff9496-26a6-426e-9407-dc0f558b0b8b/download>

57. Kozachenko D., Grevtsov S., Titova A., Determination of the optimal cars exit speeds from the retarders on sorting humps. *Proceedings of 27th International Scientific Conference Transport Means 2023. Part II*. 2023. P. 966-971.

58. Kozachenko, D. M., Bobrovskiy, V. I., Grevtsov, C. V., & Berezoviy, M. I. Controlling the speed of rolling cuts in conditions of reduction of brake power of car retarders. *Science and Transport Progress*. 2021. 3(63). P. 28–40. <https://doi.org/10.15802/stp2016/74710>

Надійшла до редколегії 08.10.2023.

Прийнята до друку 22.10.2023.

D. KOZACHENKO, S. GREVTSOV, O. KLYGA

DEVELOPMENT OF METHODS FOR SIMULATION OF RAILCARS ROLLING FROM SORTING HUMPS

Purpose. The purpose of this article is to carry out a historical analysis of the development of methods for simulation of railcars rolling from sorting humps and to determine directions for their improvement in order to solve the problems facing the railway transport of Ukraine today. **Methodology.** The research was carried out on the basis of the processing of literary sources of the library of the Ukrainian State University of Science and Technology, as well as scientometric databases Scopus and Google Scholar. **Findings.** The origin of the methods for simulation of railcars rolling from sorting humps took place at the beginning of the 20th century, when they were separated from the methods of traction calculations. Until the middle of the 20th century, the simulation of the railcars rolling was carried out in order to solve the problems of designing sorting humps. This period is characterized by the simulation of the rolling of individual cars under known conditions. The complication of the simulation methods of the sorting humps operation

is connected with the tasks of automating the control of the trains breaking-up. For this purpose, the tasks of establishing the laws and parameters of the distribution of random resistance values acting on the cuts, taking into account changes in the longitudinal profile of the track under the cuts, modeling the operation of brake retarders and their control systems, etc., were solved. **Originality.** The scientific novelty of the work lies in the fact that, on the basis of a historical analysis of the development of methods for simulation of railcars rolling from sorting humps, the connections between the working conditions of railway transport and the methods of modeling rolling processes are established. **Practical value.** The practical value of the results lies in the fact that they indicate the need to develop methods development of methods for simulation of railcars rolling from sorting humps in conditions of inaccurate information about their running characteristics and rolling conditions. This will make it possible to increase the efficiency of the sorting humps operation without significant capital investments in their control systems.

Keywords: railways, sorting humps, breaking-up of trains, rolling of railcars, simulation

УДК 656.2

О. М. БАЛЬ^{1*}, Я. В. БОЛЖЕЛАРСЬКИЙ^{2*}, М. О. БАБ'ЯК^{3*}, Ю. В. ТЕРЕЩАК^{4*},
Л. Й. СОЛОДЯК^{5*}

^{1*} Кафедра залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, ел. пошта olena.m.bal@lpnu.ua, ORCID 0000-0003-2188-4098

^{2*} Кафедра залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, ел. Пошта Yaroslav.V.Bolzhelarskyi@lpnu.ua, ORCID 0000-0002-4787-1781

^{3*} Кафедра залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, тел.: +380979075072, ел. пошта babjak_tt@ukr.net, ORCID 0000-0001-5125-9133

^{4*} Кафедра залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, ел. пошта tereshchak@gmail.com, ORCID 0000-0002-2603-3535

^{5*} Кафедра залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, ел. пошта lilja-s@ukr.net, ORCID 0000-0001-9492-6549

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ В НАПРЯМКУ РУМУНІЇ, МОЛДОВИ І ПОЛЬЩІ

Мета. Визначення перспектив розбудови залізничної транспортної інфраструктури України в напрямку Румунії, Молдови та Польщі, з акцентом на покращення показників експорту, транзитних з'єднань та сприяння економічному зростанню регіонів. Проблема стає особливо актуальною в контексті сучасних викликів глобальної торгівлі для ефективного регіонального розвитку. **Методика.** Під час виконання дослідження використані методи: SWOT-аналізу, аналізу вартості-користі, ризик-аналізу, аналіз конкурентоспроможності та оцінки впливу на навколишнє середовище, що дозволило оцінити ключові аспекти стратегічного планування для успішної інтеграції нової залізничної мережі 1435 мм в Україну, взаємодії її з існуючою 1520 мм та формування інтегрованої залізничної системи TEN-T в Україні. Зокрема в дослідженні використовуються ці методи аналізу та планування для детального вивчення можливостей залізничного сполучення та інших транспортних мереж у напрямку Румунії, Молдови та Польщі та формування пропозицій щодо покращення транзитних з'єднань залізничних мереж в регіонах. **Результати.** Представлено та обґрунтовано конкретні ініціативи та проекти з розбудови та модернізації інфраструктури визначених регіонів та зроблено оцінку цих заходів. Висвітлено важливість технічної сумісності з європейськими стандартами та перехід на європейські підходи в питаннях безпеки з метою покращення конкурентоспроможності та ефективності залізничного транспорту. Стаття рекомендує модернізацію інфраструктури, стандартизацію рухомого складу, розвиток терміналів для підвищення конкурентоспроможності українських залізничних маршрутів для експорту вантажів. **Наукова новизна.** Застосування міжнародної методології та передового досвіду для розв'язання проблем інфраструктурного розвитку в міжнародному контексті. Розгляд аспектів трансграничної співпраці між країнами для досягнення синергії та взаємної вигоди. **Практична значимість.** Надання рекомендацій для урядових структур та міжнародних організацій для прийняття обґрунтованих рішень щодо інвестицій у транспортну інфраструктуру. Забезпечення стабільних та привабливих умов для бізнесу через поліпшення транзитних шляхів та послуг.

Ця стаття спрямована на вирішення актуальних завдань інфраструктурного розвитку в регіоні та має наукову цінність через використання передових методів та міжнародних стандартів у дослідженні. Водночас, вона надає практичні рекомендації для впровадження конкретних проектів і стратегій для поліпшення транспортної інфраструктури в зазначеному напрямку

Ключові слова: транспортна інфраструктура, транзитні маршрути, співпраця між країнами, європейська сертифікація.

Вступ

Розбудова залізничної інфраструктури в Україні в напрямку Румунії, Молдови та Польщі має велике стратегічне значення для збільшення транзитних перевезень, сприяння економічному розвитку країн та логістичних можливостей, забезпечуючи покращення торгівлі, економічного зростання та залучення нових інвестицій в

регіон.

Можна виділити декілька обґрунтувань актуальності цього процесу:

1. *Розвиток торгівлі та економічне співробітництво.* Розбудова нових залізничних мереж 1435 мм в Україні, розвиток існуючої транспортної інфраструктури сприяє покращенню торгівлі та розвитку економічних зв'язків між країнами. Зручні транспортні коридори позитивно

впливають на обсяги транзитних вантажів та розвивають економічний потенціал регіону.

2. *Посилення транзитного потенціалу.* Розбудова інфраструктури сприяє створенню ефективних транспортних маршрутів, що може збільшити кількість транзитних перевезень через кордон.

3. *Підвищення конкурентоспроможності.* Зручні та ефективні транспортні коридори створюють конкурентні переваги для країн, які межують. Підвищення швидкості та ефективності перевезень збільшує привабливість регіону для логістичних компаній та виробників.

4. *Розвиток інфраструктурно-логістичного бізнесу.* Розбудова транспортної інфраструктури створює нові можливості для розвитку логістичних компаній, транспортних операторів та інших галузей, пов'язаних із транзитом експортом та імпортом. Це сприятиме створенню нових робочих місць та збільшення інвестицій.

5. *Реконструкція та розширення залізничних коридорів.* Проведення реконструкції та розширення існуючих залізничних коридорів в напрямку Румунії, Молдови та Польщі відкриє можливості для збільшення обсягів вантажоперевезень і пасажирських потоків та дозволить зменшити час перетину кордону. Покращення інфраструктури для транзитних поїздів та впровадження високошвидкісного руху сприятимуть зростанню транспортних обсягів, а також збільшенню пасажиропотоків в даних напрямках, що потенційно призведе до покращення та розвитку туристичної галузі в даних регіонах.

6. *Розвиток існуючої мережі інтермодальних терміналів.* В перехідному періоді будуть розвиватись перевантажувальні потужності (інтермодальні та міжгалузеві), що є важливим для забезпечення цього переходу. Розбудова високошвидкісних залізничних ліній шириною 1435 мм сприятиме інтенсивному розвитку вантажних перевезень в контейнерах/платформах, що дозволить розширити існуючу мережу інтермодальних терміналів і сприятиме ефективнішому перевезенню вантажів з різних видів транспорту.

7. *Вдосконалення систем контролю та безпеки.* Впровадження сучасних технологій для контролю та безпеки в залізничній системі України забезпечить високий ступінь захисту вантажів і пасажирів. Зменшить ризики та надасть можливості вчасного виявлення та попередження неправомірних дій при технічному обслуговуванні або ремонті або при здійсненні перевезень.

8. *Міжнародне співробітництво та інтеграція.* Забезпечення взаємодії з іншими країнами,

зокрема з Польщею, Румунією та Молдовою, покращить інтеграцію українських залізниць в ЄС та створить сприятливі умови для більшого об'ємів перевезень вантажів. Встановлення єдиної системи стандартів, спільних тарифів, та об'єднання зусиль для спрощення перетину кордону.

9. *Розвиток логістичних центрів.* Створення логістичних центрів на кордоні забезпечить зручні умови для тимчасового зберігання вантажів та оптимізацію логістичних процесів. Зменшення часу обробки вантажів, забезпечення зручного доступу до різних видів транспорту та створення майданчиків для перевантаження та ін.

Мета дослідження

Мета дослідження – визначення перспектив та напрямів розбудови залізничної транспортної інфраструктури України в напрямку Румунії, Молдови та Польщі, з акцентом на покращення експортних і транзитних з'єднань та сприяння економічному зростанню регіонів.

Предмет дослідження – інтеграція нової залізничної мережі 1435 мм в Україну, її взаємодія з існуючою мережею 1520 мм та формування інтегрованої залізничної системи TEN-T в Україні.

Об'єкт дослідження – залізнична транспортна інфраструктура в напрямках Румунії, Молдови та Польщі, з фокусом на експортні й транзитні з'єднання та регіональний економічний розвиток.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Влітку 2023 року Єврокомісія оприлюднила стратегію інтеграції залізничних систем України та Молдови в ЄС [1]. В даному дослідженні висвітлено реакцію Європейського Союзу на вторгнення Росії в Україну та заходи, що призначені для підтримки України в умовах воєнного конфлікту. Особливий акцент робиться на розгляді можливостей розвитку залізничної інфраструктури в регіоні та її впливу на економіку. Також в документі приведено дії ЄС для підтримки України після війни, а саме розроблено план дій для полегшення сільськогосподарського експорту та торгівлі з ЄС. В стратегії зазначаються коротко-, середньо- та довгострокові заходи для розблокування логістичного потенціалу та підтримки торгівлі.

Важливим моментом у приведеному дослідженні [1] є відзначення ключової ролі залізниці в економічній трансформації країни після

завершення бойових дій та стабілізації ситуації. На основі аналізу зроблено висновки, щодо технічних викликів в розвитку залізниці, які потрібно вирішити. Наприклад, в розбіжності у ширині колії та інші технологічні аспекти, які впливають на транскордонну взаємодію та пропускну спроможність. Зокрема, як зазначається в дослідженні, головною перешкодою були відзначені проблеми, пов'язані з рухомим складом (його конструкцією, габаритними розмірами, гальмівною системою, сертифікацією та інші).

В дослідженні [1] приведено чіткий огляд сучасного стану залізничних колій та відображено стратегію розвитку залізничної інфраструктури як ключового компонента підтримки України під час конфлікту. Для перспективи розвитку та подальшого вдосконалення та змін включено та враховано рекомендації щодо технічних аспектів та міжнародної співпраці. В стратегії

розвитку [1] запропоновано створення в Україні і Молдові нової магістральної мережі стандартної ширини (1435 мм), яка взаємодіє з існуючою мережею ширини 1520 мм, на наступній основі: система колії 1435 мм буде зосереджена на міжнародних пасажирських перевезеннях, міжнародних вантажних перевезеннях в контейнерах/платформах (перевезення зі швидкістю до 200 км/год), а система 1520 мм – на місцевих та регіональних пасажирських перевезеннях та великовагових вантажних (перевезення з вантажною швидкістю). При цьому впровадження магістральної мережі 1435 мм буде поетапно із заходу на схід, а для кожної лінії запропоновано конфігурацію залізничних колій (лише 1435 мм, лише 1520 мм або суміщений рух).

На рис.1 зображено пропозиції ЄС щодо розширення існуючих транспортних залізничних коридорів мережі TEN-T в Україну і Молдову [1].



Рис. 1. Запропоновані залізничні коридори TEN-T в Україні та Молдові [1]

На рис.2 приведено пропозиції ЄС щодо розбудови магістральної залізничної мережі

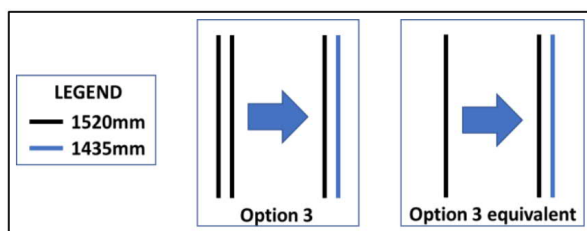
1435 мм в Україні та Молдові [1]. Ці пропозиції показано на рис.2 червоним кольором.



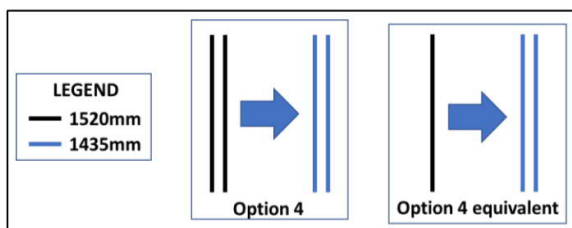
Рис. 2. Пропозиції розбудови залізничної мережі 1435 мм

В результаті проведеного аналізу в дослідженні [1] зроблено висновок, що лише чотири з початкових дев'яти варіантів розвитку мережі 1435 мм можливі або економічно-вигідні:

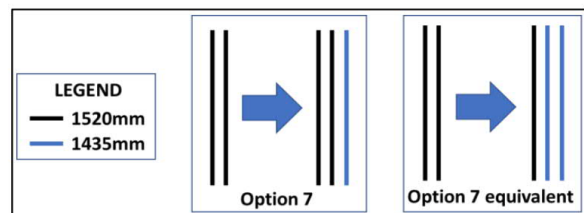
- *варіант 3*: для двоколіїної ділянки колій 1520 мм – повна реконструкція однієї із колій шириною 1520 мм (включаючи вдосконалення системи сигналізації за допомогою коротших сигнальних блоків (1 км замість 2,5 км) та впровадження нових переїздів зі шлагбаумами); при реалізації цього варіанту можна розглянути використання полівалентних шпал для потенційної майбутньої трансформації цієї колії до 1435 мм; повна реконструкція другої колії з 1520 мм на 1435 мм (система сигналізації з рівнем 2 або 3 ECTS) із збереженням існуючої смуги відводу. Для одноколіїної ділянки – будівництво другої колії шириною 1435 мм;



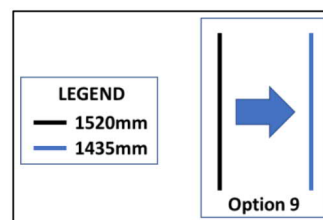
- *варіант 4*: повна трансформація для двоколіїїних та одноколіїїних ділянок з 1520 мм на 1435 мм;



- *варіант 7*: повна реконструкція двоколіїїної ділянки 1520 мм (включаючи вдосконалення системи сигналізації за допомогою коротших сигнальних блоків (1 км замість 2,5 км) та впровадження нових переїздів зі шлагбаумами); при реалізації цього варіанту можна розглянути використання полівалентних шпал для колії 1520 мм з метою потенційної майбутньої трансформації цієї колії до 1435 мм; будівництво нової колії 1435 мм паралельно існуючій (нова конструкція, сучасна система сигналізації з рівнем 2 або 3 ECTS);



- *варіант 9*: повна трансформація існуючої одноколіїїної колії 1520 мм на 1435 мм із системою сигналізації з рівнем 2 або 3 ECTS. Існуюча смуга відводу, земляне полотно та споруди будуть повторно використані для будівництва нової колії.



Також у висновках дослідження [1] висловлюється необхідність подальших стратегічних та фінансових досліджень, а також залучення

зацікавлених сторін для успішної інтеграції нової мережі. Аналізуючи ці висновки, чітко прослідковується меседж щодо продовження багатонаціональної участі у даному дослідженні, забезпечення успішності ініціативи та розбудови стійкої та інтегрованої залізничної системи з високою пропускнуою здатністю.

Потрібно відзначити, що в публікації [2] теж аналізувався звіт [1]. При цьому зазначено, що «впровадження нових 1435-мм коридорів в Україні та Молдові саме по собі не є достатнім для забезпечення інтеграції до залізничних систем ЄС». Для цього необхідно вжити додаткових заходів [2], таких як:

- гармонізація законодавства у сфері залізничного транспорту з правовою базою ЄС;
- впровадження технічних норм для експлуатації мережі 1435 мм а також європейських норм технічної інтероперабельності;
- спрощення прикордонних і митних процедур;
- інфраструктурні заходи, які включають крім розвитку мережі залізниць стандарту 1435 мм, також і модернізацію існуючих колій 1520 мм (включно з відновленням пошкоджених внаслідок війни в Україні), модернізацію існуючих колій 1520 мм у Польщі та Словаччині, модернізацію та розвиток нових депо, станцій і сортувальних станцій (включаючи необхідні перевантажувальні потужності), розвиток внутрішніх інترمодальних терміналів і логістичних центрів.

При аналізі статті [3] потрібно відмітити дослідження стану транспортної інфраструктури в Україні та розгляду важливих аспектів розвитку цієї сфери. Основні аспекти аналізу включали: інвестиційну привабливість, позитивні зміни та виклики у розвитку транспортної інфраструктури в Україні, стратегічні напрями розвитку, співпрацю транспортної інфраструктури з іншими секторами, такими як енергетика та технології, для досягнення максимальних результатів. У дослідженні вказується на наявність різних моделей розвитку транспортної інфраструктури, і для України визначено змішану модель, що передбачає активну участь міжнародних організацій та інвесторів. Авторка визначає основні стратегічні напрями розвитку транспортної інфраструктури під час повоєнного періоду. Загалом, текст вказує на важливість транспортної інфраструктури для інвестицій та розвитку країни, а також визначає конкретні аспекти стратегічного напрямку у цій галузі. В даній статті менш висвітлена тема в контексті залізниці. Стаття [3] фокусується на позитивних змінах в транспортній інфраструктурі загалом, але

важливим є врахування аспектів, які можуть доповнити аналіз та забезпечити більш повний образ стану та перспектив залізничної інфраструктури в Україні. Наприклад, конкретні деталі щодо стану та планів модернізації залізниці, можливі інноваційні технології або стратегії в залізничному транспорті, які можуть підвищити ефективність та конкурентоспроможність системи, великі проекти або ініціативи, які можуть бути важливими для розвитку залізниці в Україні, врахування питань безпеки та відповідності стандартам, особливо у контексті міжнародних норм.

В статті [4] відзначено плани модернізації пунктів пропуску на кордонах з Польщею, Румунією, Угорщиною та Словаччиною з метою збільшення пропускнуої здатності пунктів перетину кордону. Це важливо для розвитку експортної логістики та оптимізації транспортних потоків.

В дослідженні [5] розглядається ефективність мультимодальних перевезень зернових вантажів в Україні та Польщі, зокрема використання контрейлерних технологій. Дослідження використовує аналіз логістичних ризиків, оцінку технологічних аспектів та вибір оптимальної стратегії перевезень. В дослідженні [5] рекомендується використання системи контрейлерних перевезень типу Ro-La на станції Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця» для мультимодальних перевезень. Запропоновано склад контрейлерного поїзда, використання тепловоза ST44 для тяги між станціями та організацію вантажних операцій на кінцевій станції. Визначено оптимальний маршрут через станції Хирів та Перемишль-Баконьчице для забезпечення ефективного транзиту. Висновки дослідження [5] надають практичні рекомендації для підвищення ефективності мультимодальних перевезень зернових вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання розбудови залізничної транспортної інфраструктури в напрямку західних кордонів є актуальним і потребує подальших стратегічних досліджень з метою успішної інтеграції української залізничної системи в ЄС. Дослідження, які приведені в даній статті є продовження актуальних на сьогодні досліджень ЄС, які приведені в статті [1]. В даній статті висвітлено окремі поточні результати досліджень, а в цілому дослідження ще продовжуються.

Основний матеріал дослідження

Аналіз фактичних можливостей експорту вантажів залізничним транспортом через

західні кордони і пропозиції щодо їх збільшення

Розглянемо можливості експорту вантажів залізничним транспортом на прикладі зернових та олійних вантажів, забезпечення перевезень яких є стратегічно важливою потребою для країни. Частина експорту зернових та олійних культур в Україні забезпечується залізничним транспортом. Потреба в експорті цих вантажів в цілому залишається на рівні 48 млн тон [6], що вдвічі перевищує навіть найоптимістичніші оцінки можливостей експорту залізницею [7] та далеко від фактично досягнутих обсягів перевалки зерна [8].

Потрібно звернути увагу, що заявлена АТ «Укрзалізниця» переробна потужність прикордонних станцій та реальні обсяги перевалки зернових продуктів суттєво відрізняються: 780 вагонів на добу, що відповідає 44694 тони на добу або 16,3 млн. тон на рік з можливістю її збільшення до 1747 вагонів на добу, що відповідає 100103 тон на добу або 36,5 млн т на рік при фактичних обсягах перевалки зернових продуктів 1,5 ... 2 тис. т на добу або 0,54 ... 0,73 млн т на рік [6-8]. При цьому завантаження вагона різними видами зернових визначено за даними [9] з врахуванням перерозподілу частки експорту між різними видами зернових [6].

Причиною цього можуть бути технічні та організаційні проблеми, які існують на прикордонних станціях:

- відсутність європейського рухомого складу;
 - відсутність візків колії 1435 мм та (або) необхідних адаптерів для заміни візків;
 - відсутність необхідної кількості працівників на перевантажувальних пунктах;
 - технологічна проблема в підкочуванні та заміні ходових частин вагонів, яка пов'язана з технічними можливостями (доступність кранового господарства, невідповідність тягових лебідок та їх технічний стан, технічна складність постановки ходових частин в зв'язку із значною кількістю ходових частин на пунктах перестановки);
 - несправність або відсутність обладнання.
- У відкритих джерелах [10-13] зазначаються такі вузькі місця в логістиці зернових та олійних культур:
- простій вагонів на кордоні до 60 діб; низька швидкість перевалки зерна (в кращому випадку - 1,5-2 тис. тон на добу).
 - низька пропускна спроможність залізничних станцій на кордоні з країнами Європи; бюрократичні державні перешкоди в європейських

країнах щодо імпорту та сертифікації зерна; обмеження перевезень вантажів наземним транспортом; відсутність достатньої кількості європейських вагонів для перевезення зерна; обмежена потужність європейських логістичних центрів; відсутність водіїв для міжнародних автомобільних перевезень; відсутність візків колії 1435 мм; недостатньо місця для вивантаження зерна;

- біля кордонів на залізницях утворюються величезні черги вагонів через дефіцит рухомого складу, в тому числі бункерів, через неспроможність європейських компаній порушити відповідний порядок. Зерно зазвичай контракують на кілька місяців наперед, а європейські компанії не можуть надати рухомий склад, тому що виконують умови попередніх контрактів. Тому сільгоспвиробники змушені самостійно шукати шляхи та засоби доставки зерна до місця призначення;

- лише три з 12 прикордонних пунктів відкриті для експорту; відсутність необхідної кількості пересадочних пунктів; недостатні потужності для зберігання зерна в країнах ЄС; використання лише двох морських портових терміналів у ЄС та їх недостатня пропускна здатність;

- час очікування товару для огляду на західному кордоні перевищує 2 тижні.

Значним вузьким місцем у транзиті зерна також є обмежені перевантажувальні потужності польських морських портів. На узбережжі Балтійського моря Польща має чотири морські порти, які можуть здійснювати перевізний процес сільськогосподарських вантажів.

Потужності з перевалки продукції агропромислового комплексу з морських портів на експорт у 2021 році [14] приведений в табл.1.

Таблиця 1

Потужності з перевалки агропромислової продукції балтійських портів Польщі

Порт	Потужність перевалки, тис. тонн
Гдиня	2642,2
Гданськ	1619,7
Щецин	765,4
Свіноуйсьце	421,8
Всього	5449,1

Зазначимо, що з середини 2022 року частина порту Гдиня знаходиться на ремонті та реконструкції. У Гданську взагалі немає зернових терміналів, а у Свіноуйсьце та Щецині досить обмежені можливості перевалки. Водночас потужності морських портів Польщі в основному

зарезервовані для операцій з польською сільськогосподарською продукцією.

Вільних потужностей для перевалки українського зерна не так багато, за оцінками операторів польських морських портів, вони коливаються від кількох сотень тисяч до півтора мільйонів тон.

Існуюча річна пропускна спроможність станцій, де можна перевантажувати вагони з колії 1520 на колію 1435 мм у напрямку Польщі, вже перевищує перевантажувальну спроможність польських балтійських портів Гданська, Гдині та Щецина. Також існує суттєва різниця між наявною перевантажувальною спроможністю прикордонних станцій та пропускною спроможністю самих пунктів пропуску, тобто досягнутий рівень експорту є суттєво меншим за перевантажувальну спроможність станцій.

Це означає, що поряд із заходами щодо збільшення пропускної здатності необхідно звернути увагу і на заходи щодо прискорення проходження поїздів. Цього можна досягти шляхом запровадження технічних засобів, які прискорюють процедури митного та прикордонного контролю.

Також актуальним завданням є організація шляхів постачання до балтійських портів Литви, Латвії, Естонії та Німеччини. Найбільш перспективним у цьому напрямку є Клайпедський порт, щодо якого вже заявлено про наміри організувати транспортування зерна з України [15].

Слід також докласти зусиль щодо залучення портів Хорватії (Адріатичне море). Робота в цьому напрямку вже розпочата [16].

Крім того, перспективним є напрямок експорту зерна через територію Румунії до її чорноморських портів, а також до портів Болгарії. Експорт зерна до цих портів можливий через пункти пропуску «Чоп» і «Дякове». Зазначені ПП на території України з'єднані між собою колією 1435 мм, яка з'єднує 9 станцій, що мають необхідну пропускну здатність для перевалки зерна або заміни візків вантажних вагонів. Перспективність розвитку цього напрямку також полягає в тому, що експорт зерна із зазначених станцій можливий до трьох країн ЄС (Румунія, Угорщина, Словаччина) у напрямку як Чорного, так і Адріатичного морів.

Підсумовуючи вище наведене можна зробити такі висновки:

1. Залізничні системи ЄС та України мають перспективу збільшення транзитного потенціалу, в тому числі і зернових вантажів. Це можна забезпечити низкою організаційних і технічних заходів.

2. Морські перевезення є і залишатимуться найвигіднішим способом транспортування зерна. У зв'язку з цим при плануванні інвестицій необхідно враховувати той факт, що після закінчення бойових дій попит на перевезення зерна залізницею зменшиться.

3. У зв'язку з цим серед способів транспортування зерна залізничним транспортом найбільш перспективним є транспортування зерна з використанням гнучких контейнерів середньої вантажопідйомності (FIBC) в універсальних відкритих вагонах. При цьому може здійснюватися перевантаження між вагонами або між вагонами і вантажівками, а також зміна візків вагонів. Певний потенціал має також перевезення зерна в універсальних контейнерах, модернізованих для перевезення зерна.

4. Вузькими місцями експорту зерна залізницею є передусім обмежені переробні потужності доступних європейських морських портів. Якщо блокуванням українських морських портів збережеться, то першочерговим завданням буде пошук нових експортних маршрутів і використання більшої кількості портів.

Аналіз розширення TEN-T мережі залізничного сполучення колії 1435 мм в Україну

SWOT-аналіз можливостей поетапного впровадження залізничних колій 1435 мм в Україні:

Сильні сторони:

1. *Підвищення конкурентоспроможності.* Збільшення можливостей для ефективного вивозу товарів на ринок ЄС та інших країн зі стандартами колій 1435 мм.

2. *Модернізація інфраструктури.* Впровадження нових технологій та стандартів може сприяти модернізації залізничної інфраструктури.

Слабкі сторони:

1. *Великі витрати.* Великі витрати на переобладнання існуючих залізничних колій та станцій і будівництво нових.

2. *Технічні труднощі.* Виникнення труднощів із сумісністю різних типів колій та технічних параметрів.

Можливості:

1. *Розвиток експорту.* Збільшення обсягів експорту за рахунок легшого доступу до європейських ринків.

2. *Залучення інвестицій.* Створення нових проектів може привертати інвестиції в транспортну галузь.

Загрози:

1. *Опозиція галузевих гравців.* Можливі спротив інтересів компаній та галузевих гравців, які вже працюють за стандартами 1520 мм.

2. *Політичні обмеження.* Можливі обмеження або опозиція через політичні обставини в Україні чи інших країнах.

Проаналізуємо розширення TEN-T мережі залізничного сполучення колій 1435 мм через Рава-Руську (кордон з Польщею) до Вадул-Сірет (кордон з Румунією) далі до порту Констанца (Чорне море) або порту Одеса (Чорне море) через Молдавію:

1. *Геополітичне значення.* Розширення TEN-T мережі залізничного сполучення колій 1435 мм через Рава-Руську та Вадул-Сірет до порту Констанца та до порту Одеса (через Молдавію) покращить геополітичне положення регіону. З'єднання з південними частинами Європи через порт Констанца чи порт Одеса забезпечить стратегічний доступ до Чорного та Середземного морів без перевантаження вантажів і доповнить Балто-Чорноморсько-Сгейський коридор, загальний вигляд якого приведено на рис.3.

2. *Транзитні перевезення.* Створення ефективного транспортного коридору поліпшить транзитні перевезення через кордони України та Румунії. Порт Констанца є ключовим вузлом для зручного з'єднання з іншими регіонами Європи.

3. *Економічне зростання регіону.* Розширення TEN-T мережі сприятиме економічному розвитку регіону. Збільшення транзитних потоків та підвищення обсягів торгівлі зроблять цей регіон більш привабливим для інвесторів.

4. *Міжнародна співпраця.* Розширення TEN-T мережі створить нові можливості для міжнародної співпраці між Україною, Румунією та іншими країнами Європи. Спільні ініціативи сприятимуть зменшенню бюрократичних обмежень та сприятимуть розвитку транспортного сполучення.

5. *Екологічні переваги.* Оптимізація транспортних потоків та використання більш ефективних маршрутів сприятимуть зменшенню викидів та покращенню екологічної ситуації в регіоні.

6. *Інтермодальні перевезення.* Розширення TEN-T мережі включає розвиток інтермодальних транспортних терміналів, що полегшить обмін товарами між різними видами транспорту та сприятиме зростанню логістичних послуг.

Тобто, розширення TEN-T мережі через Рава-Руську, Вадул-Сірет до порту Констанца та до порту Одеса є стратегічно важливим кроком для розвитку транспортної інфраструктури, економіки та міжнародного співробітництва в цьому регіоні.

В табл. 2 на основі аналізу пропозицій ЄС [1] приведено зведені результати можливих

варіантів розбудови колій 1435 мм. Потрібно відзначити повноту проведених досліджень [1] і те, що при цьому плануванні збережено основні вантажні потоки залізничних ліній 1520 мм. В цілому, приведені пропозиції щодо впровадження залізних колій 1435 мм не суттєво зменшують потрібну пропускну здатність існуючих напрямків, а в основному доповнюють її. Також в табл. 2 на основі проведених подальших досліджень приведено рекомендації щодо реалізації запропонованих пропозицій.



Рис.3. Балто-Чорноморсько-Сгейський коридор

Аналізуючи, наведені в табл. 2 пропозиції ЄС [1] щодо розбудови колій 1435 мм в Україні, та використовуючи методи SWOT-аналізу, аналізу вартості-користі, ризик-аналізу, аналіз конкурентоспроможності та оцінки впливу на навколишнє середовище можна зробити наступні висновки і надати рекомендації щодо можливості їх реалізації:

1. Пропозиції ЄС щодо розбудови колій 1435 мм в Україні в цілому можливі для реалізації на українських магістралях і можуть взаємодіяти із існуючою системою 1520 мм тривалий перехідний період не знижуючи потрібну пропускну здатність дільниць, а навпаки, для одноколієних ділянок, її підвищуючи. Заміна однієї із колій з 1520 мм та 1435 мм відбувається на ділянках з низькою або середньою вантажнонапруженістю і високою наявною пропускну здатністю (Дорохуськ – Ковель, Київ – Полтава).

**Проекти розвитку залізничної інфраструктури в Україні:
аналіз пропозицій ЄС для розбудови колій 1435 мм та рекомендації щодо їх реалізації**

Європейські рекомендації щодо модернізації залізниць в Україні, зокрема, стосовно впровадження колійної мережі 1435 мм [1]				Рекомендації щодо реалізації пропозицій ЄС для розширення колій 1435 мм		
Код варіанту	Залізничне сполучення	Пріоритет	Варіант можливої трансформації мережі відповідно до [1]*	Актуальність розвитку високошвидкісного руху (більше 200 км/год): Оцінка ЄС / Оцінка авторів статті	Наявність інтермодальних та інших терміналів, які забезпечують логістику контейнерних перевезень	Рекомендації щодо впровадження
A1	Медика/Мостиська (PL/UA) – Львів (без трансформації Львівського вузла)	1	Варіант 7	-/-	+	Варіант 7**
A2	Дорохуськ –Ковель Ковель - Сарни	2	Варіант 3 Варіант 3 (еквівалент)	-/-	+	Варіант 3** Варіант 3** (еквівалент)
A3	Сарни-Коростень	2	Варіант 3 (еквівалент)	-/-	-	Варіант 3** (еквівалент)
A4	Коростень-Київ	2	Варіант 7 (еквівалент)	-/+	+ (Київ)	Варіант 7** (еквівалент)
A5	Львів-Красне	2	Варіант 7	-/+	+ (Львів)	Варіант 7**
A6	Красне-Тернопіль Тернопіль-Шепетівка	2	Варіант 7 Варіант 9	-/+ -/+	+ (Тернопіль)	Варіант 7** Варіант 9 (нова лінія)
A10	Шепетівка-Коростень	2	Варіант 9	-/+	-	Варіант 9 (нова лінія)
B3	Чоп-Ужгород Ужгород-Львів	2	Варіант 3 (еквівалент) Варіант 9	-/-	+	Варіант 3** (еквівалент) Варіант 9
A13	Київ – Полтава	3	Варіант 3	-/+	+(Київ)	Варіант 3**
A15- A16- A17	Полтава-Харків/Дніпро (через Красноград, без трансформації Харківського та Дніпровського вузла)	3	Варіант 9	-/+	+ (Харків, Дніпро)	Варіант 9
A18	Рава-Руська (PL/UA)- Львів	3	Варіант 9	+/+ (взаємодія з високошвидкісним напрямком Варшава-Люблін-Рава Руська)	+ (Львів)	Варіант 9 (нова лінія)
C	Львів-Чернівці Чернівці-Багринівка	3	Варіант 3 (еквівалент) Варіант 9	-/+	+	Варіант 9 (нова лінія) Варіант 9

Примітка * - розшифрування варіантів приведено в розділі «Аналіз останніх досліджень і публікацій» цієї статті; ** - потрібно додаткові дослідження, які враховують поєднання вимог TSI INF для залізничних ліній 1520 мм та 1435 мм на спільному земляному полотні.

2. Пропозиції розбудова колії 1435 мм в Україні в першу чергу зосередженні на збереженні потрібної пропускної здатності існуючої мережі для забезпечення потреб в перевезеннях. В

результаті чого основним варіантом розбудови колій є варіант 3 або 7, який передбачає реконструкцію існуючих ділянок, заміну частини існуючих колій на нові шириною 1435 мм або будівництво нової колії 1435 мм паралельно існуючій. Якщо поєднувати залізничні колії 1520 мм і 1435 мм так як приведено в пропозиціях варіанту 3 чи 7 на існуючих напрямках, то потрібно врахувати, що технічними специфікаціями оперативної сумісності (TSI INF) не передбачено поєднання цих колій на одному земляному полотні, і вимоги сумісності відрізняються для систем 1520 мм і 1435 мм. Особливо це буде мати значення при врахуванні такого показника сумісності як опір колії прикладеним навантаженням та ін. Тобто, про проектуванні реконструкції існуючих ліній з поєднанням їх з мережею 1435 мм потрібно врахувати, що таке поєднання не забезпечить за всіма показниками відповідності вимогам TSI INF.

3. Розроблені пропозиції ЄС для мережі 1435 мм зосереджені на функціональності швидких пасажирських (міжнародні та національні поїзди IC) і швидких вантажних (контейнерні тощо) перевезеннях, які будуть зосереджені в районах з найбільшою кількістю населення та потенціалом для розвитку нових галузей промисловості, які взаємодіють з економікою ЄС. Тоді як існуюча система 1520 мм буде зосереджена на областях, де домінують масові вантажні перевезення. Перспектива реалізації високо-швидкісного руху в пропозиціях ЄС розглядається тільки на ділянці Рава-Руська – Львів. Проте, в національних та закордонних дослідженнях [17,18], і в позиціях української влади спостерігається потреба в реалізації високо-швидкісного залізничного руху на ділянках Варшава-Львів-Київ та Варшава – Львів – Вадул-Сірет – Кишинів – Одеса (Вадул-Сірет – Бухарест – Констанца). А саме, існує угода між польською та українською владою щодо розвитку високошвидкісного сполучення Варшава – Люблін – Львів через Рава-Руську, техніко-економічне обґрунтування якого триває. В пропозиціях ЄС [1] на ділянці від Рава-Руської до Львова розглядається варіант 9 при якому буде укладена тільки колія 1435 мм з частковим оновленням траси. Однак, на наш погляд, це потребує додаткового дослідження з пропозицією проектування варіанту 9 та з повним оновленням траси для високошвидкісного руху.

Під час планування реалізації цього проекту потрібно врахувати можливості розвитку високо-швидкісного руху між такими містами як Харків, Дніпро, Київ, Львів і поєднання цієї

мережі з високошвидкісними магістралями в ЄС [19, 20]. Розвиток високошвидкісної магістралі Варшава – Львів – Кишинів – Одеса (Бухарест-Констанца) може стати доброю альтернативою сучасним коридорам TEN-T, Тому важливо розглянути і цей варіант.

Тому, в подальшому потрібно детально розглянути можливості реалізації на вказаних напрямках високошвидкісного сполучення і поєднанням їх з плани розвитку в ЄС.

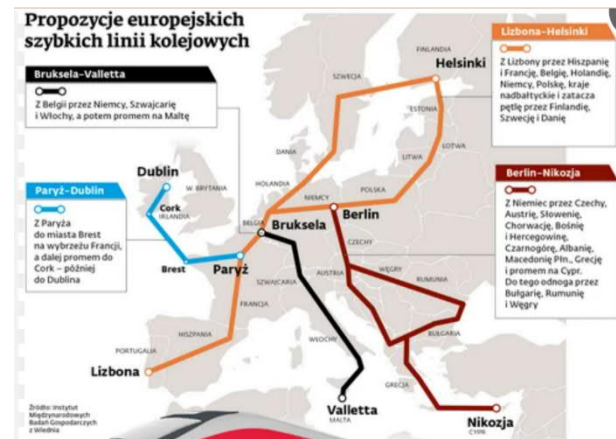


Рис. 4. Схема проекту високо-швидкісних магістралей в ЄС [19].

4. Стосовно системи електрифікації пропозиції ЄС є наступними: рекомендується електрифікувати нову мережу 1435 мм за допомогою системи змінного струму 25 кВ 50 Гц; у довгостроковій перспективі було б бажано уніфікувати систему електрифікації та перевести існуючі коридори з живленням від постійного струму на змінний. Стосовно неелектрифікованих ділянок, кожне техніко-економічне обґрунтування їх модернізації мало б оцінити, чи краще електрифікувати їх за допомогою системи 25 кВ 50 Гц, чи експлуатувати їх рухомим складом, що працює з альтернативними технологіями тяги. Однак, для міжнародного руху потрібно буде вибирати потрібний рухомого складу, оскільки в ЄС по системі електрифікації не має повної сумісності.

Крім цього, необхідно врахувати особливості конструкцій не тільки контактної підвіски, але й пантографів та їхню взаємодію, вплив реальних умов експлуатації рухомого складу на довговічність і працездатність контрольованого об'єкта як інфраструктури, так і рухомого складу. В [21] запропонована методика, що дає не традиційну оцінку надійності загального вузла чи агрегату, а індивідуальний прогноз працездатності та ресурсу всіх елементів конструкції транспортного засобу на основі спостережень за процесом зношування в експлуатації.

5. Одним із пріоритетом є розширення

мережі 1435 мм від Києва до Харкова та Дніпра, двох найбільших міст України, які вважаються дуже важливими для майбутнього потенціалу контейнерних перевезень і мають добре розвинуту мережу контейнерних терміналів.

Контейнерні перевезення через такі прикордонні переходи, як Ягодин – Дорохуськ,

Мостиська – Перемишль з початку війни в 2022 році зросли вдвічі, що підтверджує необхідність розвитку і поєднання цієї інфраструктури.

Потрібно поєднати розбудову мережі 1435 мм з розвитком терміналів. На рис. 5 та рис. 6 приведено розташування існуючих інтермодальних та контейнерних терміналів.



Рис. 5. Розташування інтермодальних терміналів

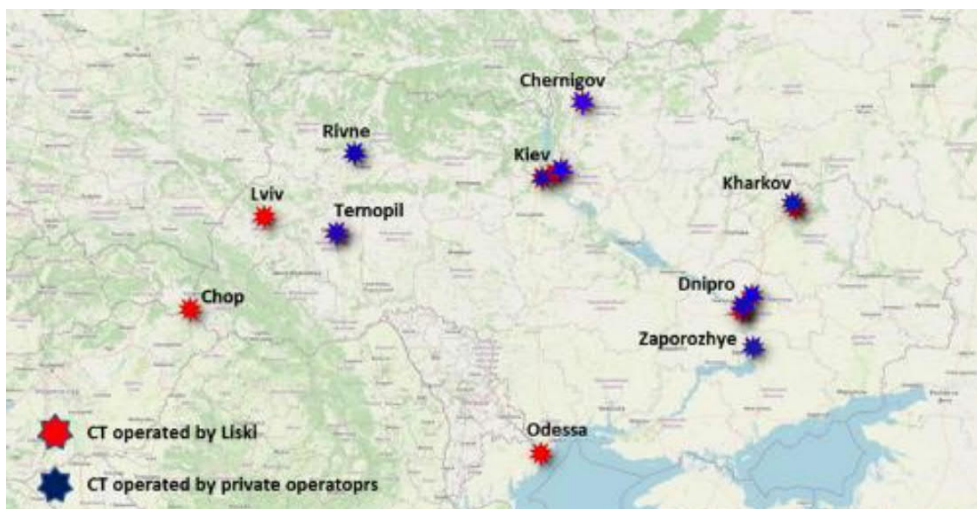


Рис. 6 Розташування контейнерних терміналів

В результаті проведених досліджень потрібно відзначити наступне. Поетапне впровадження колій 1435 мм і взаємодія їх з існуючою системою 1520 мм має свої позитивні і негативні моменти:

- до позитивних можна віднести: зниження втрат при перевантаженні; високий рівень обслуговування для швидкого руху; високий технологічний рівень для системи 1435 мм; підвищення конкурентоспроможності з іншими видами транспорту; високий рівень операційної інтеграції в залізничну систему ЄС; реконструкція

існуючих колій 1520 мм, які будуть працювати паралельно з колією 1435 мм, рухомий склад можна поступово замінювати.

- до негативних: експлуатація двох окремих систем, що передбачає вищі витрати на експлуатацію та обслуговування; проблеми операційного інтерфейсу для спільних ліній/вирівнювання обох систем; взаємодія обох мереж на під'їздах, на станціях і сортувальних станціях, а також на переїздах.

Важливим етапом в напрямку розвитку та розбудови залізничної транспортної

інфраструктури в Україні є вирішення питання технічної сумісності з європейськими стандартами і перехід на європейські підходи в питанні безпеки. До них потрібно віднести:

1. *Гармонізація правил безпеки.* Впровадження та активна гармонізація національних правил безпеки з європейськими стандартами (ERA). Це включає узгодження технічних вимог та процедур забезпечення безпеки на залізницях.

2. *Модернізація інфраструктури.* Запуск обширних програм модернізації залізничної інфраструктури. Це включає реконструкцію та апгрейд станцій, ремонт та розширення колій, а також впровадження сучасних технологій сигналізації та безпеки.

3. *Навчання та співпраця з європейськими партнерами.* Забезпечення навчання персоналу залізниць за європейськими стандартами та підвищення їхньої кваліфікації. Розвиток партнерства з європейськими залізничними компаніями для обміну найкращими практиками та досвідом в питаннях безпеки.

4. *Створення інноваційних лабораторій.* Заснування національних інноваційних лабораторій для дослідження та впровадження новітніх технологій у залізничний транспорт та проведення необхідних випробувань відповідно до вимог ЄС. Модернізація та розвиток лабораторії вказує на серйозний підхід України до підтримки та розвитку залізничного транспорту, та сприятиме залученню інвестицій.

Сертифікація систем зміни візків (сертифікат ЕСМ)

DB Engineering & Consulting в грудні 2022 року оприлюднив техніко-економічне обґрунтування щодо маршрутів зернових перевезень Українською залізницею до країн Західної та Центральної Європи [22]. Дослідження було проведено в контексті поточних викликів, зокрема блокади українських портів та браку вагонів-хоперів для перевезення зернових вантажів по коліях 1435 мм. Одним із логістичних заходів, який розглядався для підтримки наземного експорту зерна, було встановлення європейських візків 1435 мм на українському рухомому складі 1520 мм. Результати цих досліджень показали можливість експорту зерна через 10 маршрутів, охоплюючи порти в Румунії, Польщі та Німеччині. Це дослідження стало кроком у вирішенні проблем логістики та транспортування зернових продуктів, сприяючи розвитку експортного потенціалу України та покращенню логістичних процесів.

При цьому, в цьому дослідженні було

відзначено [22], що наступними дослідженнями мають стати дослідження питань технічної сумісності українських вагонів-хоперів із стандартами Європейського Союзу, за такими параметрами як безпека, шум та сертифікація систем зміни візків (сертифікат ЕСМ).

Враховуючи те, що питання впровадження в експлуатацію в Україні мережі 1435 мм потребує тривалого періоду, а перевезення вантажів на експорт є нагальним питанням для держави сьогодні, то подальші дослідження щодо допуску українського рухомого складу до країн ЄС є актуальною задачею.

Тому, на даний момент, на основі розробленого плану проводяться детальні дослідження українського рухомого складу (існуючого та перспективного), а також існуючих пунктів перестановки вагонів в напрямку Румунії, Молдови і Польщі щодо технічної сумісності із стандартами Європейського Союзу, за такими параметрами як безпека, шум та сертифікація систем зміни візків (сертифікат ЕСМ), що вже дозволило зробити певні висновки.

План досліджень.

Технічна сумісність рухомого складу (існуючого та інноваційного):

- перевірка відповідності стандартам Європейського Союзу та суміжних країн за умови курсування тільки по залізницям визначених країн;

- оцінка безпеки під час перевізного процесу залізницями України та країн ЄС;

- забезпечення та врахування правил щодо сумісності систем гальмування, забезпечення поїздів гальмами та іншими параметрами, які визначають процес забезпечення поїзда гальмами;

- відповідність габаритним розмірам рухомого складу з врахуванням габаритів інфраструктури та колії на якій експлуатується рухомий склад;

- аналіз звукового впливу та визначення відповідності нормам щодо шуму;

- аналіз можливості застосування композиційних матеріалів та визначення відповідності нормам щодо можливості їх застосування;

- оцінка та отримання сертифікатів для систем зміни візків.

Економічна ефективність:

- розрахунок витрат на модифікацію та технічне удосконалення вагонів, які будуть курсувати в ЄС.

- визначення потенційних переваг для українського експорту та логістичних процесів.

Алгоритм отримання сертифіката ЕСМ для

системи зміни візків в українських пунктах перестановки вагонів може бути наступний:

а) перевірка відповідності системи зміни візків стандартам Entity in Charge of Maintenance (ЕСМ):

- оцінка технічних характеристик системи та їх відповідність вимогам безпеки та стандартам ЄС.

- перевірка, як система взаємодіє з існуючим рухомим складом.

б) аналіз впливу на екологію та безпеку руху:

- визначення рівня шуму, що виробляється під час зміни візків та розробка заходів для зниження його рівня.

- оцінка, як система впливає на стабільність руху вагона та безпеку перевезення вантажу.

с) розробка технічної документації та дослідницьких звітів:

- підготовка вичерпного технічного опису системи зміни візків.

- документування результатів всіх випробувань, досліджень та вимірювань.

д) взаємодія з органами з сертифікації та представництвами ЄС:

- організація всіх етапів процесу сертифікації та підготовка необхідних документів.

- взаємодія з офіційними органами та представництвами ЄС для отримання сертифіката.

е) визначення вартості та економічної обґрунтованості:

- розрахунок фінансових витрат на процес сертифікації та отримання необхідних дозволів.

- визначення економічної вигоди від впровадження сертифікованої системи зміни візків.

ф) моніторинг та підтримка після сертифікації:

- спостереження за роботою системи після отримання сертифіката.

- розробка системи технічної підтримки та надання необхідних служб для підтримки роботи системи.

Загальний вигляд пункту перестановки приведено на рис.7.

Також приводимо загальний алгоритм отримання сертифікату ЕСМ (Entity in Charge of Maintenance) для технічного обслуговування рухомого складу в Європейському Союзі:

1. Визначення Компетентного Органу (СА).

Потрібно визначити орган або органи відповідальні за видачу сертифікатів ЕСМ. Зазвичай, це національні або децентралізовані органи. У Польщі цим органом є Urząd Transportu Kolejowego (УТК) – Уряд залізничного транспорту, в Румунії це є National Railway Regulatory

Authority (AFER).



Рис. 7. Приклад пункту перестановки на станції Вадул-Сірет

2. Підготовка документації.

Потрібно зібрати та підготувати необхідні документи, включаючи технічні характеристики рухомого складу, дані про обслуговування та технічні стандарти.

3. Аудит технічних систем та процедур обслуговування.

Потрібно пройти аудит технічних систем та процедур обслуговування, щоб переконатися в їх відповідності встановленим стандартам та вимогам ЄС.

4. Вибір представника ЕСМ.

Потрібно вибрати представника ЕСМ, який буде відповідати за здійснення зв'язку між власником організації відповідального за технічне обслуговування рухомого складу та Компетентним Органом.

5. Подання заявки.

Потрібно подати заявку на отримання сертифікату ЕСМ до відповідного Компетентного Органу, дотримуючись їх вимог та формальностей.

6. Проведення оцінки відповідності.

Компетентний Орган проводить оцінку відповідності представленої документації та технічних систем обслуговування рухомого складу.

7. Видача сертифікату ЕСМ.

У випадку відповідності вимогам,

Компетентний Орган видає сертифікат ЕСМ, який засвідчує компетентність власника рухомого складу у забезпеченні правильного обслуговування та підтримки технічного стану рухомого складу.

8. Підтримка та актуалізація сертифікату.

Потрібно забезпечити регулярну підтримку та вчасну актуалізацію сертифікату ЕСМ у випадку змін у технічних характеристиках чи системах обслуговування.

В подальшому на основі розроблених алгоритмів планується провести наступні дослідження цього питання в напрямку оцінки відповідності технічних характеристик системи зміни візків в існуючих українських пунктах перестановки вагонів відповідно до вимог безпеки та стандартів ЄС.

Тобто, можна відзначити, що сертифікація систем зміни візків (сертифікат ЕСМ) та сертифікація технічного обслуговування рухомого складу є актуальним питанням для подальшого стабільного забезпечення перевезення вантажів на експорт через західні прикордонні пункти пропуску. Також важливим питанням буде створення та впровадження національної системи сертифікації для забезпечення відповідності європейським стандартам з урахуванням сучасних технологій.

Реалізація технічних змін для адаптації вагонів до європейських стандартів є технічно та економічно обґрунтованою. Впровадження стандартів ЄС покращить логістичні процеси та збільшить конкурентоспроможність українських експортерів.

Дослідження екологічних аспектів, які необхідно врахувати при розбудові транс'європейської транспортної мережі в Україні за стандартами ЄС

При розбудові транс'європейської транспортної мережі в Україні за стандартами ЄС, слід враховувати різні екологічні аспекти, оскільки Європейський Союз визначає строгі стандарти та вимоги в галузі екології та сталого розвитку. При розбудові транс'європейської транспортної мережі в Україні за стандартами ЄС, слід враховувати різні екологічні аспекти, оскільки Європейський Союз визначає строгі стандарти та вимоги в галузі екології та сталого розвитку. Ключові екологічні аспекти, які необхідно враховувати, є наступними:

1. Викиди та забруднення атмосферного повітря.

Потрібно мінімізувати викиди від транспортних засобів шляхом впровадження інноваційних технологій, які відповідають нормам ЄС

щодо емісій.

2. Зменшення впливу на біорізноманіття.

Потрібні ефективні заходи для збереження та захисту природних об'єктів, екосистем та важливих природних зон.

3. Енергоефективність.

Важливим є подальше впровадження енергоефективних технологій та практик для зменшення енергоспоживання транспортної інфраструктури.

4. Сприяння використанню відновлювальних джерел енергії.

Важливою є підтримка ініціатив, спрямованих на використання відновлювальних джерел енергії для живлення транспортних систем.

5. Звукове забруднення та шумова екологія.

Потрібно чіткі механізми управління та зменшення шумового навантаження, особливо в місцях, де транспортна інфраструктура проходить близько до населених пунктів.

6. Заходи для зменшення забруднення води.

Важливим є захист водних ресурсів від забруднення, яке може виникнути внаслідок транспортної діяльності відповідних підприємств задіяних в перевізному процесі.

7. Системи управління відходами.

Важливо розвинути систему управління відходами для мінімізації відходів та забезпечення їх ефективної переробки.

8. Екологічні випробування та оцінки.

Проведення екологічних випробувань та оцінок перед будівництвом для визначення можливих впливів і розробки стратегій мінімізації шкоди довкіллю.

Забезпечення відповідності цим екологічним аспектам допоможе покращити природоохоронні характеристики транспортної системи та сприятиме впровадженню в її функціонування високих стандартів сталого розвитку, що визначені ЄС.

Висновки

В даному дослідженні проаналізовано пропозиції ЄС щодо розбудови колій 1435 мм в Україні і надано додаткові рекомендації щодо їх реалізації.

Під час перехідного періоду на колії 1435 мм потрібно зберегти здатність ефективно задовольняти поточний рівень потреб в перевезеннях. Тривалий перехід на колії 1435 мм повинен бути плавним, потрібно забезпечити ефективну взаємодію двох залізничних систем 1520 мм і 1435 мм.

Розвиток транспортної інфраструктури України в напрямку технічної сумісності з

європейськими стандартами вимагає комплексного підходу, активної співпраці з міжнародними партнерами та систематичної модернізації та удосконалення усіх аспектів транспортного сектору.

До заходів, які сприятимуть покращенню ефективності та конкурентоспроможності українських залізничних маршрутів для експорту вантажів (в тому числі зерна) можна віднести: модернізацію інфраструктури, оновлення, стандартизацію і сертифікацію рухомого складу, розвиток інтермодальних та контейнерних терміналів, удосконалення логістичних процесів та зовнішню фінансову підтримку.

В роботі розглянуто важливість вирішення питання технічної сумісності з європейськими стандартами і перехід на європейські підходи в питаннях безпеки.

Створення інноваційних випробувальних лабораторій в Україні є важливим кроком для поліпшення ефективності залізничного транспорту, що сприятиме збільшенню експорту вантажів (в тому числі зерна) та стане важливим привабливим фактором для інвесторів.

Підготовка та впровадження змін для технічної та економічної сумісності українських вагонів, які відповідають Європейським стандартам та вимогам є обґрунтованою стратегією, яка сприятиме розвитку та покращенню логістики вантажних перевезень, підвищивши експортний потенціал України, а також розвиток і суміжних галузей України.

Отримання сертифіката ЕСМ для системи зміни візків в рухомому складі є ключовим етапом для впровадження європейських візків на українському рухомому складі. Це дозволить покращити технічну та екологічну сумісність, що в свою чергу сприятиме розвитку логістичних процесів та підвищить конкурентоспроможність українського залізничного транспорту в Європі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. JASPERS Team. Strategy for the EU integration of the Ukrainian and Moldovan rail systems. European Commission, 11.07.2023. – 159 с.
2. Шляхи солідарності: перший крок до розгортання європейської колії на ключових лініях сполучення ЄС з Україною та Молдовою. Міністерство інфраструктури України, 11.07.2023. URL: <https://mtu.gov.ua/news/34511.html>
3. Пусева, М. (2023). СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ. *Економіка та суспільство*, (49). URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-37>.
4. Мінвідновлення: Україна за сприяння Єврокомісії модернізуватиме пункти пропуску. Міністерство інфраструктури України, 23.06.2023. URL: <https://mtu.gov.ua/news/34435.html>
5. Аналіз логістичних ризиків перевезення вантажів зернової групи в європейські порти з використанням контейнерної технології / М. І. Березовий, Я. В. Болжеларський, С. В. Гревцов, С. В. Боричева. *Транспортні системи і технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2023. No 25. С.60–69. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/284495>
6. УЗА збільшила прогноз врожаю в 2023 році... Джерело УЗА, 03.08.2023 URL: <https://uga.ua/news/uz-a-zbilshila-prognoz-vrozhayu-v-2023-rotsi-majzhe-na-8-mln-t-do-76-8-mln-t-zernovih-ta-olijnih/>
7. Україна може отримати новий врожай на рівні... Джерело Agrotimes, 11.04.22 URL: <https://agrotimes.ua/agromarket/ukrayina-mozhe-otrymaty-noviy-vrozhaj-na-rivni-63-mln-tonn-zernovih-ta-olijnih/>
8. Зерновий коридор: Перші підсумки відновлення... Джерело Укрінформ, 31.08.2022 URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3561950-zernovij-koridor-persi-pidsumki-vidnovlenna-agroeksportu-z-ukraini.html>
9. Україна: Мінімальні норми завантаження вагонів... Джерело АПК Інформ, 12.05.2005 URL: <https://www.apk-inform.com/uk/news/23861>
10. Стежки для зерна: низку проблем перевезень через ЄС вдається вирішити, нові на підході. Джерело: Agravery.com. – 2022. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/stezki-dla-zerna-nizku-problem-perevezen-cerez-es-vdaetsa-virisiti-novina-pidhodi>
11. Суворий експорт 2022: як під час війни продати українське зерно та запобігти продовольчій катастрофі у світі? URL: <https://latifundist.com/spetsproekt/969-suvorij-eksport-2022-yak-pid-chas-vijni-prodati-ukrayinske-zerno-ta-zapobigti-prodovolchij-katastrofi-u-sviti>
12. Експорт зерна з України: чи є альтернатива морським портам? URL: <https://www.dw.com/uk/eksport-zerna-z-ukrainy-chy-ye-alternatyva-zablokovany-morskym-portam/a-61901563>
13. Україна має зосередитися на розбудові інфраструктури для транзиту агропродукції через Румунію та Молдову. Джерело АПК-Інформ, 04.10.2023. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/news/1536920>
14. Шалений експорт. Дорога зерна через Польщу Джерело Latifundist, 13.03.2023 URL: <https://latifundist.com/spetsproekt/1006-shalenij-eksport-doroga-zerna-cherez-polshchu>
15. Литва запропонувала новий варіант для експорту... Джерело УЗА, 14.08.2023 URL: <https://uga.ua/news/litva-zaproponuvala-novij-variant-dlya-eksportu-zerna-z-ukrayini/>
16. Україна попросила ЄС про «зелені коридори»... Джерело Liga.net, 24.07.2023. URL:

<https://biz.liga.net/ua/all/prodovolstvie/novosti/ukraina-poprosila-es-o-zelenyh-koridorah-dlya-eksporta-zerna-cherез-evropeyskie-porty>.

17. Od Bałtyku do Morza Czarnego. Kolej Dużych Prędkości połączy region Trójmorza, 28.06.2023. URL: <https://wgospodarce.pl/informacje/129639-od-baltyku-do-morza-czarnego-kolej-duzych-predkosci-polaczy-region-trojmorza>

18. Kolej Dużych Prędkości ma połączyć Warszawę z Lwowem i Kijowem. Jest porozumienie. URL: <https://www.wnp.pl/logistyka/kolej-duzych-predkosci-ma-polaczyc-warszawe-z-lwowem-i-kijowem-jest-porozumienie,667775.html>

19. Kolej dużych prędkości przez całą Europę. Czy wielka inwestycja wydzwignie kontynent z kryzysu? / Magdalena Cedro, Krzysztof Śmietana. Dziennik Gazeta Prawna, 2020. URL: [Kolej dużych prędkości przez całą Europę. Czy wielka inwestycja wydzwignie kontynent z kryzysu? - Forsal.pl](https://www.dziennikpawna.pl/kolej-duzych-predkosci-przez-cala-europe-czy-wielka-inwestycja-wydzwignie-kontynent-z-kryzysu?).

20. Nie będzie rezygnacji z szybkiej kolei. Ile to

będzie kosztować? / Krzysztof Śmietana. Dziennik Gazeta Prawna, 2023.

URL: [Nie będzie rezygnacji z szybkiej kolei. Ile to będzie kosztować? - Forsal.pl](https://www.forsal.pl/news/129639-nie-będzie-rezygnacji-z-szybkiej-kolei-ile-to-będzie-kosztować?).

21. Babyak, M., Kalivoda, J., & Neduzha, L. (2022). Simulating the Operation of the Pantograph-type Current Collector. In Proceedings of the 26th International Conference Transport Means, Kaunas, Lithuania, 5–7 October 2022; pp. 453–458.

22. European route-mapping for Ukrainian Railways grain transport completed / Sarah Geißler. DB Engineering & Consulting, December, 2022. URL: <https://db-engineering-consulting.com/en/news/ukrainian-grain-european-route-mapping-for-transport-completed>.

Надійшла до редколегії 14.11.2023.

Прийнята до друку 28.11.2023.

O. BAL, Ya. BOLZHELARSKYI, M. BABYAK, Yu. TERESHCHAK, L. SOLODIK

PROSPECTS OF INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT TOWARDS ROMANIA, MOLDOVA AND POLAND

Goal. Determination of prospects for the development of railway transport infrastructure of Ukraine in the direction of Romania, Moldova and Poland, with an emphasis on improving export indicators, transit connections and promoting the economic growth of the regions. The problem becomes especially relevant in the context of modern challenges of global trade for effective regional development. **Method.** During the research, the following methods were used: SWOT analysis, cost-benefit analysis, risk analysis, competitiveness analysis, and environmental impact assessment, which made it possible to evaluate the key aspects of strategic planning for the successful integration of the new 1435 mm railway network in Ukraine, its interaction with the existing 1520 mm and the formation of the TEN-T integrated railway system in Ukraine. In particular, the research uses these methods of analysis and planning for a detailed study of the possibilities of railway connections and other transport networks in the direction of Romania, Moldova and Poland and the formation of proposals for improving transit connections of railway networks in the regions. **The results.** Specific initiatives and projects for the development and modernization of the infrastructure of certain regions were presented and substantiated, and an assessment of these measures was made. The importance of technical compatibility with European standards and the transition to European approaches in matters of safety in order to improve the competitiveness and efficiency of railway transport are highlighted. The article recommends modernization of infrastructure, standardization of rolling stock, development of terminals to increase the competitiveness of Ukrainian railway routes for cargo export. **Scientific novelty.** Application of international methodology and best practices for solving problems of infrastructural development in the international context. Consideration of aspects of cross-border cooperation between countries to achieve synergy and mutual benefits. **Practical significance.** Providing recommendations for government structures and international organizations to make informed decisions about investments in transport infrastructure. Ensuring stable and attractive conditions for business through the improvement of transit routes and services.

This article is aimed at solving the current problems of infrastructural development in the region and has scientific value due to the use of advanced methods and international standards in research. At the same time, it provides practical recommendations for the implementation of specific projects and strategies for improving the transport infrastructure in the specified direction.

Keywords: transport infrastructure, transit routes, cooperation between countries, European certification.

УДК 656.073.7

О. В. ЗАРУБА^{1*}, А. М. ОКороков^{2*}

^{1*} Каф. «Транспортні системи та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373-15-70, ел. пошта zarukr@ukr.net, ORCID 0009-0004-5129-9660

^{2*} Каф. «Транспортні системи та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373-15-70, ел. пошта a.m.okorokov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-3111-5519

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МАРШРУТАМИ

Мета. В умовах повномасштабної війни забезпечення стабільного функціонування національної економіки є однією із стратегічних задач. Функціонування промислового комплексу, наявність робочих місць та сплата податків до державного бюджету є, в тому числі, часткою забезпечення обороноздатності країни. Однією з основних галузей економіки України є металургійна промисловість, отже вона потребує впровадження заходів із забезпечення надійної та стабільної роботи навіть в умовах військової агресії, постійних ризиків нанесення повітряних ударів та пошкодження інфраструктури. Відповідно до цього, метою дослідження є проведення аналізу та визначення структури вантажопотоків технологічних маршрутів транспортного обслуговування металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»). Досліджено динаміку обсягів перевезення залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) за видами транспорту. Досліджено нерівномірність та виконати описову статистику добових обсягів перевезення залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) для металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»). **Методи.** Проведено аналіз нерівномірності добових обсягів надходження вантажів на потреби металургійного підприємства (на прикладі ПАО «Запоріжсталь») технологічними маршрутами залізничного транспорту. Використано методи математичної статистики, теорії імовірності, теорії транспортних процесів та систем. В результаті проведеного аналізу вантажопотоків, що надходять на підприємство встановлено, що розподіл добового обсягу прибуття залізної руди до станції Запоріжжя Лівє підпорядковано симетричним законам розподілу із відносно низькою варіацією 18,4 %. Розподіл випадкової величини добових обсягів надходження коксу також вказує на певну симетричність з достатньо високою імовірністю (59%), і апроксимується нормальним розподілом. **Наукова новизна.** В результаті проведених досліджень було встановлено, що апроксимована щільність розподілу обсягів надходження залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) до металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь» за 2022 рік). **Практична значимість.** Встановлені математичне сподівання та рівень кореляції обсягів надходження залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) до металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь» за 2022 рік). В подальшому одержані результати планується використати в якості вихідних даних до імітаційної моделі функціонування системи транспортного забезпечення промислового підприємства.

Ключові слова: технологічні маршрути, металургійне виробництво, перевезення залізної руди, перевезення вугілля, щільність розподілу імовірності.

Вступ

На сьогодні металургійна промисловість України є однією з економікоутворюючих галузей. Металургія України складає 35,1 % у структурі промислового виробництва України і має безпосередній вплив майже на 34,3 % промисловості світу.

Станом на кінець 2021 року на частку металургійної промисловості в Україні припадало більше 38 % ВВП країни, промислового виробництва металопрокату та виробів з металів – 27,3 %. Частка експорту гірничо-видобувної та переробної промисловості чорних металів становила – 34,2 %.

Україна входить до одинадцяти країн світу, що мають підтверджені запаси більше 3 млрд тонн руди чорних металів. За даними звіту 2020 року Геологічної служби США (USGS) Україна посідає 5-е місце в світі за покладами залізних руд та 7-е місце за обсягами їх видобутку [1].

На сьогодні головними пунктами зародження вантажної маси залізної руди та похідних від цієї корисної копалини є регіон Криворізького та Горішне-Плавнинського залізорудних басейнів. За даними АТ «Укрзалізниця» найбільше відвантаження залізної руди припадає саме на Придніпровську та Південну залізницю, які у більшості й обслуговують зазначений вантажопотік.

Мета дослідження

Метою дослідження є проведення аналізу та визначення структури вантажопотоків технологічних маршрутів транспортного обслуговування металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»). Для досягнення мети необхідно:

1. Дослідити динаміку обсягів перевезення залізної руди (залізородного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) за видами транспорту.
2. Дослідити нерівномірність та виконати описову статистику добових обсягів перевезення залізної руди (залізородного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) для металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання маршрутизації перевезень на залізничному транспорті має глибоку історію, цьому питанню присвячені праці багатьох видатних вчених як в Україні, так і за кордоном [2, 3].

Так М. Копилов, у своїй праці [4], виділив поняття маршрутизації як синонім оптимальності, зазначаючи, що це є найбільш ефективною як з економічної, так і технологічної точки зору технологією організації перевезення вагонопотоків залізничним транспортом.

У дослідженні [5], авторами було визначено, що одним із ефективних напрямків розвитку АТ «Укрзалізниця», що сприяє її інвестиційній привабливості, є маршрутизація перевезень. Відмічено, що маршрутизація широко використовується як у нашій країні, так і за кордоном, та підвищує ефективність роботи залізничного транспорту, зокрема через зменшення експлуатаційних витрат. Проте, слід зазначити, що автори розглянули виключно економічний аспект функціонування залізничного транспорту при організації маршрутних перевезень, й не надали належної уваги технологічній складовій та ряду проблемних питань, що заважають реалізації маршрутизації, зокрема таким, як нестача тягового рухомого складу.

В роботі [6] виконано дослідження проблем функціонування залізничних під'їзних колій України в сучасних умовах, де відзначено, що наявна система організації постачання сировини та взаємодії між магістральним транспортом та під'їзними коліями негативно відбивається на ефективності функціонування останніх. Однак, в даному дослідженні автор був зосереджений на питаннях проблематики функціонування під'їзних колій, та не взяв до уваги технологію

підведення вантажів до під'їзної колії – маршрутами чи у вигляді окремих передач, що також впливає на роботу під'їзної колії.

У [7] автори розглянули питання організації технологічних маршрутів для перевезення трубої заготовки між підприємствами циклу виготовлення труб. Було розглянуто систему організації перевізного процесу, тарифікацію перевезення та розрахунок потрібної кількості рухомого складу для організації перевезення. Автори довели, що застосування технологічних маршрутів замість групових відправок дає можливість скоротити оберти вагону та обсяги маневрової роботи на під'їзних коліях. Проте, дослідження авторів не враховує технологічних аспектів організації технологічного маршруту, а крім того, натепер вже відсутнє тарифне стимулювання маршрутизації.

О. Науменко у [8] запропонував з метою підвищення ефективності перевезення маршрутів з вугіллям організувати роботу власного перевізника, який би задовольняв потреби в перевезеннях всередині вугільно-паливного комплексу.

Таким чином, виходячи із зазначеного, можна зробити висновок, що питання організації маршрутизації, зокрема і технологічних маршрутів було і залишається актуальним.

Основний матеріал дослідження

За прогнозними даними найбільшого виробника та експортера окатишів компанії Fergexro обсяг виробництва залізородного концентрату збільшиться до 2030 року до 20 млн тонн на рік. За іншими даними іноземні компанії активно шукають шляхи розвитку видобувної та збагачувальної галузей промисловості із залученням мільярдних інвестицій у вітчизняну промисловість. Розглядаються навіть проекти відбудови спеціалізованих залізничних ліній, сполученням із морськими торговельними портами «Великої Одеси».

За офіційними даними державної служби статистики України [9] саме на залізничний транспорт припадає більший обсяг перевезених вантажів металургійної промисловості (рис. 1).

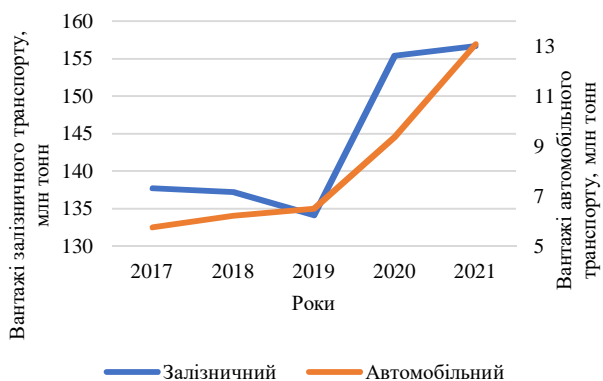


Рис. 1. Динаміка обсягу перевезення вантажів металургійної промисловості залізничного та автомобільного транспорту

В структурі залізничних вантажних перевезень частка вантажів металургійної та видобувної галузей промисловості продовжує займати ключові місця. За статистичними даними станом на початок 2022 року обсяг зазначених вантажів у загальному обсязі перевезення становив відповідно (рис. 2, 3):

- вугілля, кокс – 55,2 млн тонн;
- руди залізної і марганцевої – 77,6 млн тонн;
- чорний метал, брухт чорних металів – 23,9 млн тонн,
- що в загальній структурі становило близько 50% від перевезених вантажів по залізниці.

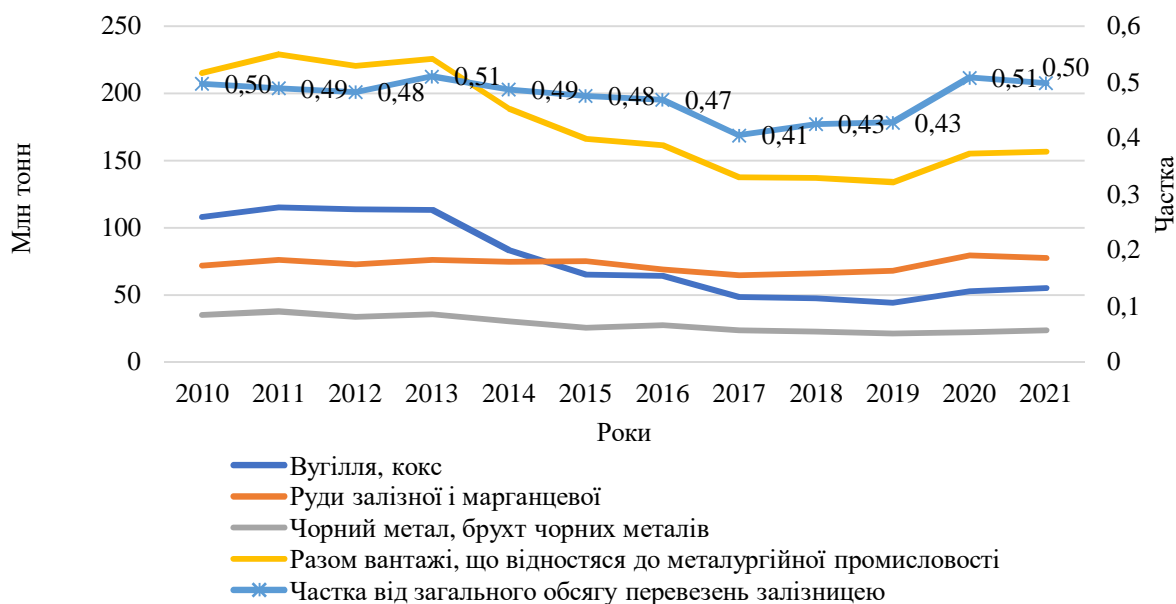


Рис. 2. Динаміка основних груп вантажних перевезень залізничним транспортом по роках за 2010 – 2021 роки, млн тонн

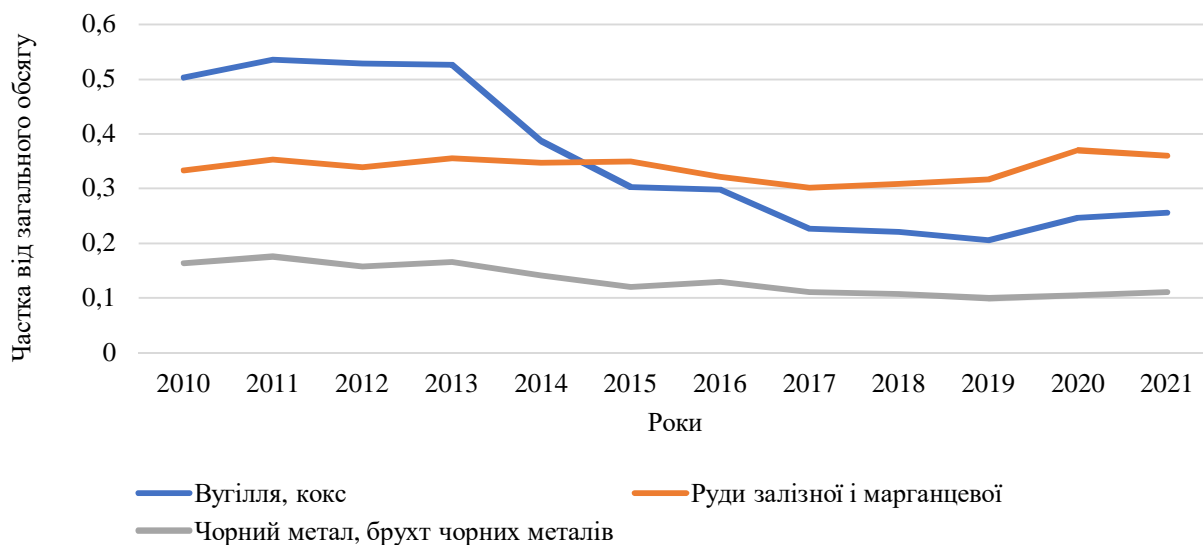


Рис. 3. Частки основних груп вантажних перевезень залізничним транспортом по роках за 2010 – 2021 роки.

З іншого боку, кореляційний аналіз динаміки обсягів виготовлення чавуну та видобутку вугілля із виробництвом коксу демонструє дуже щільну лінійну й пряму кореляційну залежності (табл. 1).

Разом з тим регресійний аналіз вказує на щільну, пряму ступеневу (зростаючу) залежність обсягів виробництва чавуну від частки перевезення вугілля та коксу в загальній структурі

вантажопотоку на залізниці, що також підтверджує критичну залежність виготовлення чавуну саме від доставки коксованого вугілля за звітний період (рис. 4).

Коефіцієнт лінійної кореляції становить:

$$k_{\text{кор}} = \frac{75020737 \cdot 0,084078}{\sqrt{6307598,52}} = 0,9804, \quad (1)$$

Таблиця 1

Розрахункові дані лінійної кореляції між зміною обсягів виробництва чавуну та видобутку вугілля (із виробництвом коксу) за 2013 – 2021 роки

Розрахунковий показник кореляції	Рік									Сума
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Чавун переробний і дзеркальний у чушках, болванках чи формах первинних інших, X_i	29088,7	24800,9	21862,8	23560,0	19797,9	20531,2	20055,9	20238,0	20808,6	200744,0
Вугілля, кокс, Y_i	0,527	0,387	0,303	0,299	0,227	0,221	0,206	0,247	0,256	3,0
$X_i - M(x)$	6784	2496	-442	1255	-2507	-1774	-2249	-2067	-1496	$-1 \cdot 10^{-11}$
$Y_i - M(y)$	0,230	0,090	0,006	0,002	-0,070	-0,076	-0,091	-0,050	-0,041	$-4 \cdot 10^{-16}$
$(X_i - M(x)) \cdot (Y_i - M(y))$	1558	226	-3	2	175	135	205	103	61	2462
$(X_i - M(x))^2$	46020093	6230071	195443	1575304	6284993	3145972	5057951	4272030	2238880	75020738
$(Y_i - M(y))^2$	0,053	0,008	0,000	0,000	0,005	0,006	0,008	0,002	0,002	0,08

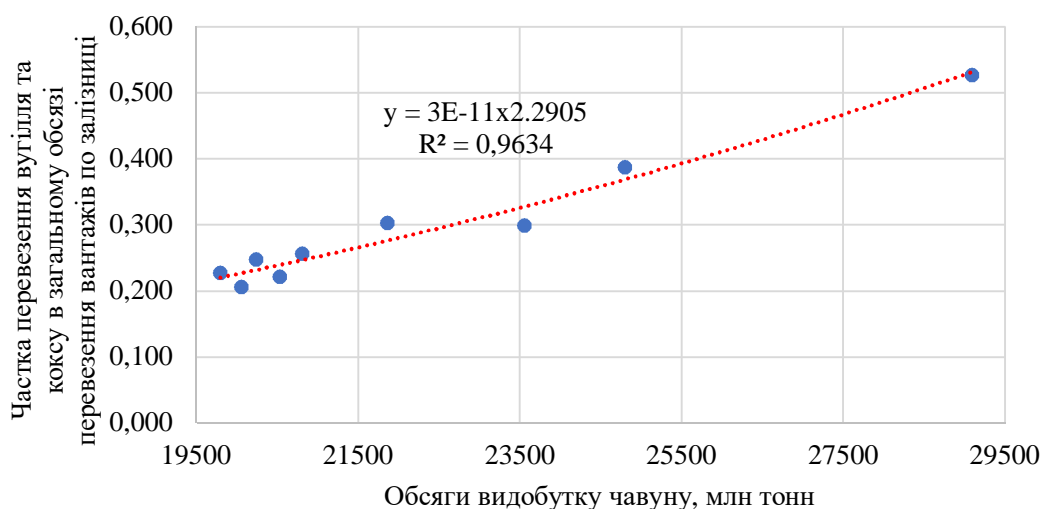


Рис. 4. Розрахунок кореляційної залежності між зміною обсягів виробництва чавуну та видобутку вугілля (із виробництвом коксу)

Продукція чорної металургії, так як і сировинна база цієї галузі, відноситься до масових, генеральних вантажів з невисокою вартісною складовою, що робить залізничний транспорт найбільш зручним та доцільним при виборі способу транспортного забезпечення металургійних підприємств [10]. Власне перші варіанти за-

лізничного транспорту і знайшли своє застосування якраз у металургійній та гірничодобувній галузі ще у 17 – 18 столітті. На сьогодні всі металургійні підприємства також залежать від магістрального залізничного транспорту. Проте не рідкісні випадки переведення частини перевезень на інші види транспорту, наприклад автомобільний [11].

У результаті дослідження вихідних вагонопотоків було проаналізовано масив вибірки даних за 2018-2021 роки у обсязі близько 25 тисяч значень. Оскільки всі масиви даних є результатом імовірнісних процесів, було проведено аналіз розподілу випадкових величин на відповідність теоретичним законам розподілу, встановлені статистичні показники вибірок.

При дослідженні розподілу сукупних добових обсягів прибуття залізної руди до станції Запоріжжя Лівє встановлено, що найщільніша апроксимація спостерігається із нормальним, та іншими симетричними, законами розподілу (рис. 5, табл. 2).

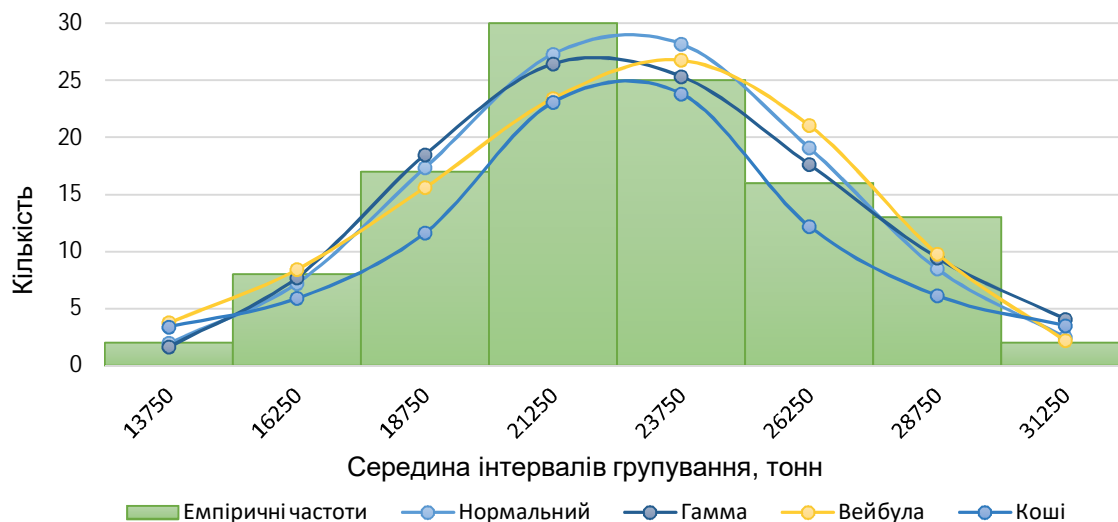


Рис. 5. Апроксимація інтервального ряду розподілу випадкової величини добового обсягу надходження залізної руди до станції Запоріжжя Лівє протягом 2021 року

Таблиця 2

Показники описової статистики випадкової величини добового обсягу надходження залізної руди (тонн) до станції Запоріжжя Лівє протягом 2021 року

Показник статистики	Значення
Середнє	20412,29
Стандартна похибка	390,4593
Медіана	20368
Мода	22004
Стандартне відхилення	3765,454
Дисперсія вибірки	14178641
Експес	-0,17891
Асиметричність	-0,00487
Інтервал	18090
Мінімум	11320
Максимум	29410
Сума	1898343
Рахунок	93
Рівень надійності (95,0%)	775,486

При дослідженні розподілу сукупних добових обсягів прибуття коксу до станції Запоріжжя Лівє встановлено, що найщільніша апроксимація спостерігається також із нормальним, та іншими симетричними, законами розподілу (рис. 6, табл. 3).

Таблиця 3

Показники описової статистики випадкової величини добового обсягу надходження коксу (тонн) до станції Запоріжжя Лівє протягом 2021 року

Показник статистики	Значення
Середнє	1837,947
Стандартна похибка	109,9078
Медіана	2331,5
Мода	42
Стандартне відхилення	1506,979
Дисперсія вибірки	2270986
Експес	0,746168
Асиметричність	0,7517
Інтервал	7330
Мінімум	36
Максимум	7366
Сума	345534
Рахунок	188
Рівень надійності (95,0%)	216,8184

Варіація обсягів надходження руди до станції Запоріжжя Ліве з усіх напрямків становить:

$$v(x) = \frac{2993,376}{4793,795} = 0,62, \quad (2)$$

і є набагато меншою, ніж варіація надходження коксу:

$$v(x) = \frac{1506,979}{1837,947} = 0,82, \quad (3)$$

що свідчить про неузгодженість у поставках цих двох основних компонентів у роботі металургійного підприємства. Саме значна варіація в добових розмірах постачання коксу передбачатиме більші необхідні страхові запаси на випадок виникнення збоїв у постачанні.

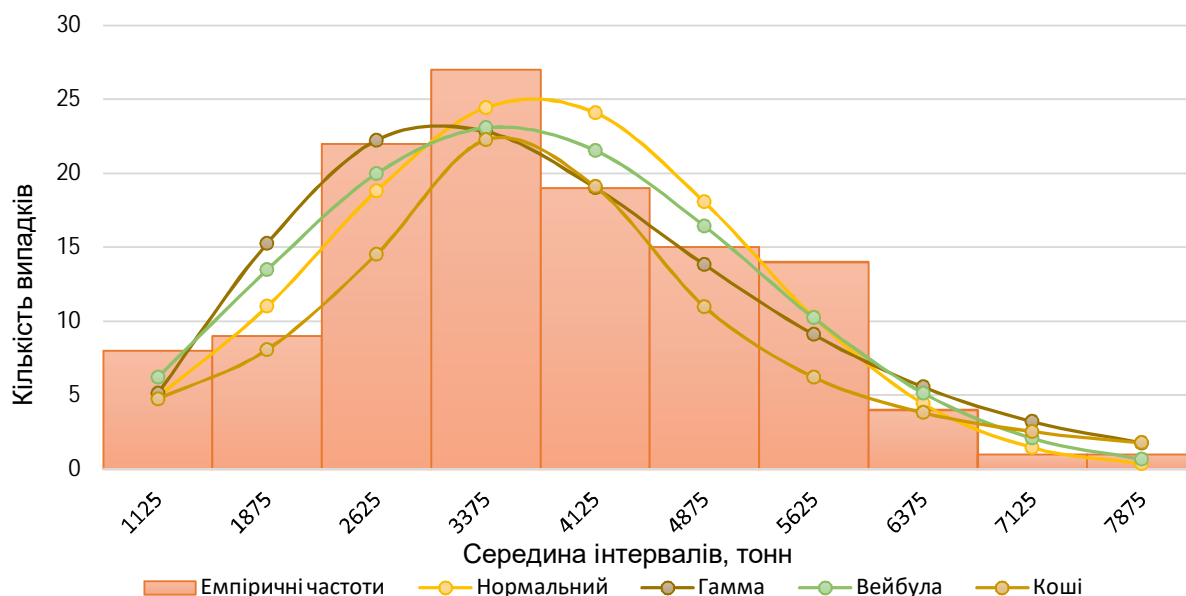


Рис. 6. Апроксимація інтервального ряду розподілу випадкової величини добового обсягу надходження коксу до станції Запоріжжя Ліве протягом 2021 року

Висновки

Металургійна промисловість України, станом на кінець 2021 року, складала 35,1 % у структурі промислового виробництва країни і здійснювала безпосередній вплив майже на 34,3 % промислового виробництва світу. На долю металургійної промисловості в Україні припадало більше 38 % ВВП країни, промислового виробництва металопрокату та виробів з металів – 27,3 %. В частині експорту гірська та переробна промисловість чорних металів становила – 34,2%.

Дослідження вантажопотоків залізної руди, на прикладі ПАО «Запоріжсталь», вказує на значну кількість постачальників, однак приблизно 87 % загального обсягу прибуває із п'яти станцій Терни, Дніпрорудний, Рядова, Інгулець, Кривий Ріг. Варіація обсягу прибуття з кожної із зазначених станцій є найнижчою серед всіх пунктів відправлення, і коливається в межах 0,203...0,410.

Детальний аналіз випадкової величини добових обсягів прибуття вантажу до станції Запорі-

жжя Ліве вказує на високу імовірність апроксимації щільності розподілу нормальним та іншими симетричними законами. Середнє значення добового обсягу прибуття залізної руди до станції Запоріжжя Ліве становило 20412 тонн при стандартному відхиленні 3765 і коефіцієнті варіації 18,4 %. Низка варіація вказує на достатньо стабільний процес постачання залізної руди, не зважаючи на те, що процес охоплює значну кількість постачальників на мережі. Розподіл випадкової величини добових обсягів коксу до ПАО «Запоріжсталь» також вказує на певну симетричність і з достатньо високою імовірністю (59 %) апроксимується нормальним розподілом.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Офіційний сайт Геологічної служба США. *United States Geological Survey, USGS*. URL: <https://www.usgs.gov/>
2. Козаченко Д. М. Проблеми стимулювання відправницької маршрутизації на залізничному транспорті. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – 2013. – № 3(192). – С. 207-211.
3. Forkenbrock D. J. Comparison of external costs of rail and truck freight transportation. *Transportation*

Research Part A: Policy and Practice. – 2001. – Vol. 35. – Iss. 4. –P. 321–337.

4. Копилов М. Маршрутизація – синонім оптимальності. *Магістраль*, 2011. (26 січня– 1 лютого), № 5 (1588). С. 4

5. Миронович А., Ейтутіс Г., Крищенко Г. Маршрутизація перевезень як фактор підвищення інвестиційної привабливості АТ «Укрзалізниця». *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Економіка і управління»*. 2020. Вип. 48. С. 31-37

6. Вернигора Р. В. Проблеми функціонування залізничних під'їзних колій України в сучасних умовах. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2012. № 4/3(58). С. 64-68.

7. Березовий М. І., Вернигора Р. В., Малашкін В.В. Організація взаємодії промислових підприємств при перевезенні металургійної продукції *Праці Ростовського держ. ун-ту шляхів сполучення*. 2013. Вип. 2(23). С.12-17. (рос)

8. Науменко О. Удосконалення роботи транспортної системи вугільно-енергетичного комплексу. *Engineering mechanic&transport 2013 (EMT-2013)*. Львів. С. 72-73

9. *Державна служба статистики: офіційний сайт*. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

10. Шульга І. В. Отримання відновників для виплавки заліза з руди (до середини XIX ст.). *Electronic National Technical University " Kharkiv Polytechnic Institute" Institutional Repository (eNTUKhPIIR)*. НТУ «ХПІ». С.177 – 189. URL: <https://core.ac.uk/reader/50579827>.

11. Osborne D., Dempsey F. Supply chain management for bulk materials in the coal industry. *The Coal Handbook: Volume 1: Towards Cleaner Coal Supply Chains, Second Edition* (2023). № 1. P.619-664.

Надійшла до редколегії 26.10.2023.

Прийнята до друку 04.11.2023.

O. ZARUBA, A. OKOROKOV

RESEARCH OF TRANSPORT SUPPLY OF METALLURGICAL INDUSTRY BY RAILWAY TECHNOLOGICAL ROUTES

Purpose. In the conditions of a full-scale war, ensuring the stable functioning of the national economy is one of the strategic tasks. The functioning of the industrial complex, the availability of jobs and the payment of taxes to the state budget are, among other things, part of ensuring the country's defense capability. One of the main branches of Ukraine's economy is the metallurgical industry, so it needs the implementation of measures to ensure reliable and stable work even in conditions of military aggression, constant risks of air strikes and infrastructure damage. In accordance with this, the purpose of the study is to analyze and determine the structure of cargo flows of technological routes of transport service of metallurgical production (on the example of PJSC «Zaporizhstal»). The dynamics of iron ore (iron ore concentrate) and coking coal (coke) transportation volumes by means of transport were studied. Irregularity was investigated and descriptive statistics of daily volumes of transportation of iron ore (iron ore concentrate) and coking coal (coke) for metallurgical production were performed (on the example of PJSC «Zaporizhstal»).

Methods. An analysis of the unevenness of the daily volume of goods received for the needs of a metallurgical enterprise (on the example of PJSC «Zaporizhstal») by technological routes of railway transport was carried out. Methods of mathematical statistics, probability theory, theory of transport processes and systems were used. As a result of the analysis of cargo flows arriving at the enterprise, it was established that the distribution of the daily volume of iron ore arriving at the Zaporizhzhia Live station is subject to symmetrical distribution laws with a relatively low variation of 18.4%. The distribution of the random value of the daily volume of coke intake also indicates a certain symmetry with a fairly high probability (59%), and is approximated by a normal distribution. **Scientific novelty.** As a result of the conducted research, it was established that the approximate density of the distribution of volumes of iron ore (salt-ore concentrate) and coking coal (coke) for metallurgical production (on the example of PJSC «Zaporizhstal» for 2022). **Practical significance.** The mathematical expectation and the level of correlation of the volumes of iron ore (iron ore concentrate) and coking coal (coke) supply to metallurgical production are established (on the example of PJSC «Zaporizhstal» for 2022). In the future, the obtained results are planned to be used as input data for a simulation model of the functioning of the transport support system of an industrial enterprise.

Keywords: technological routes, metallurgical production, transportation of iron ore, transportation of coal, density of probability distribution.

УДК 334.716:656.2

В. Г. ДЖЕНЧАКО^{1*}, Г. В. МАСЛАК^{2*}, М. В. ХАРА^{3*}, О. Ю. НЕТРЕБКО^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (067) 621 28 97, ел. адреса vadim.sok777@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4581-4174

^{2*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (068) 435 92 95, ел. адреса avmaslak81@gmail.com, ORCID 0000-0001-7256-5543

^{3*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (096) 743 72 36, ел. адреса haramarina4691@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6818-7938

^{4*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (098) 895 71 39, ел. адреса oleg.netrebko87@gmail.com, ORCID 0000-0002-6014-620X

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ВАНТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ФАБРИКИ В УМОВАХ ЗМІННОГО СЕРЕДОВИЩА

Мета. На сучасному етапі функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики переробка вагонопотоків відбувається в умовах змінного середовища, що призводить до низької ефективності взаємодії транспорту і розвантажувального комплексу. Для вирішення цієї проблеми потрібно оцінити експлуатаційні показники функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики проаналізувати роботу вагоноперекидачів розвантажувального комплексу у динамічних умовах. **Методи дослідження.** При проведенні досліджень використовувалися наступні методи: аналізу і синтезу для дослідження питання та наукових публікацій щодо стану та шляхів оптимізації функціонування транспортно-вантажного комплексу; планування експерименту - для отримання багатомірного, різнохарактерного масиву статистичних даних; теорії ймовірності та математичної статистики - для обробки даних, отримання кореляційних залежностей показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики в умовах змінного середовища. **Результати.** Робота присвячена вирішенню науково-технічної проблеми оцінки експлуатаційних показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики в умовах змінного середовища. У роботі проведена оцінка рівня взаємодії ланок потокового процесу вантажопереробки транспортно – вантажного комплексу агломераційної фабрики базового підприємства. При проведенні досліджень встановлено, що при ритмічній роботі агломераційної фабрики і рівномірному прибутті маршрутних поїздів з сировиною на станцію, взаємодія з вагоноперекидачами відбувається в нормальному режимі при цьому простій вагонів зовнішньої мережі близький до нормативного. З ускладненням умов роботи, особливо у період негативних температур при відмовах агломераційної фабрики від сировини, взаємодія вантажної станції, розвантажувального комплексу та гаражів розморожування істотно порушується. Простій вагонів у вказаних умовах змінного середовища і особливо при збільшенні вагонопотоку прибуття досягає максимальних значень. На основі оцінки експлуатаційних показників функціонування розвантажувального комплексу агломераційної фабрики встановлено, що коефіцієнт оперативної готовності вагоноперекидачів знаходиться на досить високому рівні, коефіцієнт використання вагоноперекидачів за часом є дуже низьким, а оперативна технічна готовність передавальних конвеєрів не в повній мірі відповідає виробничим вимогам. Оцінка експлуатаційних показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики як системотехнічного комплексу на мікрорівні дозволила оцінити його основні функції та створила передумови для моделювання роботи комплексу на мікрорівні в умовах змінного середовища. **Наукова новизна** полягає у розробці загального методу оцінки експлуатаційних показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики в умовах змінного середовища, який базується на положеннях функціонального аналізу. **Практична значимість.** Представлені теоретичні положення щодо функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики дозволили оцінити експлуатаційні показники роботи розвантажувального комплексу в умовах змінного середовища, які безпосередньо впливають на роботу вантажної станції, та можуть в подальшому використовуватися в моделях управління поточковими процесами у транспортно-вантажних комплексах.

Ключові слова: вантажна станція, гаражі розморожування, розвантажувальний комплекс, транспортно-вантажний комплекс агломераційної фабрики, масова сировина, приймально-відправний парк.

Вступ

Металургійні підприємства України характеризуються значним обсягом випуску готової продукції та повним циклом виробництва: підготовка сировини на агломераційній фабриці (АФ) **виробництво агломерату** – виплавка чавуну – виробництво сталі – випуск прокату. Виробничо-транспортна система таких підприємств включає в свою структуру транспортно-вантажні (ТВК) та транспортно-технологічні комплекси (ТТК) основного та допоміжних виробництв, а також промисловий транспорт, що їх обслуговує [1].

Транспортно-вантажні комплекси агломераційних фабрик (ТВК АФ) здійснюють прийом, вивантаження вагонів з масовою сировиною, подачу її на склади для усереднення, оперативного зберігання та забору у виробництво. Зазвичай, у свою структуру вони включають вантажну станцію (ВС), що примикає до магістральної мережі залізниць та здійснює прийом, переробку та подачу вагонів з сировиною під вивантаження, а також розвантажувальний комплекс, що складається з вагоноперекидачів для вивантаження вагонів (роторних стаціонарних, роторних пересувних та баштових) та конвеєрних ліній для передачі сировини на усереднювальні та оперативні склади. Також до структури ТВК входять гаражі розморожування для підготовки сировини для вивантаження на вагоноперекидачах у період негативних температур.

В умовах динаміки вхідного поїздопоту при щодобовому прийомі від 5 – 7 до 12 – 14 маршрутних поїздів з сировиною спостерігаються значні коливання часу їх прибуття. Коливання інтервалів прибуття поїздів становить від 0,5 – 1,0 до 5,0 – 8,0 годин. Тобто, процес переробки вхідного поїздопоту на вантажній станції характеризується імовірнісним характером, отже, і чітка взаємодія ВС та РК також носитиме нестабільний характер [2].

У цій ситуації збільшуються прості маршрути поїздів з сировиною в очікуванні вивантаження, а також завантаження колій приймально-відправного парку, що призводить до зростання обсягу станційної роботи з обслуговування РК та обмеження можливості виконання ВС інших її функцій.

В зв'язку з цим оцінка експлуатаційних показників функціонування ТВК АФ в умовах змінного середовища є важливим та актуальним завданням для подальшого моделювання станційних поточкових процесів при підвищенні ефективності їх взаємодії.

Аналіз останніх публікацій та досліджень

Процеси прийому, вивантаження та переробки вагонопотоків з масовою сировиною на ВС є важливими етапами функціонування як інтегрованих ланцюгів поставок у рамках систем постачання, так і мікрологістичної виробничої системи, оскільки вони формують поточкові процеси виробництва та задають їх темп просування.

Дослідженню питань оптимізації технологічних процесів на станціях (вантажних та сортувальних) присвячені роботи багатьох вчених: Т.В. Бутько, В.І. Бобровського, Д.О. Козаченка, М.І. Березового та ін. [3, 4, 5, 6].

У цих роботах отримали розвиток теоретичні та практичні питання проектування та технології роботи станцій, тривалості виконання основних технологічних операцій та міжопераційних простоїв, моделювання роботи станцій, застосування інформаційних технологій в експлуатаційній роботі, розрахунки витрат на переробку вагонопотоків з масовими вантажами та ін. Загальні методичні принципи, і навіть моделі, які запропоновано у низці зазначених робіт, можливо застосовувати при вирішенні локальних завдань станцій промислових підприємств. Однак, їх використання для вирішення проблемних питань ТВК АФ металургійних підприємств неможливо через багатофункціональність ВС, а також наявності великої кількості як зовнішніх експлуатаційних, так і внутрішньовиробничих факторів.

Дослідження процесів матеріалоруку при транспортному обслуговуванні металургійних підприємств в умовах динаміки виробництва та транспорту, а також принципи формування системних циклів просування вагонопотоків представлені в роботах [7, 8, 9, 10]. Системними циклами, що відображають функціонування виробничо-транспортної системи загалом, є: тривалість обороту вагонів зовнішнього парку (повні цикли), а також тривалість транспортного обслуговування аглодоменного, сталеплавильного та прокатного переділів (локальні цикли). У межах системних циклів виконуються взаємопов'язані функціональні (технологічні) цикли вантажопереробки, а також транспортні цикли, які включають тривалість комплексу технологічних операцій транспортного обслуговування. У цьому динаміка кожного транспортного циклу вимагає узгодження потреби у ресурсах на «вході» (переробна спроможність транспортної інфраструктури, обумовлена виробничими умовами) і «виході» (очікувана тривалість виконання операцій системного циклу загалом) [11, 12].

Таким чином, попередній розгляд питання оцінки експлуатаційних показників функціонування ТВК АФ в умовах динаміки вхідного вагонопотоку засвідчив, що реалізація цього завдання пов'язана з необхідністю формування потокової лінії у складі вантажної та транспортної ланок; визначення заданої переробної спроможності вантажної ланки, формування на цій основі проектної технології, що забезпечує синхронізацію роботи ланок, а її показники використовувати як критерій керування.

Мета

На сучасному етапі функціонування металургійних підприємств потрібно проведення оцінки експлуатаційних показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики в умовах динаміки вхідного вагонопотоку для формування ефективної потокової лінії вивантаження масової сировини.

Методи дослідження

При проведенні досліджень використовувалися наступні методи: аналізу і синтезу для дослідження питання та наукових публікацій щодо стану та шляхів оптимізації функціонування транспортно-вантажного комплексу; планування експерименту - для отримання багатомірного, різнохарактерного масиву статистичних даних; теорії ймовірності та математичної статистики - для обробки даних, отримання кореляційних залежностей показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики в умовах змінного середовища.

Виклад основного матеріалу

У роботі розглядається ТВК АФ, продуктивністю 12,0 млн. тон агломерату на рік. До його складу входять: комплект РК та ВС. РК включає: вагоноперекидачі роторні стаціонарні (ВРС) – для розвантаження вагонів із залізородним концентратом та агломераційною рудою, вагоноперекидач баштовий стаціонарний (ВБС) – для розвантаження вагонів з флюсами та паливом, вагоноперекидач роторний пересувний – для розвантаження вагонів із залізовмісними відходами виробничих цехів та їх утилізації в агломераційному виробництві; передавальні конвеєрні лінії; рудну естакаду; склади для усереднення та оперативного зберігання компонентів шихти.

Важливу роль в організації роботи ВС має приймально-відправний парк (ПВП), на який

припадає виконання основної частини операцій з навантаженими вагонами зовнішнього парку: прийом і розформування поїздів, добірка подач вагонів на вагоноперекидачі і в гаражі розморожування, технічні операції та ін. Крім того, ПВП виконує великий обсяг роботи по формуванню та відправленню поїздів з порожніми вагонами на зовнішню мережу, а також з обслуговування технологічних перевезень комбінату.

Транспортні потоки, які прибувають з зовнішньої мережі на ВС, носять нерівномірний характер. Аналіз вхідного поїздопотоку вказує на великий розкид інтервалів прибуття поїздів (від 1 – 2 до 20 – 24 годин), що в значній мірі ускладнює роботу всього РК і в підсумку трансформується в транспортний простій.

Провідною у технологічній лінії роботи ТВК АФ є вантажна ланка. Її переробна спроможність прийнята за умови забезпечення планової виробничої потужності АФ в обсязі 12 млн. т агломерату на рік. При цьому планове надходження сировини характеризується величиною вагонопотоку, що становить 450 вагонів на добу. Прийом такого вагонопотоку забезпечується двома вагоноперекидачами ВРС-75 із споживчою продуктивністю по 6,0 млн. тон на рік та інтенсивністю розвантаження – 25 ваг/год. Однак, необхідно враховувати, що фізико-механічні властивості залізовмісної сировини впливають на інтенсивність розвантаження, що реалізується в практичних умовах, та не перевищує 16...18 ваг/год.

Таким чином, вантажна ланка технологічної лінії з прийому, переробки та вивантаження маршрутних поїздів з сировиною має детерміновану величину переробної спроможності, виходи якої однозначно залежать від входів. Вона прийнята у межах показників нерівномірності перевезень (на момент проектування АФ). За її величиною встановлено проектну технологію потокової переробки вагонопотоку ТВК АФ. Слід зазначити, що технічних резервів переробної спроможності вантажної ланки потокової лінії не передбачено.

Основою ТВК АФ відповідно до проекту є потоковий процес з прийому, переробки та вивантаження вагонів із сировиною для агломераційного виробництва. Він включає дві ланки: транспортну (спеціалізовані колії ПВП ВС) та вантажну (РК). Схема потокової лінії з переробки вагонопотоку та її розміщення у межах комплексу наведено на рисунку 1.

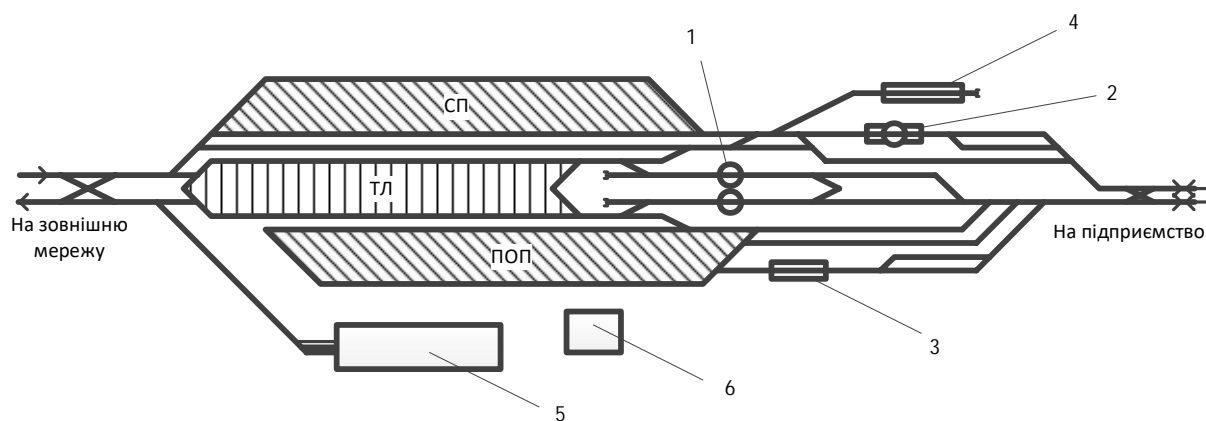


Рис. 1. Схема вантажної станції транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики:

ТЛ – технологічна лінія прийому та розвантаження маршрутних поїздів; ПВП – приймально-відправний парк; СП – сортувальний парк; 1 – роторний стаціонарний вагоноперекидач; 2 – роторний пересувний вагоноперекидач; 3 – баштовий вагоноперекидач; 4 – розвантажувальна естакада; 5 – гаражі розморожування; 6 – станційна будівля.

Безперервність роботи ТВК АФ при прийомі та вивантаженні маршрутних поїздів із сировиною досягається за рахунок взаємодії вантажної та транспортної ланок у ритмі, що відповідає переробній спроможності вантажної ланки (ваг./добу), як ведучої, що здійснює вивантаження сировини з вагонів та її передачу на склади АФ.

Схема потокового процесу переробки вагонів із масовою сировиною об'єднує групу колій ПВП через горловини ВС у спеціалізовану транспортну ланку, яка безпосередньо з'єднується у комплекс із коліями насуву вантажної ланки. Корисна довжина спеціалізованих колій складає 56 вагонів, а колій насуву – 22 вагони. При цьому вихід на обидві колії насуву має лише одну колію транспортної ланки.

Розглянемо та оцінимо рівень взаємодії ланок потокового процесу вантажопереробки ТВК АФ базового підприємства.

Кожна ланка (вантажна та транспортна) характеризується відповідними функціями, структурою та переробною спроможністю комплексу технічних засобів.

Оперативне управління роботою транспортної ланки, її основними елементами і їх взаємодією здійснюється методами диспетчеризації. При ритмічній роботі аглофабрики, рівномірному підході маршрутних поїздів з сировиною диспетчеризація забезпечує організацію роботи ланки з мінімальними простоями вагонів на стиках технологічних операцій.

Встановлено, що в сприятливих умовах, в теплу пору року, при ритмічній роботі агломераційної фабрики і рівномірному прибутті

маршрутних поїздів з сировиною на станцію, взаємодія з вагоноперекидачами відбувається в нормальному режимі і простій вагонів становить в середньому 16,5 годин, який близький до нормативного.

З ускладненням умов роботи, особливо у період негативних температур при відмовах агломераційної фабрики від сировини, взаємодія ВС, РК, та гаражі розморожування (ГР) істотно порушується. При цьому завантаження горловин в ці періоди збільшується з 0,65...0,70 до 0,85...0,95, а тривалість заняття колій ПВП з 650...750 хв до 1200...1400 хв на добу. Простій вагонів у вказаних умовах змінного середовища і особливо при збільшенні вагонопотоку прибуття досягає максимальних значень.

На підставі даних масиву про роботу вагоноперекидачів (березень, квітень 2021 року) було проведено детальний аналіз використання роторних стаціонарних вагоноперекидачів за часом, результати якого наведені у табл. 1.

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

- технічний стан вагоноперекидачів (коефіцієнт готовності 0,73...0,81), як провідної ланки ТВК АФ, характеризується досить високим рівнем технічної готовності оскільки забезпечує переробку існуючого вагонопотоку та його збільшенню у перспективі та відповідає виробничим вимогам. Разом з цим технічний стан передавальних конвеєрних ліній помітно відстає від вагоноперекидачів, що суттєво знижує технічну готовність ТВК АФ загалом;

Показники використання вагоноперекидачів

№ з/п	Показники	Тип вагоноперекидача			
		Роторні стаціонарні		Роторний пересувний	Баштовий
		№ 101	№ 102		
1	Кількість вивантажених вагонів, од.	10629	9657	3556	9709
2	Тривалість робочого часу, хв.	84960 (100)			
	У тому числі:				
	- час роботи	40610 (48%)	36695 (43%)	16075 (49%)	35390 (42%)
	- час простою	44350 (52%)	48265 (57%)	68980 (81%)	49570 (58%)
3	Простої, пов'язані з затримками прибуття маршрутних поїздів з сировиною на станцію	11800 (14%)	9396 (11%)	36935 (44%)	9625 (11%)
4	Розподіл часу простою по причинам, хв. (%):				
	- несправність вагоноперекидачів	993 (2%)	3500 (4%)	7195 (9%)	13785 (16%)
	- несправність конвеєрів	8320 (11%)	10015 (13%)	4115 (5%)	11205 (13%)
	- транспортні причини	13185 (16%)	11330 (13%)	6850 (8%)	10175 (12%)
	- відмови аглофабрики від вантажу	7225 (9%)	685 (1%)	7725 (9%)	1965 (3%)

- використання вагоноперекидачів за часом (коефіцієнт використання 0,43...0,47) є дуже низьким і не пов'язується з їх досить високою експлуатаційною готовністю. Тому це питання потребує більш поглибленого розгляду функціонування транспортного та вантажного ланцюгів;

- суттєвий вплив на роботу ТВК АФ надає нерівномірне відвантаження сировини. Так, простої станції та вагоноперекидачів, пов'язані із затримками прибуття вантажу становлять 11 - 14 % облікового часу. Втрати часу з цієї причини мають місце практично щодня протягом місяця, а добові втрати становлять у середньому 212 хв, досягаючи в окремі дні (5 - 6 днів) 400 хв і більше. Слід, проте, відзначити, що цей простій лише умовно представлений самостійною позицією. Після перерв, підхід маршрутних поїздів з сировиною інтенсифікується, робота ВС значно ускладнюється і даний фактор практично трансформується в транспортний простій;

- робота вагоноперекидачів (за винятком баштового) характеризується досить високою надійністю. Простої за несправностями роторних стаціонарних вагоноперекидачів, які здійснюють розвантаження основного обсягу залізородної сировини, не перевищує 4 % врахованого часу.

- оперативна технічна готовність вагоноперекидачів знаходиться на досить високому рівні. Так, протягом місяця необхідність у ліквідації несправностей виникла 7 - 8 разів, середні втрати часу виконання становили 18 хв і лише

трьох випадках їх тривалість перевищувала 1 - 2 години.

- значно меншою мірою виробничим вимогам відповідає оперативна технічна готовність передавальних конвеєрів. Простої вагоноперекидачів, пов'язані з аварійним ремонтом стрічкових конвеєрів становить 11...13 % загального часу. Слід зазначити, що виникнення несправностей, що розглядаються, носить регулярний характер, а добовий час на усунення несправностей становить у середньому 145 хв, хоча спостерігаються випадки з втратами до 400 - 600 хвилин добового часу;

- значну питому вагу у простоях РК мають простої з транспортних причин (несвоєчасна подача вагонів під розвантаження), які становлять 13...16 % облікового часу. При цьому транспортні простої мають стабільний характер протягом місяця та в середньому значенні становлять 231 хв. на добу. Однак вони змінюються в широкому діапазоні і, якщо в літній період не перевищують 100...138 хв, то при негативних температурах можуть досягати 320...360 хв. Зазначене обумовлено включенням у процес переробки вагонів розморожування змерзлого вантажу в ГР та значного збільшення обсягу та тривалості маневрових робіт.

- простої вагоноперекидачів через відмову агломераційної фабрики від вивантаження сировини, становить 1...9 % облікового часу. Слід зазначити, що цей простій має обмежений період дії (8 - 9 днів). Середні значення добових

втрата часу становить 122 хв, а локальні періоди – зростають до 480 хв. Практично відмови агломераційної фабрики означають суттєве ускладнення роботи та необхідність зміни оперативних планів роботи ТВК АФ.

Висновки

1. У роботі проведена оцінка рівня взаємодії ланок потокового процесу вантажопереробки транспортно – вантажного комплексу агломераційної фабрики базового підприємства

2. Встановлено, що при ритмічній роботі агломераційної фабрики і рівномірному прибутті маршрутних поїздів з сировиною на станцію, взаємодія з вагоноперекидачами відбувається в нормальному режимі при цьому простій вагонів зовнішньої мережі близький до нормативного.

З ускладненням умов роботи, особливо у період негативних температур при відмовах агломераційної фабрики від сировини, взаємодія вантажної станції, розвантажувального комплексу та гаражів розморожування істотно порушується. При цьому завантаження горловин в ці періоди збільшується з 0,65...0,70 до 0,85...0,95, а тривалість заняття колій приймально-відправного парку з 650...750 хв до 1200...1400 хв на добу. Простій вагонів у вказаних умовах змінного середовища і особливо при збільшенні вагонопотоку прибуття досягає максимальних значень.

3. На основі оцінки експлуатаційних показників функціонування розвантажувального комплексу агломераційної фабрики встановлено, що коефіцієнт оперативної готовності вагоноперекидачів складає 0,73...0,81 і знаходиться на досить високому рівні, а коефіцієнт використання вагоноперекидачів за часом є дуже низьким – 0,43...0,47.

Оперативна технічна готовність передавальних конвеєрів не в повній мірі відповідає виробничим вимогам. Простій вагоноперекидачів, пов'язаний з аварійним ремонтом стрічкових конвеєрів становить 11...13% загального часу, при цьому виникнення несправностей конвеєрів носить регулярний характер, а добовий час на їх усунення становить у середньому 145 хв.

Значну питому вагу у простоях розвантажувального комплексу мають простой з транспортних причин (несвоєчасна подача вагонів під розвантаження), які становлять 13...16 % облікового часу. Слід відзначити, що транспортні простой мають стабільний характер протягом місяця та в середньому значенні становлять 231 хв. на добу. Зазначене обумовлено включенням у процес переробки вагонів розігріву змерзлого

вантажу в гаражах розморожування та значного збільшення обсягу та тривалості маневрових робіт.

Простой вагоноперекидачів пов'язані з відмовою аглофабрики від вивантаження сировини, становить 1...9 % облікового часу і суттєво ускладнюють роботу комплексу у цілому. Середні значення добових втрат часу становить 122 хв, а локальні періоди – зростають до 480 хв.

4. Оцінка експлуатаційних показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики як системотехнічного комплексу на мікрорівні дозволила оцінити його основні функції та створила передумови для моделювання роботи комплексу на мікрорівні в умовах змінного середовища (динаміки вагонопотоку).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Маслак Г. В., Парунакян В. Е. Розробка методу логістичного управління процесом матеріалоруку при взаємодії виробництва і транспорту в металургійних переділах. *Транспортні системи і технології*. 2020. №19. С. 68-76.

2. Маслак Г. В. Стан і шляхи підвищення ефективності управління процесом матеріалоруку при переробці зовнішнього вагонопотоку металургійних підприємств. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2019. №18. С. 59-68.

3. Бутько Т.В., Прохоров В. М., Чехунов Д. М. Інтелектуальне управління сортувальними станціями при перевезеннях небезпечних вантажів на основі багатоцільової оптимізації. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 5. С. 41-52.

4. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Интегрированные модели железнодорожных станций. *Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2002. № 4, 5 (додаток). С. 23.

5. Козаченко Д.Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2013. №3 (45). С. 22-28.

6. Березовий М.І., Малашкін В.В., Коробйова Р.Г. Оцінка пропускної спроможності промислової сортувальної станції з використанням її ергатичної моделі. *Транспортні системи і технології перевезень*. 2012. №4. С. 9-12.

7. Парунакян В.Э., Маслак А.В. Повышение эффективности управления производственно-транспортной системой металлургических предприятий. *Вестник Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля*. 2017, № 3 (233). С. 125-131.

8. Дженчако В.Г. Оптимізація взаємодії вантажної станції, гаражів розморожування і розвантажувального комплексу агломераційної фабрики при вивантаженні масової сировини. *Міжвузівський*

тематичний збірник наукових праць : Маріуполь. 2021. № 24. С. 272-284.

9. Дженчако В.Г., Маслак Г.В. Ідентифікація функцій транспортно-вантажного комплексу промислового підприємства. *Транспортні системи і технології*. 2022. №24. С. 21-27.

10. Дженчако В.Г., Маслак Г.В., Завгородній О.С. Функціональний аналіз роботи розвантажувального комплексу транспортної системи металургійного підприємства. *Наука і виробництво: Зб. наук. праць* : Маріуполь. 2023. № 25. С. 142-151.

11. Дженчако В.Г. Підвищення ефективності перевезення масової сировини на промислові підприємства у зимовий період. *Міжвузівський тематичний*

збірник наукових праць : Маріуполь 2019. № 21. С. 224-237. URL: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/24835>. (дата звернення: 10.09.2023)

12. Дженчако В.Г. Розробка методу оцінки пропускнуої спроможності гаражів розморожування транспортної системи промислового підприємства. *Транспортні системи та технології перевезень*. №22. 2021. С. 21-27.

Надійшла до редколегії 08.10.2023.

Прийнята до друку 22.10.2023.

V. DZHENCHAKO, A. MASLAK, M. HARA, O. NETREBKO

EVALUATION OF OPERATIONAL INDICATORS OF THE FUNCTIONING OF THE TRANSPORT AND CARGO COMPLEX OF THE AGGLOMERATION FACTORY IN THE CONDITIONS OF A CHANGING ENVIRONMENT

Purpose. At the current stage of operation of the transport and cargo complex of the agglomeration factory, the processing of car flows takes place in conditions of a changing environment, which leads to low efficiency of the interaction of transport and the unloading complex. To solve this problem, it is necessary to evaluate the operational indicators of the functioning of the transport and cargo complex of the agglomeration factory, to analyze the work of the wagon transferers of the unloading complex in dynamic conditions. **Research methods.** The following methods were used during the research: analysis and synthesis for the study of issues and scientific publications regarding the state and ways of optimizing the functioning of the transport and cargo complex; experiment planning - to obtain a multidimensional, diverse array of statistical data; theory of probability and mathematical statistics - for data processing, obtaining correlation dependences of indicators of the functioning of the transport and cargo complex of the agglomeration factory in conditions of a variable environment. **The results.** The work is devoted to the solution of the scientific and technical problem of evaluating the operational indicators of the functioning of the transport and cargo complex of the agglomeration factory in the conditions of a changing environment. In the work, the level of interaction of the links of the flow process of cargo processing of the transport-cargo complex of the agglomeration factory of the base enterprise was evaluated. During the research, it was established that with the rhythmic work of the agglomeration factory and the uniform arrival of route trains with raw materials at the station, the interaction with the wagon transfer takes place in a normal mode, while the wagons are empty of the external network is close to the standard. With the complication of working conditions, especially in the period of negative temperatures when the agglomeration factory rejects raw materials, the interaction of the cargo station, the unloading complex and the defrosting garages is significantly disrupted. The idling of wagons in the specified conditions of a changing environment and especially when the wagon flow increases, the arrival reaches maximum values. Based on the evaluation of the performance indicators of the unloading complex of the agglomeration factory, it was established that the ratio of operational readiness of car transferers is at a fairly high level, the utilization rate of car transferers in terms of time is very low, and the operational technical readiness of transfer conveyors does not fully meet production requirements. The evaluation of operational indicators of the functioning of the transport-cargo complex of the agglomeration factory as a system-technical complex at the micro level made it possible to evaluate its main functions and created prerequisites for modeling the operation of the complex at the micro level in conditions of a changing environment. **The scientific novelty** consists in the development of a general method of evaluating the operational indicators of the functioning of the transport and cargo complex of the agglomeration factory in the conditions of a changing environment, which is based on the provisions of functional analysis. **Practical significance.** The presented theoretical provisions regarding the functioning of the transport-cargo complex of the agglomeration factory made it possible to evaluate the performance indicators of the unloading complex in the conditions of a changing environment, which directly affect the operation of the cargo station, and can be used in the future in models for managing flow processes in transport-cargo complexes.

Key words: cargo station, defrosting garages, unloading complex, transport and cargo complex of agglomeration factory, bulk raw materials, receiving-departing park.

УДК 124.456.7 : 878.9

М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{1*}, В. В. МАЛАШКІН^{2*}, С. В. БОРИЧЕВА^{3*}, С. В. ЛАУШНИК^{4*},
І. В. РАДЖАПОВА^{5*}

^{1*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта: m.i.berezovyi@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{2*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409 61 85, ел. пошта v.v.malashkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5650-1571

^{3*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 677 37 57, ел. пошта: s.v.borycheva@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-2064-6621

^{4*} Відділення «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті», Львівський фаховий коледж транспортної інфраструктури Національного університету «Львівська політехніка», вул. Снопківська, 47, м. Львів, Україна, 79011, тел. +38 (067) 788 14 34, ел. пошта: slaushnik@gmail.com, ORCID 0009-0009-3406-8576

^{5*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 335 13 65, ел. пошта: i.v.radzhapova@ust.edu.ua, ORCID 0009-0006-7085-9939

РОЗРОБКА ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕТИНУ КОРДОНУ З ЄС КОНТРЕЙЛЕРНИМИ ПОЇЗДАМИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ ЗЕРНОВОЇ ГРУПИ

Мета. Однією з проблем, що виникає при перетині сухопутного кордону з країнами ЄС залізничним чи автомобільним транспортом, при перевезенні зернових вантажів, являється необхідність здійснення фітосанітарного контролю. Він полягає у взятті проб вантажу та виконанні лабораторних аналізів. Замітнення вантажу без здійснення цієї процедури на території України неможливе. Необхідність фітосанітарної перевірки зернових вантажів після перетину кордону є вимогою законодавства країн ЄС для здійснення їх імпорту чи транзитного перевезення територією цих країн. Організація у т.ч. комбінованих перевезень зернових вантажів у міждержавному сполученні транзитом через східноєвропейські країни у напрямку морських портів безумовно є актуальною задачею. Це підтверджується перерозподілом обсягів експорту зернових зі зростанням частки цих вантажів, що прямують через західні переходи. Організація комбінованих контрейлерних перевезень обумовлена обмеженою переробною спроможністю пунктів перевантаження та пунктів перестановки вагонів на прикордонних станціях. Метою даної статті є побудова логістичного ланцюга перетину кордону контрейлерними поїздами, що слідує від станції Хирів регіональної філії «Львівська залізниця» до станції Перемишль-Баконьчице Польських державних залізниць за умови попереднього проходження фітосанітарного контролю безпосередньо на станції Хирів під контролем польської сторони. В статті також вирішується задача побудови графіку руху поїздів з узгодженням тривалості та графіка робочого часу локомотивних бригад вивізних локомотивів Польських державних залізниць станцій Медика чи Перемишль. **Методи.** Використані методи керування виробничими процесами та методи теорії розкладів. **Результати.** Розроблено послідовність та тривалість технологічних операцій, що виконуються на станції Хирів, які становлять 1,2 години за умови готовності до відправлення автомобілів у кількості, достатній для заповнення усіх платформ поїзда. Розраховано витрату локомотиво-годин для ведення контрейлерного поїзда між початковою та кінцевою станціями, яка становить 4,7 години. Встановлено, що протягом робочої зміни локомотивної бригади Польських державних залізниць тривалістю 12 год. можна обслужити два поїзди з інтервалом відправлення між ними у діапазоні 5...7 год. **Практична значимість.** Результати даної роботи можуть бути використані при розробці та побудові графіків руху контрейлерних поїздів у транскордонному русі.

Ключові слова: контрейлерний поїзд, перетин кордону, графік руху, зернові вантажі, експорт

Вступ

Проблема експорту зерна українськими аграріями залишається актуальною і питання пошуку ефективних логістичних схем перевезення вантажів зернової групи через західні сухопутні переходи у напрямку балтійських чи чорноморських морських портів є безумовно важливим.

У статті [1], що присвячена саме експорту зернових вантажів у треті країни через територію

Євросоюзу, було обґрунтовано можливу схему транспортування – контрейлерні перевезення, вибір кінцевого пункту контрейлерного маршруту на території України – станцію Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця» Акціонерного товариства «Укрзалізниця», яка має зв'язок з Польськими державними залізницями колією шириною 1435 мм.

В даній роботі запропонована контрейлерна

технологія RoLa, обрано кількість вагонів у складі контрейлерного поїзда – 20 спеціалізованих платформ та один пасажирський вагон супроводження. У якості локомотивної тяги пропонується використовувати односекційні шестивісні тепловози ST44 Польських державних залізниць. Ці тепловози є польською модифікацією тепловоза М62. При цьому маса складу становить 1311 т, а довжина поїзда з 20-ти вагонів – 425 м. Поїзди з такими характеристиками можуть слідувати до станції призначення одиночною локомотивною тягою, при цьому довжина поїзда не перевищує довжину приймально-відправних колій по маршруту слідування.

Постановка завдання дослідження

Підвищення ефективності міждержавних перевезень зернових вантажів базується на скороченні терміну та зменшенні вартості їх доставки. При цьому окрім організації самого процесу транспортування вантажу суттєвими факторами впливу на технологію його виконання є вибір місця виконання митних операцій та операцій, пов'язаних з відбором проб вантажу для виконання лабораторних досліджень з перевірки якості зерна. Такі дослідження здійснюються лабораторіями Управління фітосанітарної безпеки Головних управлінь Держпродспоживслужби, що розташовані в кожній області України.

Митне оформлення експортного вантажу можливе тільки після отримання фітосанітарного сертифікату і може бути здійснене на будь-якому митному посту на території України [3] за умови надання всіх необхідних документів для здійснення зовнішньоекономічної діяльності.

Однією з проблем логістичного ланцюга експорту зернових вантажів є необхідність відбору проб вантажу для перевірки якості зерна на території країни імпортера чи транзитної країни, якою в даному випадку являється Польща.

У цьому зв'язку завданням дослідження є пошук такої логістичної схеми перетину кордону, яка б при безумовному виконанні усіх правил здійснення міжнародних перевезень дозволила мінімізувати тривалість перетину кордону з ЄС та виконання усіх необхідних процедур.

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка логістичної схеми організації руху контрейлерних поїздів і розрахунок показників графіка їх руху від станції Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця» до станції Перемишль-Баконьчице Польських державних залізниць.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми експорту зернових вантажів, пов'язаних з російською агресією проти України, виникли через те, що традиційно експорт українського зерна здійснювався морським транспортом. Так, у 2020 році [4] через порти було експортовано 96,2 % зерна, а через сухопутні прикордонні переходи залізничним транспортом – 2,9 % та автомобільним – 0,9 %.

Через блокування українських портів відбувся перерозподіл обсягів експорту між різними видами транспорту. За дещо більший період ніж рік, – з березня 2022 р по травень 2023 року, обсяги експорту зерна через порти знизилися до 72%, а через сухопутні переходи Європейського Союзу зросли до 28%. Частка автомобільного транспорту при цьому зросла до 9%, а залізничного до 19%.

Як система зберігання так і транспортна система Європейського Союзу зіткнулися зі значними проблемами. Однак переорієнтація після закінчення військових дій зернових вантажопотоків на морські порти Чорного моря ставить під сумнів доцільність вкладання коштів європейськими інвесторами в розвиток системи зберігання та пропускної спроможності транспортної інфраструктури Європейського Союзу.

Військовий стан у комплексі з вище наведеним призвели до того, що серйозні наукові дослідження, присвячені транспортуванню зернових вантажів через західні сухопутні переходи практично відсутні, а вирішення проблем пошуку оптимальних техніко-технологічних схем експорту зерна лягло на плечі перевізників та транспортно-експедиторських компаній, прийняті рішення яких часто є ситуаційними та інтуїтивними.

Деякі питання потребують політичного рішення на рівні урядів України та країн ЄС.

Одним з таких питань є виникнення значних черг на залізничних та автомобільних прикордонних переходах України та суміжних країн Євросоюзу через необхідність здійснення фітосанітарного контролю [5]. Очікування виконання цієї процедури на даний час сягають двох тижнів. Створення електронної черги тільки частково вирішує це питання. Переговори про перенесення контролю з кордону до пунктів призначення, зокрема до портів країн Балтії, поки що результату не дали. Минулорічні домовленості з польською стороною про скасування фітосанітарних перевірок на кордоні дозволили збільшити поставки зерна через україно-польські переходи до 800 тис на місяць, однак на даний час ці перевірки на кордоні з ряду причин знову

проводяться і це вимагає пошуку нових маршрутів та схем перетину кордону. Для потенційних експортерів та перевізників прийнятним є навіть збільшення довжини шляху доставки вантажу, що компенсується зменшенням тривалості простою на кордоні в очікуванні виконання всього комплексу пов'язаних з цим формальностей.

Одним з прикладів підтримки українських експортерів зерна стало відкриття оновленої лабораторії фітосанітарного контролю, обладнання для якої було придбане за кошти урядів Німеччини, Японії та ЄС [6]. Це дозволяє прискорити передекспортний контроль зернових вантажів, але не знімає проблеми здійснення такого ж контролю після перетину кордону.

Не дивлячись на те, що технологія перетину кордону з ЄС залізничним транспортом передбачає у т.ч. заміну візків колії 1520 мм на візки колії 1435 мм на спеціалізованих пунктах перестановки, основна частка вантажопотоку між Україною та ЄС передавалась на вантажних пунктах, розташованих на суміжних територіях шляхом прямого та складського варіантів перевантаження. У даний час добова спроможність пунктів перестановки Укрзалізниці та компаній суміжних країн ЄС становить 175 вагонів на добу [7]. Вагони власності АТ «Укрзалізниця» та приватних операторів переставляються на знеособлені візки колії 1435 мм, що належать АТ «Укрзалізниця». Кількість таких візків становить приблизно 1800, що дозволяє одночасно мати в русі близько 900 українських вагонів на візках вузької колії. Потреба ж у візках колії 1435 мм залежить не тільки від добової переробної спроможності пунктів перестановки, а і від тривалості знаходження вагону на території суміжної країни. І якщо у довоєнний час ажіотажного попиту на такі візки не спостерігалось, то в даний час на візки Y25 колії 1435 мм з'явився попит саме у власників приватного рухомого складу. Деякі оператори приватного вагонного парку вже придбали комплекти візків колії 1435 мм.

Однак користуючись монопольним положенням АТ «Укрзалізниця» планує використовувати власні вагонні візки 1435 мм під перестановку тільки власних вагонів [8]. При цьому переставлені вагони з візками 1435 мм планується пропонувати українським експортерам по привабливій конкурентній вартості з метою здешевити логістику і в той же час збільшити відсоток використання вагонів АТ «Укрзалізниця».

Приватні власники зерновозів матимуть змогу надати вагонні візки колії 1435 мм АТ «Укрзалізниця» для надання послуги з перестановки вагонів, однак лише за умови технічної

можливості, яка може бути виключена через брак пропускної спроможності самих пунктів перестановки.

Деякими керівниками транспортно-експедиційних компаній таке рішення було визнане дискримінаційним та таким, що призводить до зловживання монопольним становищем [9]. Обмеження приватного парку у використанні візків колії 1435 мм додатково може призвести до збільшення загальної вартості транспортування вантажів.

Слід звернути увагу на ініціативу АТ «Укрзалізниця» з практичного відновлення інтермодальних перевезень між Україною та країнами Євросоюзу.

На підставі меморандуму між АТ «Укрзалізниця» та австрійською компанією Rail Cargo Austria (RCA), що був укладений у вересні цього року, здійснено тестовий інтермодальний рейс з Києва до Будапешта [10]. Автомобільні напівпричепи, завантажені на українські залізничні платформи на контейнерному терміналі станції Київ-Ліски були перевантажені на європейські контрейлерні платформи, надані німецьким оператором VTG.

Однак суттєвим недоліком такої технології є збільшення вартості вантажних операцій через необхідність використання «вертикального» кранового варіанту перевантаження на всіх трьох терміналах – у Києві, Чопі та кінцевому пункті призначення – Будапешті. До переваг слід віднести те, що така схема перевезень відноситься до несупроводжуваних і дає можливість знизити експлуатаційні витрати, пов'язані з перевезенням водіїв у вагоні супроводження та оплати їх праці, а також з можливістю використання автомобільних тягачів в іншій роботі.

Ефективність використання контрейлерних технологій, наведених в [1, 10] залежить від значної кількості факторів, а їх застосування в кожному конкретному випадку потребує індивідуального обґрунтування.

Основний матеріал дослідження

Технологія обігу контрейлерних поїздів між станціями Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця» та Перемишль-Баконьчице Польських державних залізниць

В даній статті не розглядається технологія перевезення контрейлерних поїздів в обох напрямках між станцією Перемишль-Баконьчице та кінцевим пунктом призначення.

Технологія обігу контрейлерного поїзда між станціями Хирів та Перемишль-Баконьчице має забезпечувати ефективне використання вагонів

та локомотивів. У цьому зв'язку в роботі прийнято наступні умови та обмеження.

1. Прийнято, що на станцію Хирів поїзд із-за кордону прибуває завантажений порожніми автопоїздами, після їх викочування з платформ та накочування завантажених автопоїздів состав відправляється.

2. Так як рух між вказаними вище станціями здійснюється коліями шириною 1435 мм – в роботі прийнято, що у поїзному русі на даній ділянці, як уже було сказано раніше, використовуються тепловози ST44 Польських державних залізниць.

3. На митному пункті «Хирів» в очікуванні прибуття поїзда в наявності є готові до накочування автопоїзди, кількість яких достатня для завантаження усіх платформ контрейлерного поїзда. В протилежному випадку, при неповному завантаженні поїзда, вартість перевезення одного автопоїзда буде зростати, що призведе до зниження ефективності перевезень і поставить під сумнів можливість використання такої технології.

4. Прикордонний огляд поїздів як при русі з України в Польщу, так і в зворотному напрямку, здійснюється на станції Нижанковичі Регіональної філії «Львівська залізниця».

5. Операції із взяття проб вантажу та видача результатів лабораторних аналізів здійснюється пересувною лабораторією, розташованою безпосередньо на станції Хирів. Контроль результатів лабораторних аналізів має здійснюватися представниками відповідних структур Республіки Польща, у протилежному випадку, при

необхідності повторення процедури встановлення якості зерна після перетину кордону – передбачити послідовність та тривалість виконання цих операцій не уявляється можливим.

Митне оформлення вантажів здійснюється після отримання результатів лабораторних аналізів на митному пункті «Хирів».

Розміщення пристроїв для виконання вантажних операцій

Вантажні операції (викочування автопоїздів з поїзда та накочування автопоїздів на поїзд) доцільно здійснювати на колії №3 шириною 1435 мм парку Хирів-Посада, що має корисну довжину 710 м.

Накочування та викочування автопоїздів на залізничні платформи RoLa необхідно виконувати тільки при встановленні поїзда на прямій ділянці колії. З боку підходу зі станції Нижанковичі частина колії знаходиться в кривій. Прямий ділянка колії в межах корисної довжини становить приблизно 475 м, що достатньо для встановлення поїзда (рис. 1).

Довжина поїзда при довжині поїзного локомотива $l_{лок}=17,5$ м, довжині платформи типу RoLa $l_{пл}=19,0$ м та довжині пасажирського вагону $l_{пас}=26,4$ м становить

$$L = l_{лок} + l_{пас} + n_{пл} l_{пл} = 17,5 + 20 \cdot 19,0 + 26,4 = 423,9 \text{ м.} \quad (1)$$

Мінімальна відстань між площадками для заїзду та виїзду автомобілів на платформи поїзда має відповідати мінімальній кількості вагонів у составі.

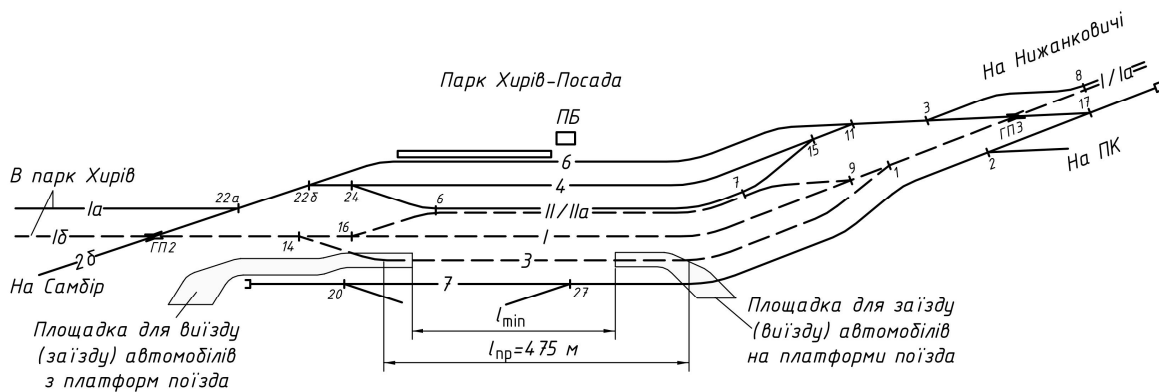


Рис. 1. Схема розміщення пристроїв для виконання вантажних операцій на коліях парку Хирів-Посада

Технологія виконання вантажних операцій

Після прибуття поїзда на станцію Хирів здійснюється закріплення составу, висаджування водіїв з вагону прикриття та прибирання поїзного локомотива з вагоном прикриття з колії прибуття №3 на головну колію №1б.

У залежності від розстановки автомобілів на платформах – кабінами по напрямку прибуття чи навпаки, автовантажувач спочатку встановлює пересувну рампу для викочування автопоїздів, що знаходяться на платформах в голові составу чи у хвості составу. Так як розстановка автопоїздів відома заздалегідь, то навантажувач

знаходиться в потрібній частині площадки – зі сторони викочування автопоїздів.

Після цього автонавантажувач пересувається в протилежну частину поїзда та встановлює пересувну рампу для накочування автопоїздів на платформи.

Технологія маневрів з постановки локомотива та вагону супроводження в состав, що буде слідувати за кордон і розроблена на підставі технологічного процесу [11] та технічно-розпорядчого акту [12] станції Хирів, наступна.

З головної колії №16 пасажирський вагон осаджується на суміщену колію №II/IIa та закріплюється. Поїзний локомотив через колію №I обгонить через непарну горловину парку Хирів-Посада на колію №II/IIa і причіпляється до пасажирського вагону прикриття. Після цього локомотив з вагоном переставляється на колію №3 з боку станції Нижанковичі до зони руху автопоїздів, яка огорожується переносним сигналом. В залежності від оперативної обстановки для обгону локомотива може бути використана

колія №II/IIa.

Автонавантажувач після постановки пересувної рампи для накочування автопоїздів переміщується в протилежну сторону составу та по готовності прибирає пересувну рампу і переміщується в протилежну частину составу. Після накочування останнього автопоїзда на платформу прибирається друга пересувна рампа та під состав подається поїзний локомотив з вагоном прикриття. Далі здійснюється повне випробування автогальм, вилучення гальмових башмаків та контроль правильності кріплення автопоїздів. По готовності та згідно графіку здійснюється відправлення составу.

Розрахунок тривалості знаходження поїзда на станції Хирів

На рисунку 2 наведено технологічний графік виконання операцій з контрейлерним поїздом на станції Хирів за умови, що автопоїзди розташовані кабінами у напрямку прибуття поїзда та накочування автопоїздів здійснюється у тому ж напрямку.

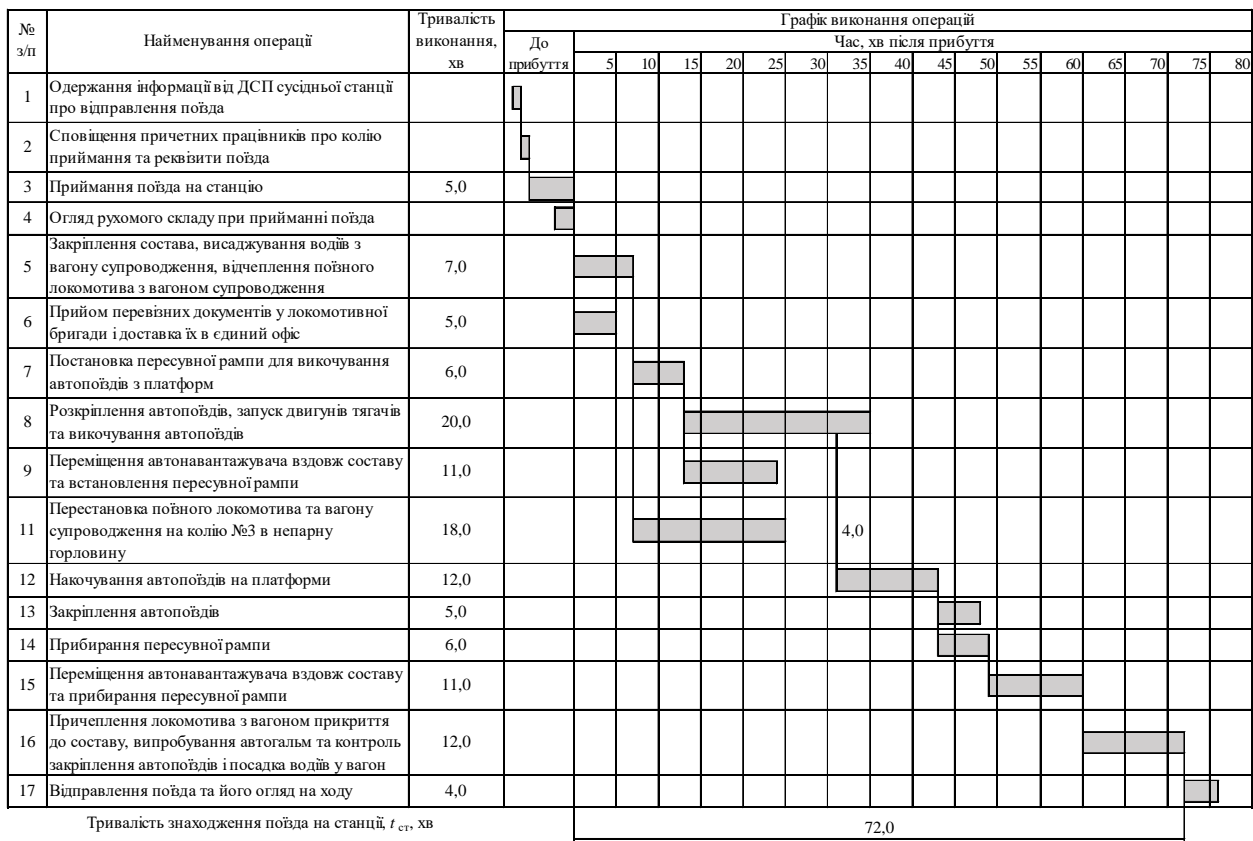


Рис. 2. Технологічний графік виконання операцій з контрейлерним поїздом на станції Хирів

Накочування автопоїздів на платформи починається після рушання в бік з'їзду з платформ останнього автомобіля та отримання дозволу водіями здійснювати накочування автопоїздів на платформи. Рух автопоїздів по залізничним платформам здійснюється зі швидкістю 3 км/год.

Тривалість руху останнього автомобіля, що викочується з платформ та першого, що накочується на платформи становить приблизно 8 хв. Умовно прийнято, що накочування автопоїздів починається при проїзді останнім автомобілем половини довжини залізничного составу.

Таким чином, тривалість знаходження поїзда на станції Хирів становить $t_{стX}=1,2$ год. В подальших розрахунках ця тривалість прийнята рівною 80хв або 1,33 год з урахуванням закладання резерву на рівні 10%.

Розрахунок витрат локомотиво-годин на перевезення контрейлерного поїзда між станціями Перемишль-Баконьчице та Хирів

Загальна протяжність дільниці між станціями Перемишль-Баконьчице та Хирів становить 37 км, довжина дільниці Перемишль-Баконьчице – Нижанковичі становить $S_{П-Н}=13$ км, дільниці Нижанковичі – Хирів до парку Хирів-Посада – $S_{Н-Х}=24$ км. На першій ділянці укладена колія 1435 мм, на другій ділянці – суміщена колія 1520/1435 мм.

Ходова швидкість між станціями Хирів та Перемишль-Баконьчице прийнята рівною $V_X=50$ км/год. Обмеження при русі територією України пов'язані зі станом колій; обмеження при русі територією Польщі прийняті умовно. Таким чином, тривалість руху по ділянках становитиме

$$t_{Н-Х} = \frac{S_{Н-Х}}{V_{Н-Х}} = \frac{24}{50} = 0,48 \text{ год.}$$

$$t_{П-Н} = \frac{S_{П-Н}}{V_{П-Н}} = \frac{13}{50} = 0,26 \text{ год.}$$

На станції Нижанковичі при русі контрейлерних поїздів в обох напрямках передбачається стоянка тривалістю $t_{корд}=40$ хв (0,67 год) для огляду поїзда прикордонною службою.

Загальні витрати локомотиво-годин на перевезення одного контрейлерного поїзда між станціями Перемишль-Баконьчице та Хирів розраховуються за формулою і становлять:

$$T_{л-г} = t_{поч} + 2t_{П-Н} + 2t_{корд} + 2t_{Н-Х} + t_{стX} = 0,5 + 2 \cdot 0,26 + 2 \cdot 0,67 + 2 \cdot 0,48 + 1,33 + 0,5 = 4,7 \text{ год.}$$

З урахуванням резерву на рівні 10% витрату локомотиво-годин на обслуговування одного контрейлерного поїзда слід планувати на рівні 5,2 год.

Контрейлерні поїзди на даній ділянці, як уже було сказано раніше, обслуговуються польськими локомотивами і локомотивними бригадами. Професійна підготовка працівників локомотивних бригад та організація їх технічного навчання, організація вивчення нормативних документів, необхідних для роботи на суміжній території, повинна здійснюватися на підставі законодавчих, нормативних, галузевих документів, що діють на території держави приписки

локомотивних бригад. Порядок допуску до роботи працівників локомотивних бригад на розглянутій ділянці повинен визначатися на підставі двосторонньої угоди між суміжними залізничними адміністраціями на основі законодавчих та нормативних документів. Кількість таких локомотивних бригад є обмеженою, а режим їх роботи може бути змінним з постійною тривалістю робочої зміни.

При побудові графіка руху поїздів від станції Перемишль-Баконьчице до станції Хирів та в зворотному напрямку прийнято, що тривалість перезмін локомотивних бригад становить 30 хв двічі на добу в проміжки часу 07^{45} - 08^{15} та 19^{45} - 20^{15} , а режим роботи локомотивів та локомотивних бригад двозмінний з тривалістю зміни 12 годин.

В подальших розрахунках прийнято, що тривалість початкових операцій – подавання вивізного поїзного локомотива під состав контрейлерного поїзда та випробування автогальм становить $t_{поч}=30$ хв (0,5 год), тобто найбільш ранній момент відправлення поїзда зі станції Перемишль-Баконьчице після перезміни – 08^{45} або 20^{45} . З урахуванням тривалості заключних операцій – закріплення составу та відчеплення локомотива і його подавання на пункт перезміни тривалістю $t_{зак}=30$ хв (0,5 год) найбільш пізній момент прибуття поїзда на станцію Перемишль-Баконьчице до перезміни становить 07^{15} або 19^{15} .

При відправленні одного составу на добу робота графіку руху контрейлерного поїзда достатньо проста і передбачає лише врахування обмежень, наведених вище.

При рівномірному графіку руху контрейлерних поїздів, кількість яких протягом доби два та більше, інтервал між ними розраховується за формулою:

$$I_{від} = \frac{24}{n}, \quad (2)$$

де n – кількість контрейлерних поїздів, що відправляються зі станції Хирів протягом доби.

При обсягу перевезень, що відповідає трьом контрейлерним поїздам найбільш раннє відправлення поїзда зі станції Перемишль-Баконьчице – $T_{від1}=08^{45}$. Відправлення наступного поїзда при рівномірному русі поїздів необхідно здійснити о $T_{від2}=16^{45}$. При цьому момент повернення поїзда на станцію Перемишль-Баконьчице становить

$$T_{пов} = T_{від1} + T_{л-г} = 16^{45} + 4 \text{ год } 40 \text{ хв} = 21 \text{ год } 25 \text{ хв.}$$

У цьому випадку неможливе використання одного локомотива для ведення двох поїздів протягом робочої зміни так як її тривалість перевищуватиме максимальну дозволена. При рівномірному графіку руху використання вивізних локомотивів з позмінним режимом роботи не уявляється можливим і для ведення таких поїздів необхідно використовувати локомотиви, що працюють не позмінно, а за іншим розкладом.

Виходом з такої ситуації є розробка розкладу руху поїздів, який би передбачав здійснення

перезмін у встановлені проміжки часу та максимальну тривалість робочої зміни локомотивної бригади 12 годин. Тривалість перечеплення локомотива на станції Перемишль-Баконьчице між составом поїзда, що слідує з України та составом поїзда, що слідує в Україну прийнята рівною 1,0 години

На рисунку 3 у якості прикладу наведено графік руху контрейлерних поїздів між станціями Перемишль-Баконьчице та Хирів при добовому обсягу перевезень, що відповідає трьом поїздам.

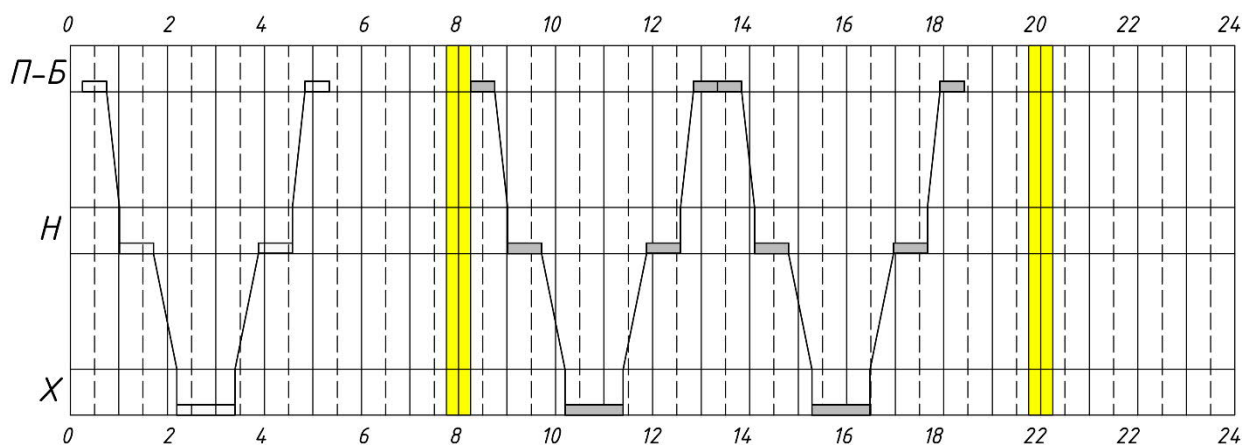


Рис. 3. Графік руху контрейлерних поїздів між станціями Перемишль-Баконьчице та Хирів

Розклад руху поїздів наведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Розклад руху поїздів між станціями Хирів та Перемишль-Баконьчице

Роздільний пункт	Прибуття	Стоянка	Відправлення
Перемишль-Баконьчице	–	–	04 ⁴⁵
Нижанковичі	01 ⁰¹	40	01 ⁴¹
Хирів	02 ¹⁰	72	03 ²²
Нижанковичі	03 ⁵¹	40	04 ³¹
Перемишль-Баконьчице	04 ⁴⁷	–	08 ⁴⁵
Нижанковичі	09 ⁰¹	40	09 ⁴¹
Хирів	10 ¹⁰	72	11 ²²
Нижанковичі	11 ⁵¹	40	12 ³¹
Перемишль-Баконьчице	12 ⁴⁷	–	13 ⁴⁷
Нижанковичі	14 ⁰³	40	14 ⁴³
Хирів	15 ¹²	72	16 ²⁴
Нижанковичі	16 ⁵³	40	17 ³³
Перемишль-Баконьчице	17 ⁴⁸	–	–

Таким чином, в денну зміну одним вивізним локомотивом можна перевезти два контрейлерні поїзди з інтервалом відправлення між ними 5 год. 1 хв. При цьому прибуття другого поїзда на станцію Перемишль-Баконьчице становить 17 год. 48 хв., тобто до перезміни залишається резерв часу майже у 2 години. Цей резерв може бути використаний як резерв складових графіка руху поїздів, а також як резерв збільшення інтервалу між поїздами до 7 годин. Нічний поїзд (в табл. 1 виділено заливкою) обслуговується іншою локомотивною бригадою.

Висновки

У результаті досліджень з побудови логістичної схеми перетину кордону контрейлерними поїздами встановлено наступне.

1. Проходження фітосанітарного контролю необхідно здійснювати на території України безпосередньо на митному пункті під контролем та за участю польської сторони. Збільшення витрат, пов'язаних з залученням польських спеціалістів, може бути компенсоване загальним зниженням транспортних витрат у логістичному ланцюзі доставки.

2. Тривалість операцій з викочування та накочування автомобілів на станції Хирів

становить 72 хв, а локомотиво-години на перевезення одного контрейлерного поїзда між станціями Перемишль-Баконьчице та Хирів становлять 4,7 години.

3. При кількості поїздів, що відправляються зі станції Хирів протягом доби 3 та більше за одну зміну роботи локомотивної бригади Польських державних залізниць можна обслужити два поїзди з інтервалом між ними у діапазоні 5...7 год.

4. Дана технологія може бути використана при побудові та розробці рекомендацій з побудови реальних графіків руху контрейлерних поїздів у транскордонному русі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Березовий М. І., Болжеларський Я. В., Гревцов С. В., Боричева С. В. Аналіз логістичних ризиків перевезення вантажів зернової групи в європейські порти з використанням контрейлерної технології. *Транспортні системи і технології перевезень*. 2023. №25. С.60–69.

2. Головне управління Держпродспоживслужби в Дніпропетровській області - Перевірка якості зерна: основні показники якості. *Головна | Головне управління Держпродспоживслужби в Дніпропетровській області*. URL: <https://dp.dpss.gov.ua/news/perevirka-iakosti-zerna-osnovni-pokaznyky-iakosti> (дата звернення: 06.11.2023).

3. Митний кодекс України : Кодекс України від 13.03.2012 р. № 4495-VI : станом на 17 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-7#Text> (дата звернення: 06.11.2023).

4. V. Malashkin, M. Berezovyi, R. Korobiova. Introduction of Bimodal Technologies for Transportation of Grain Cargoes. *Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference. KTU*.

5. Українські експортери очікують від Польщі прискорення транзиту зерна. *GrainTrade UA* -

електронна зернова біржа України. URL: <https://graintrade.com.ua/novosti/ukrainski-eksporteri-ochikuyut-vid-polshi-priskorennya-tranzituzerna.html> (дата звернення: 06.11.2023).

6. Україна та Німеччина відкрили оновлені лабораторії для передекспортного тестування | Ukrainian Shipping Magazine – *Новости судоходства Украины и мира. Ukrainian Shipping Magazine – Новости судоходства Украины и мира*. URL: <https://usm.media/vidkrili-onovleni-laboratorii-dlya-peredeksportnogo-testuvannya/> (дата звернення: 06.11.2023).

7. УЗ рассказала о возможностях перестановки вагонов на евроколею. *Railway Supply*. URL: <https://www.railway.supply/uz-rasskazala-o-vozmozhnostyah-perestanovki-vagonov-na-evrokoleyu/> (дата звернення: 06.11.2023).

8. Валерій Ткачов пояснив позицію УЗ щодо використання вагонних візків колії 1435 мм власності УЗ. *Railway Supply*. URL: <https://www.railway.supply/uk/valerij-tkachov-poyasniv-pozicziyu-uz-shhodo-vikoristannya-vagonnih-vizkiv-kolii-1435-mm-vlasnosti-uz/> (дата звернення: 06.11.2023).

9. Ініціатива УЗ щодо візків для перестановки приватних вагонів дискримінаційна?. *Railway Supply*. URL: <https://www.railway.supply/uk/iniczi-ativa-uz-shhodo-vizkiv-dlya-perestanovki-privatnih-vagoniv-diskriminacziyna/> (дата звернення: 13.11.2023).

10. Тестовий інтермодальний рейс з Києва до Будапешта. *Railway Supply*. URL: <https://www.railway.supply/uk/testovij-intermodalnij-rejs-z-kieva-do-budapeshta/> (дата звернення: 06.11.2023).

11. Технологічний процес роботи станції Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця». Львів : ПАТ «Укр. Залізниця», 2021. 69 с.

12. Технічно-розпорядчий акт станції Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця». Львів : ПАТ «Укр. Залізниця», 2021. 156 с.

Надійшла до редколегії 25.10.2023.

Прийнята до друку 06.11.2023.

M. BEREZOVIYI, V. MALASHKIN, S. BORYCHEVA, S. LAUSHNIK, I. RADZHAPOVA

DEVELOPMENT OF A LOGISTICS SCHEME FOR CROSSING THE BORDER WITH THE EU BY TRAILER TRAINS WHEN TRANSPORTING GRAIN GROUP LOADS

Purpose. One of the problems that arises when crossing the land border with the EU countries by rail or road, when transporting grain cargo, is the need for phytosanitary control. It involves taking samples of cargo and performing laboratory analyzes. Customs clearance of cargo without this procedure is impossible in Ukraine. The need for phytosanitary inspection of grain cargo after crossing the border is a requirement of EU legislation for import or transit through the territory of these countries. The organization of combined transportation of grain cargo in interstate traffic in transit through Eastern European countries towards seaports is certainly an urgent task. This is confirmed by the redistribution of grain exports with an increasing share of these cargoes moving through western crossings. The organization of combined containerized transportation is conditioned by the limited processing capacity of transshipment points and railcar change points at border stations. The purpose of this article is to build a logistics chain for crossing the border by container trains running from Khyriv station of the regional branch of Lviv Railway to Przemysl-Bakonczyce station of Polish State Railways, subject to preliminary phytosanitary control directly at Khyriv

station under the control of the Polish side. The article also solves the problem of building a train schedule with the coordination of the duration and schedule of working hours of the locomotive crews of the freight locomotives of the Polish State Railways at Medyka or Przemyśl stations. **Methods.** Methods of production process control and methods of schedule theory were used. **Findings.** The sequence and duration of technological operations performed at the Khyriv station, which are 1.2 hours, provided that cars are ready for departure in an amount sufficient to fill all train platforms, have been developed. The consumption of locomotive hours for running a counter-railer train between the initial and final stations is calculated, which is 4.7 hours. It is established that during a 12-hour work shift of the locomotive crew of Polish State Railways, two trains can be serviced with a departure interval between them in the range of 5...7 hours. **Practical value.** The results of this work can be used in the development and construction of schedules for the movement of container trains in cross-border traffic.

Keywords: container train, border crossing, schedule, grain cargo, export

УДК 656.135.8:656.3

А. С. ДОРОШ^{1*}, Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{2*}, Д. В. ХИЛЬКЕВИЧ^{3*}, Н. Ю. БЕРУН^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні вузли», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 927 84 62, ел. пошта: a.s.dorosh@ust.edu.ua, ORCID-0000-0002-5393-0004

^{2*}Каф. «Транспортні вузли», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75, ел. пошта: e.b.demchenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-1411-6744

^{3*}ТОВ «Метінвест Січсталь», Південне шосе, 74, Запоріжжя, Україна, 69008, тел. +38 (067) 633 68 74, ел. пошта: dmitriy.khilkevich@metinvestholding.com, ORCID 0009-0006-5738-7041

^{4*}ТОВ «ЮНАЙТЕД ГЛОБАЛ ЛОДЖИСТИК», вул. Радистів, 5, Дніпро, Україна, 49023, тел. +38 (050) 361 20 45, ел. пошта: n.berun@ugl.com.ua, ORCID 0009-0001-9169-8920

ТРАНСПОРТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. Одним з можливих шляхів підвищення ефективності та екологічності металургії є переробка та повторне використання у виробництві у якості сировини залізовмісних пиловидних відходів. При цьому невід'ємною складовою такого рециклінгу відходів є транспортування залізовмісного пилу від джерел утворення до ділянок гранулювання, де здійснюється його переробка. В той же час існуючі технологічні рішення з транспортування пилу характеризуються значним пилоутворенням як під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, так і в процесі перевезення. В цьому зв'язку в роботі розглянуто технологічні схеми безпилового транспортування пиловидних відходів з використанням танк-контейнерів. **Методика.** Під час виконання дослідження використані методи геопросторового аналізу маршрутів перевезення з урахуванням габаритно-вагових обмежень, методи планування роботи автотранспорту на маршрутах, методи теорії маневрової роботи на залізничному транспорті. **Результати.** В роботі на прикладні одного з металургійних підприємств представлено методику визначення потрібного парку транспортних засобів та основних техніко-технологічних параметрів схем доставки залізовмісного пилу в танк-контейнерах автомобільним та залізничним транспортом. **Наукова новизна.** Отримані результати досліджень параметрів транспортного процесу дозволяють виконати наукове та економічне обґрунтування вибору технологічної схеми перевезень пиловидних відходів. **Практична значимість.** Представлені технологічні схеми можуть бути використані в якості рішень з транспортного забезпечення рециклінгу залізовмісних пиловидних відходів металургійного виробництва.

Ключові слова: рециклінг, залізовмісні відходи, промисловий транспорт, танк-контейнер

Вступ

Інтеграція України у світову економіку нерозривно пов'язана з модернізацією її промисловості з метою приведення показників виробництва до міжнародних вимог [1]. Для вирішення вказаної проблеми більшість металургійних підприємств України розпочали роботи з встановлення (модернізації) систем фільтрації та очистки газів, що дозволить підвищити ефективність вловлювання залізовмісного пилу та забезпечити його рециклінг [2].

Головними джерелами викидів залізовмісного пилу є агломераційні машини, доменні та сталеплавильні печі. Після вловлювання фільтрами пилоподібні залізовмісні відходи (ЗВВ) накопичується в бункерах, звідки виконується їх доставка на ділянку гранулювання (ДГ) для подальшої переробки.

Як показав аналіз, в теперішній час транспортування ЗВВ відбувається, головним чином,

вагонами-хоперами або автомобілями-самоскидами; при цьому процес навантаження-вивантаження пилу з вказаного рухомого складу також характеризується значним пилоутворенням, що знижує ефективність рециклінгу та негативно впливає на екологічний стан.

Постановка задачі

Одним з можливих шляхів вирішення проблеми безпилового транспортування ЗВВ є використання герметичних танк-контейнерів (ТК). При цьому вказана транспортна одиниця є універсальною та дозволяє в залежності від місцевих умов обирати схему перевезення ЗВВ з використанням як залізничних платформ, так і автомобілів. Для оцінки ефективності такої технології в роботі на прикладі одного з металургійних підприємств України виконані дослідження основних параметрів процесу доставки ЗВВ у ТК залізничним та автомобільним транспортом.

Характеристика об'єкта обслуговування

Вловлювання і накопичення ЗВВ відбувається в 27 джерелах, які територіально сконцентровані в чотирьох різних районах досліджуваного металургійного підприємства, а ДГ розташовується поруч з районом № 1. При цьому існуюча виробнича і транспортна інфраструктура підприємства дозволяє здійснювати перевезення ЗВВ від всіх джерел районів №№ 1-3 виключно автомобільним транспортом, а перевезення відходів з району № 4 передбачає комбіноване залізнично-автомобільне сполучення (див. рис. 1).

Визначення параметрів автомобільної доставки

Автомобільна доставка ЗВВ здійснюється з використанням найманих автотранспортних засобів (АТЗ) у складі двовісного сидельного тягача і напівпричепа-контейнеровоза. При цьому передбачається, що рух завантажених АТЗ буде здійснюватися не лише внутрішніми дорогами підприємства, а і вулично-дорожньою мережею міста. Тому при розробці маршрутів руху АТЗ було враховано обмеження, введені місцевою владою, вагові обмеження на рух через штучні споруди (мости, шляхопроводи), а для виявлення забороняючих дорожніх знаків були використані відкриті геоінформаційні системи. В результаті розробки маршрутів були визначені відстані перевезення з кожного району навантаження до ДГ (див. табл. 1).

Потрібний робочий парк АТЗ для забезпечення перевезення добових обсягів ЗВВ від i -го джерела може бути визначено як

$$A_p = \frac{Q_i^A}{W_i} \quad (1)$$

де Q_i^A – добовий обсяг перевезень відходів, т;
 W_i – добова продуктивність АТЗ під час перевезення ЗВВ від i -го джерела, т.

Слід відмітити, що при перевезенні ЗВВ вантажні автомобілі працюють без відчеплення напівпричепа, в такому випадку їх добова продуктивність може бути визначена за формулою

$$W_i = N_{із} Q_H^{авт} \quad (2)$$

де $N_{із}$ – кількість їздок АТЗ за добу;
 $Q_H^{авт}$ – маса нетто вантажу, що перевозиться АТЗ за одну їзду, т.

Кількість їздок АТЗ може бути визначена за формулою:

$$N_{із} = \frac{TK_B}{\theta_{атз} K_H} \quad (3)$$

де T – добовий фонд робочого часу. Прийнято рівним $T = 24$ год;

K_B – коефіцієнт використання АТЗ на лінії, що враховує нульові пробіги, регламентовані перерви, втрати часу з організаційних причин, простої в черзі на розвантаження. Прийнято рівним $K = 0,7$ [3];

$\theta_{атз}$ – оборот АТЗ, год;

K_H – коефіцієнт нерівномірності перевезень, що враховує подовження часу їздки з вантажем (нічні зміни, періоди інтенсивного руху). Прийнято рівним $K_H = 1,2$ [3].

Оборотом АТЗ є проміжок часу від моменту початку одного навантаження до моменту початку наступного навантаження. Таким чином, тривалість обороту може бути визначена як:

$$\theta_{атз} = t_n + \frac{2l}{V} + t_B \quad (4)$$

де t_n – тривалість навантаження танк-контейнера, год;

l – відстань від пункту навантаження до пункту вивантаження, км;

V – середня технічна швидкість на маршруті, км/год. Прийнята рівною $V = 20$ км/год [3];

t_B – тривалість вивантаження танк-контейнера, год.

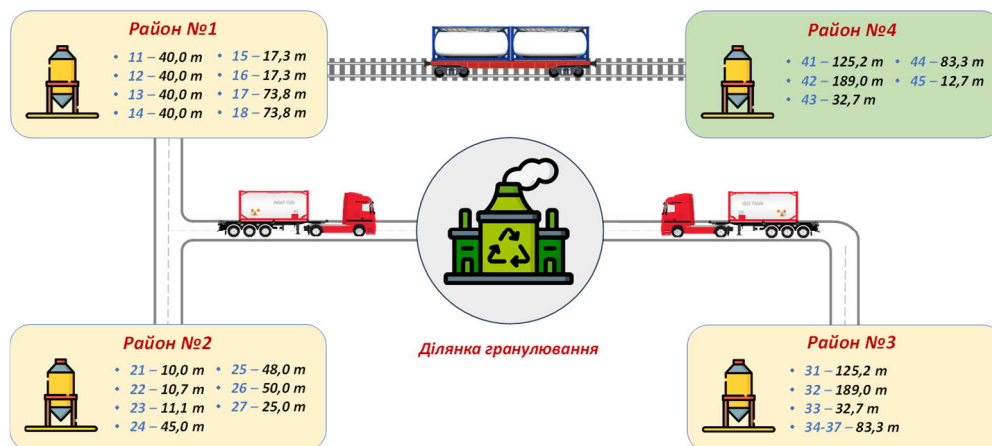


Рис. 1. Схема обслуговування районів підприємства та добові обсяги навантаження ЗВВ

Тривалість навантаження танк-контейнера визначається за формулою

$$t_H = \frac{Q_B}{\alpha V_H} \quad (5)$$

де V_H – швидкість навантаження з бункера, м³/год.

Вивантаження танк-контейнера здійснюється за допомогою пневматичної установки, а її тривалість прийнята рівною $t_B = 0,33$ год.

Маса нетто вантажу, що перевозиться за одну їздку, визначається з урахуванням габаритно-вагових норм (ГВН), що встановлені Правилами дорожнього руху України [4], та місткості ТК

$$Q_H^{авт} = \min(Q_{бр}^{ГВН} - q_{ТК}; Q_B^{міст}) \quad (6)$$

де $Q_{бр}^{ГВН}$ – маса бруто ТК за умови додержання ГВН, т;

$q_{ТК}$ – маса тари ТК, т;

$Q_B^{міст}$ – маса нетто вантажу за умови використання корисного об'єму ТК, т

$$Q_B^{міст} = \alpha V_{ТК}^{max} f 10^{-3} \quad (7)$$

де α – об'ємна маса ЗВВ, т/м³;

$V_{ТК}^{max}$ – максимальна місткість цистерни ТК, $V_{ТК}^{max} = 21\ 000$ л;

f – ступінь заповнення ТК. Згідно з [5] прийнято $f = 95\ %$.

Оскільки об'ємна маса ЗВВ для деяких джерел відрізняється, то маса вантажу $Q_B^{міст}$ буде розрахована для кожного з них.

Відомо, що рух АТЗ дозволяється у разі, коли їх зовнішні габарити, фактична маса та навантаження на осі не перевищують значень, встановлених в [4]. Таким чином, маса бруто ТК з урахуванням цих обмежень може бути визначена як

$$Q_{бр}^{ГВН} = \min(Q_{фм}^{атз}, Q_{вісь}^T, Q_{вісь}^{нп}) \quad (8)$$

де $Q_{фм}^{атз}$ – маса вантажу, що обмежується допустимою фактичною масою АТЗ, т;

$Q_{вісь}^T$ – маса вантажу, що обмежується допустимим навантаженням на задню (тягову) вісь автомобільного тягача, т;

$Q_{вісь}^{нп}$ – маса вантажу, що обмежується допустимим навантаженням на вісь напівпричепи, т.

Враховуючи структуру АТЗ, що використовується для перевезення ЗВВ, та вимоги [4, п. 22.5] для розрахунку маси вантажу $Q_B^{ГВН}$ було прийнято такі вагові обмеження:

- дозволена фактична маса АТЗ $G_{атз} = 44,0$ т;
- допустиме навантаження на одиночну вісь АТЗ $P_2 = 11,5$ т;

- допустиме навантаження на строєну вісь АТЗ $P_3 = 24,0$ т.

Маса вантажу бруто з урахуванням

обмежень допустимої фактичної маси АТЗ визначається як

$$Q_{фм}^{атз} = G_{атз} - m_1 - m_2 - m_3 - m_c \quad (9)$$

де m_1, m_2 – маса спорядженого тягача, що припадає на його передню та задню (тягову) осі відповідно, т. Фактично сума m_1 та m_2 дорівнює спорядженій масі тягача G_T .

m_3, m_c – маса порожнього напівпричепи, що приходить на його строєну вісь та сидельно-зчпний пристрій (СЗП) тягача відповідно, т. Аналогічно, сума m_3 та m_c дорівнює масі тари порожнього напівпричепи $G_{нп}$.

Таким чином, маса вантажу з урахуванням дозволеної фактичної маси АТЗ може бути визначена як

$$Q_{фм}^{атз} = G_{атз} - G_T - G_{нп} \quad (10)$$

Маса вантажу, з урахуванням обмеження навантаження на задню (тягову) вісь тягача визначається як [6]

$$Q_{вісь}^T = \left(\frac{(P_2 - m_2)L}{h} - m_c \right) \frac{s}{s - z} \quad (11)$$

де L – колісна база сидельного тягача, мм;

h – відстань від передньої осі тягача до СЗП,

мм;

S – відстань від СЗП до середини візка напівпричепи, мм;

Z – відстань від СЗП до центру тяжіння вантажу в напівпричепі, мм.

Маса вантажу, з урахуванням обмеження навантаження на строєну вісь напівпричепи визначається за формулою [6]

$$Q_{вісь}^{нп} = \frac{(P_3 - m_3)S}{z} \quad (12)$$

Використовуючи формули (10)-(12), технічні характеристики автомобільного тягача та напівпричепи визначено масу вантажу за кожним із обмежень, а схема і результати розрахунку наведені на рисунку 2.

Отже, маса вантажу бруто (включаючи масу тари ТК), що може бути перевезена автомобільним транспортом з додержанням вимог ГВН, становить

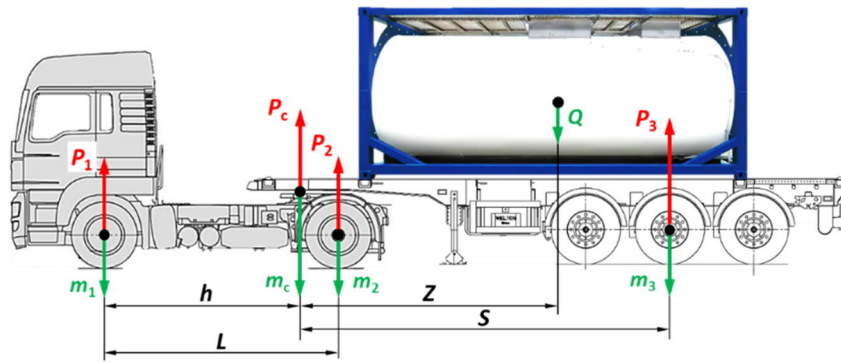
$$Q_{бр}^{ГВН} = \min(31,6; 30,52; 29,87) = 29,87 \text{ т}$$

і обмежується навантаженням на строєну вісь напівпричепи P_3 .

Загальний робочий парк АТЗ в районах №№ 2-3 визначається як сума їх кількості за маршрутами перевезення:

$$A_p = \sum_{i=1}^n A_{pi} \quad (13)$$

де n – кількість джерел навантаження району.



$$Q_{\text{фм}}^{\text{АТЗ}} = 44 - 7,7 - 4,7 = 31,6 \text{ т}, \quad Q_{\text{вісь}}^{\text{Т}} = \left(\frac{(11,5 - 2,47) \cdot 3600}{3015} - 0,94 \right) \cdot \frac{5750}{5750 - 3896} = 30,52 \text{ т}, \quad Q_{\text{вісь}}^{\text{НП}} = \frac{(24 - 3,76) \cdot 5750}{3896} = 29,87 \text{ т}$$

Рис. 2. Схема розрахунку маси вантажу

Враховуючи, що вантажні автомобілі району № 1, окрім обслуговування джерел цього району, здійснюють ще і перевезення ТК від пункту перестановки до ДГ за змішаною залізнично-автомобільною схемою, то їх робочий парк визначається як

$$A_p = \sum_{i=1}^n A_{p_i} + A_p^{\text{ЗМ}} \quad (14)$$

де $A_p^{\text{ЗМ}}$ – робочий парк АТЗ за змішаною схемою, од.

Інвентарний робочий парк транспортних або оборотних вантажних засобів (танк-контейнерів), враховує парк засобів, що перебувають на технічному обслуговуванні та в ремонті, і визначається за формулою

$$N_{\text{інв}} = K_{\text{ТГ}} N_p \quad (15)$$

де $K_{\text{ТГ}}$ – коефіцієнт технічної готовності парку. Приймається згідно з [3].

Оскільки автомобільні перевезення ЗВВ виконуються на умовах аутсорсингу, то інвентарний парк вантажних автомобілів не визначається. Результати розрахунку робочого парку АТЗ представлені в табл. 1.

Визначення параметрів залізничної доставки

Перевезення ЗВВ від джерел 41-45, розташованих в районі № 4, виконується в декілька етапів внутрішнім залізничним транспортом підприємства та найманими АТЗ за наступною схемою. ТК встановлюються на залізничні фітингові платформи, що подаються під навантаження ЗВВ. Після завантаження ТК фітингові платформи переставляються на станцію відправлення і причіплюються окремою групою до складу порожньої агловертушки. Далі у складі вертушки платформи слідує до пункту перестановки (ПП), розташованого в районі № 1. В ПП контейнери перевантажуються з вагонів на АТЗ, що

здійснюють їх подальшу доставку до ДГ. Вивантаження ТК здійснюється без їх знімання з автомобільних напівпричепів, після чого порожні ТК повертаються автомобільним транспортом до ПП, де вони переставляються на фітингові платформи. Фітингові платформи з порожніми ТК причіплюються окремою групою до завантаженої агловертушки, в складі якої вони прямують в район № 4.

Добова кількість ТК, що завантажуються в районі № 4, може бути визначена за формулою

$$U = \left[\frac{Q_{\text{н}}^{\text{А}}}{Q_{\text{н}}^{\text{зал}}} \right] \quad (16)$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{зал}}$ – маса нетто вантажу, що перевозиться залізничним транспортом в одному ТК, т.

У випадку комбінованого залізнично-автомобільного перевезення ЗВВ маса вантажу в ТК обмежується його місткістю, вантажопідйомністю залізничної фітингової платформи та ваговими нормами для АТЗ

$$Q_{\text{н}}^{\text{зал}} = \min(Q_{\text{бр}}^{\text{фп}} - q_{\text{ТК}}; Q_{\text{н}}^{\text{авт}}; Q_{\text{в}}^{\text{міст}}) \quad (17)$$

де $Q_{\text{бр}}^{\text{фп}}$ – маса бруто ТК за умови повного використання вантажопідйомності фітингової платформи, т.

Оскільки конструкція залізничної фітингової платформи передбачає установку на ній кількох ТК, то $Q_{\text{бр}}^{\text{фп}}$ може бути визначена як

$$Q_{\text{бр}}^{\text{фп}} = \frac{G_{\text{фп}}}{m_{\text{ТК}}} \quad (18)$$

де $G_{\text{фп}}$ – вантажопідйомність фітингової платформи, т. Згідно з [7] для платформи моделі 13-7133 $G_{\text{фп}} = 73,6$ т;

$m_{\text{ТК}}$ – кількість танк-контейнерів, що можуть бути одночасно встановлені на одну фітингову платформу. При перевезенні 20-футових ТК згідно з [7] $m_{\text{ТК}} = 2$ од.

Таблиця 1

Розрахунок парку автомобільних транспортних засобів

Район	№ джерела	Добовий обсяг, т	Об'ємна маса, т/м ³	Маса нетто, т			Робота АТЗ						Коефіцієнт використання АТЗ	Коефіцієнт нерівномірності	Кількість іздок	Робочий парк, од											
				по ГВН	за об'ємом кузова	Приннято за 1 іздку	Відстань від джерела до ДД, км	Середня технічна швидкість, км/год	Швидкість навантаження, м ³ /год	навантаження	вивантаження	Тривалість, год				оборот АТЗ	джерела	району (розрахунковий)	району (принятий)								
№1	11	40	0,90	17,96	17,96	17,96	0,7	20	25	0,80	0,33	1,92	1,2	11	1,62	1,62	Визначається в табл. 3										
	12	40					0,7																				
	13	40					1,2																				
	14	40					1,2																				
	15	17,3					1,8																				
	16	17,3					1,8																				
	17	73,8					1,8																				
	18	73,8					1,8																				
№2	21	10	1,13	22,54	22,54	22,54	7,9	20	25	0,80	0,33	1,92	1,2	7	1,36	1,36	Визначається в табл. 3										
	22	10,7					7,9																				
	23	11,1					7,9																				
	24	45					9,8																				
	25	48					9,8																				
	26	50					9,8																				
	27	25					6,4																				
	31	125,2					22,3																				
№3	32	189	1,15	22,94	22,94	22,94	22,5	20	40	0,50	0,60	3,16	0,8	4	2,06	4,49	Визначається в табл. 3										
	33	32,7					22,5																				
	34	20,825					22,5																				
	35	20,825					22,5																				
	36	20,825					22,5																				
	37	20,825					22,5																				
							20,35											20,35	20,35	23,6	60	0,33	3,02	5	0,20	5	0,20

Розрахунок кількості танк-контейнерів

Район	№ джерела	Добовий обсяг, т	Об'ємна маса, т/м ³	Максимальна маса нетто, т		Маса вантажу нетто за 1 їздки, т	Розрахункова кількість ТК, од
				по ГВН	за об'ємом кузова		
№ 4	41	10,5	1,22	25,37	24,34	24,34	0,43
	42	50,8	1,22	25,37	24,34	24,34	2,09
	43	69,2	1,22	25,37	24,34	24,34	2,84
	44	17,3	1,22	25,37	24,34	24,34	0,71
	45	12,7	1,22	25,37	24,34	24,34	0,52
Разом							6,59

Слід відмітити, що об'ємна маса ЗВВ в дже-релах району № 4 однакова і становить 1,22 т/м³, тому $Q_B^{\text{міст}}$ для цих джерел однакова і становить

$$Q_B^{\text{міст}} = 1,22 \cdot 21000 \cdot 0,95 \cdot 10^{-3} = 24,34 \text{ т}$$

Отже, при перевезенні за даною технологічною схемою маса нетто ЗВВ у ТК становить

$$Q_H^{\text{зал}} = \min\left(\frac{73,6}{2} - 4,5; 25,37; 24,34\right) = 24,34 \text{ т}$$

Розрахунок необхідної добової кількості ТК для організації перевезення ЗВВ за комбінованою схемою виконаний в табл. 2. Як видно з таблиці, добова кількість завантажених ТК для району № 4 становить $U = 7$ од.

В районі № 1 вантажні автомобілі використовуються для прямого варіанту доставки ЗВВ від джерел 11-18 до ДГ, при цьому їх робочий парк становить 1,62 авт. (див. табл. 1). Крім того, автотранспортом в даному районі здійснюється додаткова робота по перевезенню ТК між ПП та ДГ, а робочий парк АТЗ для виконання такої роботи може бути визначений за формулою

$$A_p^{\text{ЗМ}} = \frac{UK}{\theta_a^{\text{ЗМ}} K_H} \quad (19)$$

де $\theta_a^{\text{ЗМ}}$ – оборот АТЗ, що виконує перевезення контейнерів від пункту перестановки до ділянки гранулювання, год.

В свою чергу тривалість обороту $\theta_a^{\text{ЗМ}}$ може бути визначена як

$$\theta_a^{\text{ЗМ}} = 2t_{\text{пер}} + \frac{l}{V} + t_v \quad (20)$$

де $t_{\text{пер}}$ – тривалість перестановки ТК з залізничної платформи на автотранспорт і в зворотному напрямку, год. Прийнято $t_{\text{пер}} = 10$ хв.

Розрахунок потрібного робочого парку АТЗ району № 1 виконано в таблиці 3.

Фітингові залізничні платформи між станціями навантаження та вивантаження слідує єдиною групою, тобто являють собою кільцевий маршрут, а їх робочий парк для перевезення ТК може бути визначений за формулою:

$$N_p^{\text{фп}} = \left[\frac{U}{m_{\text{ТК}}} \right] \times \left[\frac{\theta_{\text{фп}}}{1440} \right] \quad (21)$$

де $\theta_{\text{фп}}$ – тривалість обороту кільцевого маршруту з платформами, хв.

Таблиця 3

Розрахунок парку АТЗ району №1

Параметр	Значення	
Кількість ТК, шт	7	
Оборот АТЗ для доставки ТК, год	0,91	
- перестановка, год	0,17	
- відстань їздки, км	2,40	
- технічна швидкість, км/год	20	
- тривалість їздки, год	0,12	
- вивантаження, год	0,33	
Коефіцієнт використання АТЗ	0,9	
Коефіцієнт нерівномірності руху	1,1	
Максимальна кількість їздок за добу	21	
Тривалість вивантаження ТК, год	6,37	
Робочий парк району	за змішаною схемою, $A_p^{\text{ЗМ}}$	0,33
	за прямою схемою, A_p	1,62
	розрахунковий	1,95
	прийнятий	2,0

Тривалість обороту маршруту з фітинговими платформами визначається як сума тривалостей їх знаходження в пунктах навантаження, вивантаження і тривалості руху між ними.

Для визначення тривалості знаходження платформ в пункті навантаження (район № 4) було виконано графоаналітичне моделювання маневрової роботи з їх розстановки під навантаження в джерелах 41-45. За результатами моделювання встановлено, що тривалість простою фітингових платформ під навантаженням 7 ТК становить 435,2 хв. Тривалість простою залізничних платформ в ПП (район № 1) визначається виходячи з тривалості обороту АТЗ, що здійснюють перевезення ТК від цього пункту до ДГ і в зворотному напрямку. Тривалість такого простою визначена в табл. 3 і становить 6,37 год (382 хв). Для визначення тривалості обороту $\theta_{\text{фп}}$ маршруту з фітинговими платформами розроблено технологічний графік, що наведено на рис. 3.



Рис. 3. Визначення тривалості обороту фітингових платформ

Таким чином, робочий парк фітингових платформ для перевезення ТК становить

$$N_p^{\text{фп}} = \left\lceil \frac{7}{2} \right\rceil \times \left\lceil \frac{1239,2}{1440} \right\rceil = 4 \text{ пл.}$$

Інвентарний парк фітингових платформ при $K_{\text{тр}} = 1,15$ становить $N_{\text{інв}}^{\text{фп}} = 1,15 \cdot 4 = 4,6$ пл. і прийнятий рівним $N_{\text{інв}}^{\text{фп}} = 5$ пл.

Розрахунок парку танк-контейнерів

Враховуючи режим роботи вантажних автомобілів, що не передбачає зняття ТК з напівпричепів (крім пункту перестановки ТК), можна стверджувати, що робочий парк ТК є еквівалентним прийнятому робочому парку АТЗ в кожному районі A_p (див. табл. 1, 3).

Як показали розрахунки, оборот кільцевого маршруту фітингових платформ становить $\theta_{\text{фп}} = 1239,2$ хв, що не перевищує 1 доби. Таким чином, при організації доставки ЗВВ за змішаною залізнично-автомобільною схемою робочий парк ТК відповідає їх добовій кількості навантаження U . Результати розрахунку робочого та інвентарного парку ТК представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Розрахунок парку танк-контейнерів

Параметр	Район		
	1	2	3
Робочий парк АТЗ, од.	2	2	5
Добове навантаження ТК, од.	7	–	–
Робочий парк ТК, од.	9	2	5
	16		
Коефіцієнт технічної готовності	1,1		
Інвентарний парк ТК	розрахунковий	17,6	
	прийнятий	18	

Висновки

Як показали дослідження, використання ТК дозволяє організувати ефективні технологічні схеми транспортування ЗВВ в умовах діючого

металургійного виробництва без значних змін в роботі внутрішнього транспорту підприємства. Представлена в роботі методика розрахунку параметрів процесу перевезень автомобільним і залізничним транспортом може бути використана для економічного обґрунтування перевезень ЗВВ у ТК при переході до удосконаленої технології рециклінгу відходів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития: моногр. / А. И. Амоша, В. И. Большаков, А. А. Минаев, Ю. С. Залознова, Л. А. Збаразская, и др.; НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти. – Донецк, 2013. – 114 с.
2. Демидик В. Н. Устойчивое развитие и рецикллинг отходов в черной металлургии / В. Н. Демидик // Металл и литье Украины. – 2014. – № 8. – С. 36-40.
3. Підвищення експлуатаційної стійкості та ефективності роботи промислового транспорту в умовах металургійного підприємства [Текст] : монографія / [Б. П. Середа та ін.] ; Дніпров. держ. техн. ун-т (ДДТУ). – Кам'янське : ДДТУ, 2021. – 271 с
4. Про Правила дорожнього руху : Постанова Каб. Міністрів України від 10.10.2001 р. № 1306 : станом на 4 листоп. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п#Text>.
5. Technical Guidance for Shipping Bulk Liquids. ITCO International Tank Container Organisation. URL: <https://www.international-tank-container.org/en/technical/technical-guidance-for-shipping-bulk-liquids>.
6. Особливості ТО і ремонту спеціалізованого рухомого складу [Текст]: методичні вказівки до виконання практичних робіт / уклад.: Ю. І. Пиндус, Р. Р. Заверуха; Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Тернопіль, 2016 – 56 с.
7. Вагон-платформа модель 13-7133. Головна. URL:<https://www.kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhne-vagonobuduvannya/vagoni-platformi/item/2415-vahon-platforma-model-13-7133-i-13-7133-01>.

Надійшла до редколегії 17.11. 2023
Прийнята до друку 28.11.2023

TRANSPORT SUPPORT OF METALLURGICAL PRODUCTION WASTE RECYCLING

Purpose. One of the possible ways to improve the efficiency and environmental friendliness of metallurgy is processing and reuse in production as raw material of iron-containing dusty waste. At the same time, an integral component of such waste recycling is the transportation of iron-containing dust from the sources to the granulation areas, where it is processed. However, existing technological solutions for dust transportation are characterized by significant dust generation both during loading-unloading operations and during transportation. In this regard, the paper considers dust-free transportation technology for dusty waste using tank containers. **Methodology.** During the research, methods of geospatial analysis of transportation routes, taking into account dimensional and weight restrictions, methods of planning the operation of motor vehicles on routes, methods of the theory of shunting work on railway transport were used. **Results.** The work on the application of one of the metallurgical enterprises presents the methodology for determining the required fleet of vehicles and the main technical and technological parameters of schemes for the iron-containing dust transportation in tank containers by road and rail transport. **Scientific novelty.** The obtained research results on transport process parameters allow to perform scientific and economic justification of choosing a technological scheme for the transportation of dust waste. **Practical significance.** The presented technological schemes can be used as solutions for the transportation support of recycling iron-containing dusty waste in metallurgical production.

Keywords: recycling, iron-containing waste, industrial transport, tank container

УДК 656.225 : 656.213

О. М. ОГАР^{1*}, Д. В. ЛОМОТЬКО^{2*}, Г. І. ШЕЛЕХАНЬ^{3*}, М. Д. ЛОМОТЬКО^{4*}

^{1*} Каф. «Залізничні станції та вузли», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейсрбаха 7, м. Харків, Україна, 61050, тел. +380506825612, ел. пошта: ogar.07.12@gmail.com, ORCID 0000-0003-1967-5828

^{2*} Каф. «Транспортні системи та логістика» Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейсрбаха 7, м. Харків, Україна, 61050, тел. +380675760661, ел. пошта: den@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-7624-2925

^{3*} Каф. «Залізничні станції та вузли», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейсрбаха 7, м. Харків, Україна, 61050, тел. +380661415405, ел. пошта: shelekhan@email.ua, ORCID 0000-0002-6640-6084

^{4*} Каф. «Залізничні станції та вузли», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейсрбаха 7, м. Харків, Україна, 61050, тел. +380675748381, ел. пошта: kolyan1890@gmail.com, ORCID 0000-0003-0294-2686

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНОЮ КОМПАНІЄЮ-ПЕРЕВІЗНИКОМ РЕГІОНАЛЬНОГО ТИПУ

Мета. Впровадження приватних вантажних залізничних компаній-перевізників в Україні відповідає Європейському тренду демонополізації залізничних перевезень і має ряд наслідків, серед яких створення ринкового механізму ціноутворення та формування передумов для підвищення рівня якості послуг на залізничному транспорті. З метою забезпечення економічного розвитку залізничної галузі необхідний комплексний підхід, який включає перегляд та удосконалення тарифної політики із забезпеченням недискримінаційного доступу приватних залізничних компаній-перевізників регіонального типу до залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця» як альтернативних учасників перевезення. Це забезпечить рівноправні умови конкуренції та сприятиме розвитку залізничного транспорту в Україні. Виходячи з цього, метою даного дослідження є досягнення ефективного функціонування системи доставки вантажів залізничними компаніями-перевізниками регіонального типу під час її впровадження на мережі залізниць України. Для досягнення цієї мети використано вугільний функціональний опис вказаної системи та проводиться оптимізація її параметрів. **Методи.** Для формалізації системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу використано методи теорії систем. **Результати.** Проведені дослідження дозволили формалізувати процес функціонування системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу. У процесі формування функціонального опису системи було враховано різноманітні фактори, які впливають на витрати компанії-перевізника. Під час аналізу цих факторів було встановлено, що ключовими параметрами системи, які мають значний вплив на витрати та вартість перевезення вантажів, є маршрут доставки вантажів, кількість зупинок на маршруті, тривалість простою поїздів на залізничних станціях філій компанії-перевізника в очікуванні виконання маневрових операцій (причеплення груп вагонів). Оптимізація цих параметрів має на меті підвищення ефективності функціонування системи та зменшення вартості перевезення вантажів для окремих клієнтів. **Практична значимість.** При умові прийняття в Україні відповідної законодавчої бази, яка регулюватиме доступ до залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця» для приватних перевізників, впровадження запропонованої системи матиме такі позитивні наслідки, як підвищення рівня конкуренції на транспортному ринку в Україні, поліпшення показників якості і надійності перевезень та зростання ВВП країни. Налагодження оптимального балансу між номерами маршрутів, кількістю зупинок та тривалістю простою поїздів дозволить забезпечити оптимальне використання ресурсів компанії-перевізника та знизити витрати на перевезення вантажів. Це сприятиме покращенню якості обслуговування та задоволенню потреб клієнтів.

Ключові слова: компанія-перевізник, приватний перевізник, система, доставка, вантаж, перевезення

Вступ

Один із кроків України для вступу до Європейського Союзу (ЄС) є реформування залізничного транспорту. Реформування на законодавчому рівні забезпечить уряд країни, а на рівні науковому та технічному – залізничне наукове товариство.

Як показує досвід реформ залізничної галузі Європейського Союзу, розвиток бізнесу та конкуренції на залізничному транспорті підвищує

рівень ВВП країни, збільшує кількість робочих місць та зменшує субсидування державою залізничної галузі [1]. У реформуванні залізничної галузі Європейський Союз використовує безліч директив, які спрямовані на удосконалення залізничного транспорту. Особлива увага приділяється двом директивам, 91/440/ЄС [2] та 95/19/ЄС [3], які є початковими документами для допущення на ринок перевезень приватних

компаній-перевізників та впровадження конкуренції в залізничній галузі.

Директива 91/440/ЄЕС спрямована на полегшення адаптації залізниць Європейського Союзу та потенційних учасників європейської співдружності до вимог єдиного ринку перевезень і підвищення ефективності роботи залізниць шляхом:

- забезпечення незалежності управління залізничними підприємствами;
- відокремлення управління залізницею та інфраструктурою від надання залізничних транспортних послуг;
- удосконалення фінансової структури підприємств;
- забезпечення доступу до мереж держав ЄС залізничних приватних підприємств, які займаються міжнародними комбінованими перевезеннями товарів;
- забезпечення вільного доступу до інфраструктури будь-яким приватним компаніям-перевізникам.

Директива 95/19/ЄС спрямована на розподіл пропускної спроможності залізничної інфраструктури і стягнення плати за користування інфраструктурою. Для приватних компаній-перевізників на основі впровадження директив країн ЄС усувається дискримінація при розподілі інфраструктури та створюються прозорі умови для державної підтримки залізничного сектору.

Більше інформації про директиви, а також їх вплив на прикладі Німецької залізниці DB описано в джерелі [4].

Впровадження в Україні приватних вантажних залізничних компаній-перевізників означає дотримання європейського тренду на демонополізацію залізничних перевезень, що призводить до створення:

- ринкового механізму ціноутворення за принципами попиту та пропозиції;
- передумови для підвищення рівня якості послуг на залізничному транспорті.

Виходячи з вищезазначених пунктів, економічний розвиток залізничної галузі потребує комплексного підходу, а саме:

- перегляду та удосконалення тарифної політики, щодо доступу до залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця» для приватних залізничних компаній-перевізників регіонального типу;
- надання недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури інших учасників перевезення на основі попиту та з кращим рівнем якісних та екологічних показників транспортних послуг.

Це потребує зусилля від залізниці щодо

відмови від монопольного становища на ринку перевезень на користь збільшення ВВП країни за рахунок конкуренції, подальшого розвитку галузі та можливості вступу країни до Європейського Союзу. Цей крок змінить технологію просування вагонопотоків на основі недискримінаційного доступу до інфраструктури, скоротить питомі експлуатаційні витрати АТ «Укрзалізниця» та забезпечить вантажовласникам оптимальні умови перевезення, а залізниці – високий рівень прибутку залізничної інфраструктури від конкуренції на транспортному ринку.

Постановка завдання дослідження

Основним завданням дослідження є формування системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу. Для забезпечення ефективного функціонування вказаної системи, зменшення витрат та підвищення задоволеності клієнтів необхідно детально вивчити та проаналізувати різні аспекти цього процесу. Адекватний функціональний опис системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником є основою для вирішення ряду наступних важливих завдань:

- визначення найбільш ефективних та економічно вигідних маршрутів доставки вантажів залізницею з урахуванням географічних особливостей, екологічності та бажаного часу доставки;
- оптимізація логістичних процесів, пов'язаних із доставкою вантажів залізничним транспортом, на основі удосконалення процедур навантаження та вивантаження, управління запасами, оптимізації використання вагонів (контейнерів) та складання графіків руху поїздів;
- оцінка вартості доставки вантажів залізничним транспортом, включаючи витрати на паливо, транспортування, обслуговування вагонів та залізничних станцій компанії-перевізника;
- забезпечення безпеки та надійності доставки вантажів залізницею, що включає вивчення процедур безпеки, обслуговування та ремонту вагонів, а також прогнозування можливих ризиків та їх запобігання;
- дослідження потреб та очікувань клієнтів, які використовують послуги залізничних компаній-перевізників, що включає аналіз показників якості обслуговування, швидкості доставки, точності та надійності послуг, а також пропонованих додаткових послуг на базі логістики.

Отже, організація доставки вантажів залізничною компанією-перевізником повинна базуватися на системному підході.

Мета дослідження

Метою дослідження є забезпечення ефективного функціонування логістичної системи доставки вантажів залізничними компаніями-перевізниками регіонального типу при її впровадженні на мережі залізниць України на основі функціонального опису вказаної системи та оптимізації її параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У наш час сотні українських вчених від аспірантів до професорів, і навіть студентів бакалаврського та магістерського рівня, які працюють в сфері залізничної галузі, активно розробляють наукові, технічні і правові аспекти, що впроваджуються на залізниці задля найшвидшого інтегрування України до Європейського союзу.

У роботі [1] розглянуто системи роботи Французьких, Британських, Китайських, Польських, Японських та інших залізниць. Наведений опис реформ, екскурс в минуле та загальна інформація про зазначені залізниці допомагають отримати безцінний досвід для Української залізниці. Дане джерело інформації багате на фінансові та експлуатаційні показники зазначених залізниць з наведенням структур управління. Особлива увага в джерелі приділяється Французькій залізниці (SNCF Réseau), звідки взято інформацію для формування системного підходу до організації доставки вантажів приватними залізничними компаніями-перевізниками.

Деякі джерела інформації здійснюють глибокий опис реформ Німецької залізниці (Deutsche Bahn) [4]. У даній роботі, окрім опису елементів системного підходу до організації доставки вантажів приватними компаніями-перевізниками на Німецькій залізниці, також наведено приклад та детальний опис покупки нитки графіку для поїздів. Частково описано технологічний ланцюг роботи з поїздами для приватних залізничних компаній-перевізників.

Джерело інформації [5] є одним з перших непрямих кроків перегляду тарифної політики АТ «Укрзалізниця» та прообразом для формування системного підходу до організації доставки вантажів залізничним компаніям-перевізникам регіонального типу. У зазначеній роботі розглядається математична модель визначення оптимальної кількості вагонів у маршруті поїзда. На підставі виконаних розрахунків є можливість визначити також вартість перевезення вантажу на перегоні.

Також велику роль відіграє дисертаційна робота, яка наведена в джерелі [6]. У даній роботі

представлені логістичні принципи та приклади, на які можна опиратися при формуванні системного підходу до організації доставки вантажів залізничною компанією-перевізником.

Основні матеріали дослідження

При формуванні системного підходу до визначення раціональних технологічних параметрів логістичної системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником в першу чергу необхідно визначитися з переліком основних факторів, що впливають на величину витрат вказаної системи наростаючим підсумком за кожний розрахунковий період. Під системою доставки вантажів залізничним транспортом для Українських залізниць розуміється множина елементів (підрозділи АТ «Укрзалізниця», приватні компанії-перевізники із філіями, транспортна інфраструктура із станціями, терміналами, портами, пунктами перетину кордонів та іншими елементами, враховуючі інформаційну підсистему), які знаходяться у функціональних зв'язках між собою, мають певні обмеження на власні технічні та технологічні можливості і утворюють єдину цілісність з метою досягнення синергетичного ефекту. До основних факторів відносяться наступні:

- кількість заявок на перевезення вантажів;
- інтервал часу між моментами надходження заявок;
- обсяг вказаного у заявках вантажу;
- заявлена швидкість доставки вантажів;
- робочий парк вагонів і маневрових локомотивів компанії-перевізника;
- обсяг маневрової роботи на філіях компанії-перевізника;
- вартість ниток графіку;
- обсяг потрібних компанії-перевізнику матеріалів та запасних частин;
- обсяг витраченої електроенергії на власні потреби компанії-перевізника;
- обсяг пристроїв компанії-перевізника, що утримуються;
- кількість працівників компанії-перевізника за кожною посадою;
- оцінка значення екологічного критерію.

Оскільки вантажі можуть бути доставлені з філії відправлення до філії призначення різними маршрутами, існує множина маршрутів доставки вантажів для кожного окремо взятого поїзда. Введений до системи порядковий номер маршруту доставки вантажів j -им поїздом у момент часу t ($I_{D_j}(t)$) можна розглядати як керований вхідний вплив на дану систему. При цьому $j \in J$, де J – множина поїздів, що знаходяться у

процесі доставки вантажів залізничною компанією-перевізником у момент часу t .

До квазікерованого вхідного впливу можна віднести передбачену кількість зупинок j -го поїзду у момент часу t на маршруті його прямування для причеплення груп вагонів ($q_{\text{пріч.}j}(t)$). Це пов'язано з тим, що, з одного боку, вказаний параметр нормується в залежності від заявленої вантажовідправником швидкості доставки вантажів, а з іншого боку, кількість зупинок може бути обґрунтовано змінена диспетчером-логістом (з точки зору економічної доцільності).

Некерованим вхідним впливом на систему доставки вантажів залізничною компанією-перевізником є інтенсивність вхідного потоку заявок у момент часу t ($\lambda(t)$).

Стан вказаної системи у момент часу t можна записати у наступному вигляді:

$$Q(t) = F^o(t, Q_o, Z(t), P(t), I_d, t),$$

$$q_{\text{пріч.}j}(t), \lambda(t) \quad (1)$$

де F^o – оператор стану системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником;

Q_o – початковий стан системи;

$Z(t)$ – характеристики системи, що залежать від вхідних впливів на систему;

$P(t)$ – множина параметрів керування, що можуть змінюватись у процесі функціонування системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником та забезпечувати підвищення її якості.

Початковим станом системи є наступні параметри: кількість філій ($n_{\text{філ}}$), корисна довжина приймально-відправних колій філій ($L_{\text{філ}}$), площа філій ($S_{\text{філ}}$), площа службових приміщень ($S_{\text{пр}}$), висота службових приміщень ($h_{\text{пр}}$), вартість службових приміщень ($C_{\text{пр}}$), тип рейок (P), кількість колій у станційних парках філій ($n_{\text{кол}}$), кількість комплектів стрілок ($n_{\text{стр}}$), вартість комплектів стрілок ($C_{\text{стр}}$), корисна довжина інших станційних колій філій ($L_{\text{ін}}$), кількість інших станційних колій ($n_{\text{інш}}$), кількість світлофорів ($n_{\text{св}}$), вартість світлофорів ($C_{\text{св}}$), вартість впровадження програмного забезпечення ($C_{\text{прог}}$), кількість напіввагонів ($q_{\text{пв}}$), кількість зерновозів ($q_{\text{зер}}$), кількість платформ (контейнерів) ($q_{\text{пл}}$), кількість цистерн ($q_{\text{цс}}$), кількість критих вагонів ($q_{\text{кр}}$), кількість маневрових локомотивів у розпорядженні філій ($L_{\text{м}}$), вартість маневрового локомотива ($C_{\text{м}}$), вартість напіввагону ($C_{\text{пв}}$), вартість зерновозу ($C_{\text{зер}}$), вартість платформи ($C_{\text{пл}}$), вартість цистерни ($C_{\text{цс}}$), вартість

критого вагону ($C_{\text{кр}}$), відстань між залізничними станціями філій та навантажувально-розвантажувальними пунктами в межах залізничних вузлів ($S_{\text{зс-нрп}}$), відстань між залізничними станціями сусідніх філій ($S_{\text{зс}}^{\text{сф}}$), відстань між навантажувально-розвантажувальними пунктами в межах залізничних вузлів ($S_{\text{нрп-нрп}}$), питома витрати на 1 годину роботи маневрового тепловоза вантажного руху ($E_{\text{рм}}^{\text{т}}$), питома витрати на 1 тепловозо-кілометр вантажного руху ($E_{\text{е-г}}^{\text{т}}$), питома витрати на 1 тепловозо-кілометр одиночного слідування у вантажному русі ($E_{\text{одс}}^{\text{т}}$), питома витрати на 1 поїздо-годину простою на станції при тепловозній тязі у вантажному русі ($E_{\text{пс}}^{\text{т}}$), питома витрати на 1 поїздо-годину простою на перегоні при тепловозній тязі у вантажному русі ($E_{\text{пп}}^{\text{т}}$), питома витрати на використання 1 кілометра інфраструктури на перегоні протягом години у вантажному русі ($E_{\text{н}}$), питома витрати на 1 поїздо-годину у русі при електровозній тязі у вантажному русі ($E_{\text{пг}}^{\text{е}}$), питома витрати на 1 годину простою вагона у складі вантажного поїзда при електровозній тязі ($E_{\text{ст}}^{\text{в}}$), питома витрати на 1 годину роботи маневрового електровазона вантажного руху ($E_{\text{рм}}^{\text{е}}$), середня довжина перегону, що займає один поїзд, з урахуванням дистанції між поїздами (L), швидкість маневрового локомотиву ($V_{\text{лок}}$), вартість 1 кВт електроенергії ($C_{\text{ел}}$), сумарна потужність приладів в приміщенні філії ($W_{\text{пр}}$), потужність електропривода ($W_{\text{ец}}$), потужність маневрових світлофорів ($W_{\text{св}}$), середньомісячний рівень потужності для обігріву приміщення ($V_{\text{ст}}^{\text{оп}}$), кількість керівників філіалу ($n_{\text{кф}}$), кількість диспетчерів-логістів ($n_{\text{д}}$), кількість чергових станційного парку філіалу ($n_{\text{чсп}}$), кількість операторів ($n_{\text{о}}$), кількість складачів поїздів ($n_{\text{сп}}$), кількість машиністів маневрового локомотива ($n_{\text{ммл}}$), кількість робітників технічного огляду вагонів ($n_{\text{то}}$), кількість робітників комерційного огляду вагонів ($n_{\text{ко}}$), посадовий оклад керівника філіалу ($Z_{\text{кф}}$), посадовий оклад диспетчера-логіста ($Z_{\text{д}}$), посадовий оклад чергового станційного парку філіалу ($Z_{\text{чсп}}$), посадовий оклад оператора ($Z_{\text{о}}$), посадовий оклад складача поїздів ($Z_{\text{сп}}$), посадовий оклад машиніста маневрового локомотива ($Z_{\text{ммл}}$), посадовий оклад працівника технічного огляду вагонів ($Z_{\text{то}}$), посадовий оклад робітника комерційного огляду ($Z_{\text{ко}}$), тарифна відстань між філією відправлення до філії призначення ($S_{\text{тв}}$), вартість нитки графіку (H), технологічний час на виконання операції причеплення або відчеплення ($T_{\text{пр-від}}$), шкода від забруднення

атмосфери (B_a), шкода від забруднення водних ресурсів (B_v), шкода від забруднення та деградації земель (B_z), шкода від розміщення шкідливих речовин на навколишній території ($B_{нт}$), шкода для фауни ($B_{фа}$), шкода для флори ($B_{фл}$).

Характеристиками системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником, що залежать від вхідних впливів $I_{Д_j}(t)$, $q_{пріч_j}(t)$ і $\lambda(t)$, є частка вагонів (контейнерів), що задіяні в процесі перевезення вантажів ($\alpha(t)$), та завантаження маневрових локомотивів ($\beta(t)$) у момент часу t . До параметру керування можна віднести передбачену тривалість простою j -го поїзду у момент часу t на залізничних станціях філій компанії-перевізника, через які проходить маршрут його прямування, в очікуванні причеплення груп вагонів ($T_{пр_j}(t)$). Вказаний параметр нормується диспетчером-логістом при складанні плану перевезення вантажів.

Виходом системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником є наступний функціонал перетворення множини параметрів:

$$Y(t) = (q(t), m(t), P(t)) \quad (2)$$

де $q(t)$, $m(t)$, $P(t)$ – відповідно сумарна кількість відправлених вагонів, сумарна маса відправлених вантажів, тис. т, і сумарна кількість відправлених поїздів.

Значення вихідних параметрів $Y(t)$ є координатами фазової траєкторії у фазовому просторі та залежать від вхідних впливів $I_{Д_j}(t)$, $q_{пріч_j}(t)$ і $\lambda(t)$, характеристик системи $Z(t)$ і параметру керування $P(t)$. Отже, закон функціонування системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником, виходячи із системного підходу [7], буде мати наступний вигляд:

$$Y(t) = G^o(t, Q_o, Z(t), P(t), I_{Д_j}(t), q_{пріч_j}(t), \lambda(t), S(t)), \quad (3)$$

або

$$Y(t) = G^o(t, Q_o, \alpha(t), \beta(t), T_{пр_j}, I_{Д_j}(t), q_{пріч_j}(t), \lambda(t), S(t)) \quad (4)$$

де G^o – оператор виходу;

$S(t)$ – вектор структурної перебудови;

$$Q_o = (n_{фл}, L_{фл}, S_{фл}, S_{пр}, h_{пр}, C_{пр}, P, n_{кол}, n_{стр}, C_{стр}, L_{ін}, n_{інш}, n_{св}, C_{св}, C_{прог}, q_{пв}, q_{зер}, q_{пл}, q_{цс}, q_{кр}, L_m, C_m, C_{пв}, C_{зер}, C_{пл}, C_{цс}, C_{кр}, S_{ЗС-НРП}, S_{ЗС}^{CФ}, S_{НРП-НРП}, E_{рм}^T, E_{е-г}^T, E_{одс}^T, E_{пс}^T, E_{пп}^T, E_n, E_{пг}^e, E_{ст}^e, E_{рм}^e, l, V_{лок}, C_{ел}, W_{пр}, W_{ец}, W_{св}, B_{ст}^{оп}, n_{кф}, n_{д}, n_{чсп}, n_o, n_{сп}, n_{ммл})$$

$$n_{то}, n_{ко}, Z_{кф}, Z_d, Z_{чсп}, Z_o, Z_{сп}, Z_{ммл}, Z_{то}, Z_{ко}, S_{тв}, H, T_{пр-від}, B_a, B_v, B_z, B_{нт}, B_{фа}, B_{фл}).$$

Структурною перебудовою системи може бути:

- побудова нових виробничих будівель;
- зміни штату працівників;
- зміни робочого парку вагонів;
- зміни кількості станційних колій на філіях;
- впровадження нової системи управління стрілками та сигналами;
- оновлення парку маневрових локомотивів.

Структурна перебудова може відбутися внаслідок:

- структурних змін у організації роботи філій;
- коливання обсягів роботи філій;
- зміни тарифних ставок працівників філій;
- зміни вартості обслуговування станційних пристроїв філій, вагонів і локомотивів;
- зміни показників питомих витрат;
- необхідності збільшення пропускної спроможності залізничних станцій філій;
- необхідності створення нових філій;
- закінчення терміну експлуатації вагонів і локомотивів;
- коливання витрат за екологічним критерієм;
- загальних змін умов ринку перевезень;
- впровадження нового законодавства країни, щодо роботи приватних залізничних компаній.

Структурну перебудову системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником рекомендовано здійснювати з періодичністю один раз на рік.

Конфігурація фазового простору Φ системи у Евклідовому просторі E_k ($k=3$) визначається з урахуванням обмежень на вхідний керований вплив $I_{Д_j}(t)$, вхідний квазікерований вплив $q_{пріч_j}(t)$, некерований вхідний вплив $\lambda(t)$, характеристики системи $\alpha(t)$ і $\beta(t)$ та параметр керування $T_{пр_j}(t)$:

$$\Phi \in E_k \begin{cases} 1 \leq I_{Д_j}(t) \leq I_{Д_j}^{max} \\ 0 \leq q_{пріч_j}(t) \leq q_{пріч_j}^{max} \\ 0 \leq \lambda(t) \leq \lambda_{max} \\ 0 \leq \alpha(t) \leq 1 \\ 0 \leq \beta(t) \leq 1 \\ T_{пр}^{min} \leq T_{пр_j}(t) \leq T_{пр}^{max}, \text{ при } q_{пріч_j}(t) \geq 1 \\ M_j(t) \leq M_j^{max} \\ L_j(t) \leq L_j^{max} \end{cases} \quad (5)$$

де $I_{D_j}^{max}$ – максимальна кількість маршрутів доставки вантажів j -м поїздом;

$q_{прич,j}^{max}$ – максимальна кількість зупинок j -го поїзду на маршруті його прямування для причеплення груп вагонів ($q_{прич,j}^{max}$ залежить від заявленої вантажовідправником швидкості доставки вантажів);

λ_{max} – максимальна інтенсивність вхідного потоку заявок;

$T_{пр}^{min}, T_{пр}^{max}$ – відповідно мінімальна і максимальна тривалість простою поїздів на залізничних станціях філій компанії-перевізника, через які проходить маршрут їх прямування, в очікуванні причеплення груп вагонів, год.;

$M_j(t), L_j(t)$ – відповідно маса, т, і довжина, м, j -го поїзду, що знаходиться у процесі доставки вантажів залізничною компанією-перевізником у момент часу t ;

M_j^{max}, L_j^{max} – відповідно максимально можливі маса, т, і довжина, м, j -го поїзду, що знаходиться у процесі доставки вантажів залізничною компанією-перевізником.

Зазначені формули (1)-(5) є одним із можливих комплексів формування системного підходу до організації доставки вантажів залізничною компанією-перевізником.

Висновки

Результатом проведених досліджень є формалізація логістичної системи доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу. Функціональний опис вказаної системи виконано з урахуванням множини факторів, що впливають на величину витрат компанії-перевізника. Аналіз цих факторів довів, що ключовими параметрами системи, що суттєво впливають на її витрати і, відповідно, вартість перевезення вантажів, є маршрути їх доставки, передбачені кількості зупинок і тривалості простою поїздів на залізничних станціях філій компанії-перевізника в очікуванні причеплення груп вагонів. Оптимізація вказаних параметрів дозволить підвищити ефективність функціонування системи і зменшити вартість перевезення вантажів окремих клієнтів. Розробка процедури оптимізації технологічних параметрів системи доставки вантажів залізничною компанією-

перевізником є наступним завданням наукових досліджень.

Виходячи з викладеного, можна стверджувати, що поставлені мета та завдання дослідження досягнуто. Використання системного підходу до організації доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу можна розглядати як наукове підґрунтя для подальших досліджень в цій області. Представлену систему можливо удосконалити шляхом урахування додаткових впливів, обмежень і факторів, що впливають на витрати приватного перевізника.

Отже, за умови створення в Україні законодавчої бази щодо доступу до залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця» приватних перевізників впровадження запропонованої системи дозволить підвищити конкуренцію на транспортному ринку, що позитивно вплине на якість і надійність перевезень та економіку країни.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Реформа железных дорог*: сборник материалов по повышению эффективности сектора железных дорог. Всемирный банк, 2017. №2. 766 с. Режим доступа : <https://documents1.worldbank.org/curated/ar/616111469672194318/pdf/69256-RUSSIAN-REVISED-RR-Toolkit-RU-New-2017-12-28.pdf>.
2. Directive 91/440/EEC. Eur-lex.europa.eu. Режим доступа : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0440>.
3. Directive 95/19/EC. Eur-lex.europa.eu. Режим доступа : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31995L0019>.
4. Прохорченко А. В. Залізничні системи з вертикальним розділенням. Європейська модель. Дніпро : ЛІРА, 2022. 316 с.
5. Ломотько Д. В., Балака Є. І., Резуненко М. Є. Визначення оптимальної кількості вагонів у маршрутних поїздах. *Залізничний транспорт України*. 2019. № 4. С. 4-12.
6. Ломотько Д. В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01. Харків : УкрДАЗТ, 2008. 39 с.
7. Прокопенко Т. О. Теорія систем і системний аналіз. Черкаси : ЧДТУ, 2019. 139 с.

Надійшла до редколегії 20.10.2023.

Прийнята до друку 03.11.2023

FORMATION OF A SYSTEM APPROACH TO ORGANIZING CARGO DELIVERY BY RAILWAY COMPANIES-CARRIER REGIONAL TYPE

Purpose. The introduction of private freight railway carrier companies in Ukraine corresponds to the European trend of demonopolization of railway transport and has a number of consequences, including the creation of a market pricing mechanism and the formation of prerequisites for improving the quality of services in railway transport. In order to ensure the economic development of the railway industry, an integrated approach is required, which includes reviewing and improving the tariff policy regarding the access of private regional railway carrier companies to the railway infrastructure of joint-stock company (JSC) «Ukrzaliznytsia» and providing non-discriminatory access to the railway infrastructure for other transportation participants. This will ensure equal conditions for competition and will contribute to the development of railway transport in Ukraine. Based on this, the purpose of this study is to achieve the effective functioning of a cargo delivery system for regional railway carrier companies when it is implemented on the Ukrainian railway network. To achieve this goal, a functional description of the specified system is used and its parameters are optimized. **Methods.** To formalize the system of cargo delivery by a regional railway carrier company, used methods of systems theory. **The results.** The research carried out made it possible to formalize the system of cargo delivery through a regional railway carrier company. In the process of formulating the functional description of the system, various factors affecting the carrier company's costs were taken into account. When analyzing these factors, it was found that the key parameters of the system that have a significant impact on the costs and cost of transporting goods are the serial number of the cargo delivery route, the number of stops on the route, the duration of train downtime at the railway stations of the carrier company's branches while waiting for shunting operations to be performed (attaching groups of wagons). The goal of optimizing these parameters is to increase the efficiency of the system and reduce the cost of transporting goods for individual clients. **Practical significance.** Subject to the adoption in Ukraine of an appropriate legislative framework that will regulate access to the railway infrastructure of JSC «Ukrzaliznytsia» for private carriers, the implementation of the proposed system will have such positive consequences as increasing the level of competition in the transport market in Ukraine, improving the quality and reliability of transportation and growth Country's GDP. Setting the optimal balance between route numbers, the number of stops and the duration of train downtime will ensure optimal use of the carrier company's resources and reduce the cost of transporting goods. This will help improve the quality of service and meet customer needs.

Keywords: carrier company, private carrier, system, delivery, cargo, transportation.

УДК 656.6

О. М. МЕЛЬНИК^{1*}

^{1*} Кафедра «Судноводіння і морська безпека», ДЗВО «Одеський національний морський університет», вул. Мечникова 34, м. Одеса, 65029, Україна, тел. +38 (066) 660 63 90, ел. пошта: m.onmu@ukr.net, ORCID 0000-0001-9228-8459

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ БЕЗПЕКО-ОРІЄНТОВАНОЇ РОБОТИ МОРСЬКИХ СУДЕН ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ

Анотація. У статті досліджено актуальні питання безпеки морських перевезень в контексті сучасних транспортних виробничих процесів. Проведено комплексний аналіз ключових факторів, що впливають на безпеку судноплавства, та розроблено структуровану систему класифікації цих факторів. Розглянуто основні категорії безпеки, включаючи технічну, навігаційну, технологічну та екологічну безпеку, а також визначено роль людського фактору в забезпеченні безпеки судноплавства. Застосовано комплексні методи дослідження, що включають аналіз літературних джерел, статистичних даних, тематичних досліджень та експертних оцінок. Результатом роботи є розроблена система концепцій забезпечення безпеки на морському транспорті, яка може сприяти підвищенню безпеки та надійності в цій галузі. **Мета.** Мета статті полягає в проведенні комплексного аналізу питань безпеки судноплавства в умовах сучасних транспортних виробничих процесів. В роботі поставлене завдання ретельно розглянути ключові чинники, що впливають на безпеку морських перевезень, та надати структуровану систему класифікації цих чинників. Додатково в статті визначено основні категорії безпеки та розглянуто роль людського фактору у забезпеченні всіх аспектів безпеки судноплавства. У підсумку сформульовано загальний підхід до безпеки судноплавства, який враховує всі необхідні аспекти та методи забезпечення безпеки в процесі морських перевезень. **Методи дослідження.** У даній статті використано комплексний метод дослідження, включаючи аналіз літературних джерел та наукових публікацій, аналіз статистичних даних щодо інцидентів у морському судноплавстві, а також застосовано проведення аналізу практичних випадків та експертні оцінки. Додатково було використано метод моделювання ситуацій, що потенційно можуть вплинути на безпеку судноплавства. Всі ці методи були використані для комплексного розгляду та класифікації факторів, що впливають на безпеку та розроблення системи концепцій забезпечення безпеки в морських перевезеннях. **Результати.** У результаті дослідження була розроблена комплексна система концепцій забезпечення безпеки в морських перевезеннях. Вона включає в себе чотири основні види безпеки: технічну, навігаційну, технологічну та екологічну. Кожен з цих аспектів безпеки був детально проаналізований та класифікований в залежності від етапів виробничого процесу судноплавства. **Наукова новизна.** Новизна даної статті полягає у розробленні підходу до комплексного аналізу та забезпечення безпеки у морських перевезеннях, що може сприяти покращенню безпеки та надійності в цій галузі. **Практична значимість.** Розроблена комплексна система концепцій забезпечення безпеки протягом морського перевезення надає конкретні рекомендації та методи забезпечення безпеки на різних етапах роботи суден, включаючи перевезення вантажів та інші операції судна.

Ключові слова: безпека морських перевезень, судноплавство, технічна безпека, навігаційна безпека, соціотехнічна система, людський фактор, морські операції, стандарти безпеки

Вступ

У сучасному світі судноплавство відіграє важливу роль у глобальній торгівлі та економіці загалом. Проте, разом зі зростанням обсягів морських перевезень, зростає і важливість питань безпеки судноплавства. Нинішні умови ставлять перед галуззю завдання забезпечення високого рівня технічної, технологічної, екологічної та організаційної безпеки. У цьому контексті розгляд сучасних проблем та розробка комплексного підходу до забезпечення безпеки у морських перевезеннях набуває надзвичайної важливості. Від цього залежить не лише успішність галузі, але й загальна безпека та екологічна стійкість морських шляхів у світі.

Аналіз останніх публікацій та досліджень

Літературні джерела за темою дослідження охоплюють різні аспекти безпеки та оптимізації процесів перевезення вантажів за допомогою морського транспорту. Так у роботі [1] розглядається система доставки вантажів як сукупність виробничих процесів та її елементів. Важливим аспектом є розкриття процесного підходу до декомпозиції цих процесів. Наукова праця [2] розглядає декомпозицію процесу доставки вантажів з використанням морського транспорту, зосереджуючись на процесному підході. У роботі [3] розглядається підхід до управління якістю у логістиці ланцюга постачання, зокрема у морських перевезеннях.

У статті [4] пропонується система підтримки прийняття рішень на основі аналізу даних для забезпечення структурної безпеки суден під час руху в хвилях. Стаття [5] присвячена оцінці навігаційної безпеки суден у тунелях для суден невеликою масою за допомогою суднових симуляцій. У статті [6] розглядається впровадження системи управління безпекою в традиційному судноплаванні для підтримки економіки. У статті [7] розглядається ентальпія як міра потенціалу організації. Стаття [8] присвячена розробці та дослідженню моделі для оптимізації складу постачальників компанії, що спеціалізується на транспортному експедируванні. Стаття [10] моделює динаміку інформаційної паніки в суспільстві на прикладі пандемії COVID-19. Джерело [10] розглядає правові засоби для запобігання використанню несертифікованих суден та забезпечення безпеки морських перевезень. Наукові праці [11, 12] містять інформацію про організаційно-економічний механізм для забезпечення конкурентоспроможності морських комерційних портів та підкреслюють важливість проєктів, які визначають життєвий цикл соціотехнічних систем.

Таким чином охоплюючи широкий спектр аспектів безпеки та оптимізації в морських перевезеннях, включаючи технічні, навігаційні, технологічні та організаційні питання виникає необхідність у вирішенні важливої та актуальної проблеми забезпечення безпеки та оптимізації роботи суден у морських перевезеннях запропонувавши системний підхід до аналізу цих аспектів, враховуючи технічні, технологічні, навігаційні, екологічні та організаційні аспекти.

Основний матеріал

Важливість і домінування ідеї безпеки будь-якого виду транспорту, зокрема й морського, було продемонстровано у першому розділі дослідження. Сучасні глобальні тренди і прагнення людства забезпечувати розумне ставлення до техніки і технологій та їхнє раціональне використання означає, насамперед, забезпечення безпеки як для самої людини, так і для навколишнього світу.

Це визначає відповідну зміну парадигми морського судноплавства в принципі, і роботи морських суден, зокрема. Якщо раніше безпеку в судноплаванні сприймали як систему якихось обмежень, рекомендацій, що ініціюються на міжнародному рівні, а також як політику компанії щодо безпеки, то сьогодні безпека стає домінуючою умовою для роботи суден і перевезень морським транспортом. Це означає, що, якщо

раніше, основним прагненням судновласників було забезпечення максимальної ефективності при дотриманні вимог і обмежень ІМО (виконання яких в деякій їхній частині сприймалося в більшій мірі як вимушені витрати), то сьогодні ефективність і безпека сприймаються більшістю судновласників як дві невід'ємні компоненти судноплавного бізнесу (рис. 1). Можна сказати, що вимоги безпеки вже не стільки «нав'язують» ззовні (а саме так для багатьох перевізників це раніше сприймалося), скільки ініціюють і розробляють усередині самих компаній морських-перевізників;



Рис. 1. Основні передумови концепції безпеко-орієнтованої роботи морських суден в рамках трансформації поглядів на безпеку судноплавства

Таким чином, щодо роботи суден під час перевезень як вантажів, так і пасажирів, відбувається перехід у цілепокладанні перевізників і судновласників від максимізації прибутку до максимізації безпеки з дотриманням, природно, комерційних інтересів.

Аналогічні зміни відбуваються і на рівні судноплавства загалом: якщо раніше основна місія судноплавства становила «забезпечення світової торгівлі», то сьогодні її можна сформулювати як «забезпечення безпечної морської торгівлі» – під морською торгівлею прийнято вважати ту частину світової торгівлі, яка забезпечується морським транспортом. Усе це формує сутність трансформації парадигми сучасного судноплавства загалом і роботи суден, зокрема. Значимо, що судноплавство є ширшим поняттям, тоді як роботу суден, як правило, розглядають на рівні конкретної компанії-перевізника або судновласника, і вона пов'язана безпосередньо з процесом морського перевезення.

Попри те, що в різних джерелах наводять статистику аварій, загибелі суден та інших наслідків, пов'язаних із порушенням безпеки в судноплаванні, під час обґрунтування різноманітних заходів із безпеки, слід зазначити, що не вона (статистика) сформувала таку зміну парадигми судноплавання. В основі зміни парадигми судноплавання лежить зміна ставлення людства до навколишнього світу - саме це сформувало сучасні еко-тренди, починаючи від розподілу сміття і відповідального споживання до зелених портів і нової техніки, що забезпечує мінімізацію шкоди навколишньому середовищу. Саме зростання відповідальності у людства за свою діяльність у будь-яких сферах сформувало не тільки еко-тренди, а й зробило більшість бізнесів «відповідальними», що, насамперед, означає як основну мету не максимізацію прибутку, а мінімізацію негативного впливу бізнесу на людину та її оточення.

Слід зазначити, що науково-технічний прогрес, зокрема і в галузі морського транспорту, з одного боку, спрямований на мінімізацію впливу «людського фактору», наприклад, за допомогою смарт-технологій. З іншого боку, керувана людиною техніка стає настільки складною, що зростають вимоги до знань і навичок тих, хто з нею працює, а це призводить і до зростання ступеня відповідальності та виникнення «морального» пресингу для екіпажів морських суден. Наприклад, наслідки деяких видів аварій танкера незначного тоннажу та супертанкерів, що працюють сьогодні, непорівнянні з точки зору шкоди навколишньому середовищу, а це не може не розумітися і серйозно сприйматися екіпажами. Таким чином, збільшення розмірів морських суден і скорочення кількісного складу екіпажів, завдяки новим технологіям, призводить до зростання відповідальності за безпеку для кожного конкретного члена екіпажу.

Отже, зазначені та стисло охарактеризовані чинники сформували підґрунтя для трансформації парадигми сучасного судноплавання, яку ми спостерігаємо в останні десять років - безпека стає найвищим пріоритетом.

Це визначає необхідність формування концепції безпеко-орієнтованої роботи суден, яка б системно відобразила всі необхідні аспекти, методи та засоби забезпечення безпеки в процесі морських перевезень. Формування цієї концепції передбачає визначення такої системи (рис. 2).

Подана система відображає логіку подальшого дослідження, спрямованого на послідовне вивчення таких питань:

- що саме є об'єктами безпеки під час роботи

морських суден;

- що саме розуміється під безпекою (об'єктів безпеки) і які наслідки її порушення для кожного об'єкта;

- які види безпеки формують безпеку роботи судна – інакше, декомпозиція безпеки роботу судна;

- які чинники формують загрозу безпеці;

- які методи, засоби і заходи дають змогу забезпечити безпечну роботу судна.



Рис. 2. Складові концепції безпеко-орієнтованої роботи суден

Деталізація сутності кожного елемента системи на рис.2 дає більш конкретизований погляд на складові концепції, представлені на рис. 3.

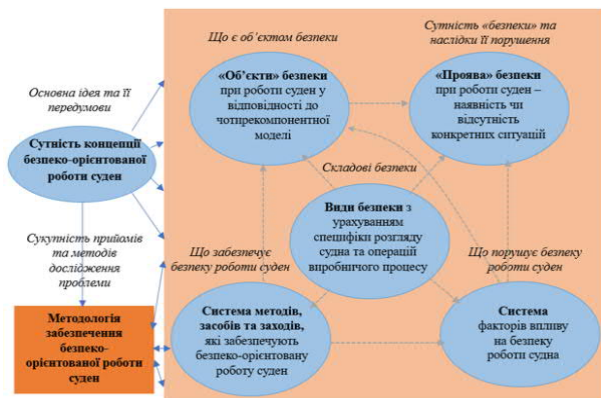


Рис. 3. Деталізація сутності основних елементів концепції безпеко-орієнтованої роботи суден

Для подальшого дослідження визначимо деякі поняття стосовно предметної області цієї роботи.

Безпека – стан об'єктів (процесів), за якого з певною ймовірністю виключено наявність небезпек/загроз.

Об'єкт безпеки - об'єкт (процес), стан якого оцінюють із погляду безпеки (стосовно якого розглядають стан «безпека») (рис. 4).

Фактори, що впливають на безпеку – причини (сили), які впливають на стан безпеки. Цей вплив проявляється у зміні ймовірності стану безпеки об'єкта залежно від прояву чи не прояву певного чинника, а також від того, який саме прояв чинника відбувається. У багатьох джерелах під факторами, що впливають на безпеку, розглядаються виключно зовнішні фактори.

Насправді ж, для судноплавства значна кількість чинників є «внутрішніми», тобто джерелами загроз і небезпек є саме судно - його системи та екіпаж.

Порушення безпеки – процес впливу на стан об'єктів (процесів), за якого ймовірність наявності небезпек/загроз перевищує допустиму величину або стає рівною 1.

Джерело порушення безпеки - об'єкт, що безпосередньо створює небезпеку для «об'єкта безпеки». Якщо фактори – це потенційний вплив на безпеку, то джерело – це вже те, що конкретно впливає на об'єкт безпеки, зменшуючи ймовірність безпечного стану – збільшуючи ймовірність небезпечного стану.

Під джерелом порушення безпеки розумітимемо об'єкт, який безпосередньо впливає на порушення безпеки, навіть якщо не є першопричиною. Наприклад, погані погодні умови призвели до відмови навігаційної системи судна, що призводить до ризику збільшення небезпеки втрати судном «курсової орієнтації» в процесі руху. У цьому разі погодні умови є фактором, що впливає (першопричиною), а система, що відмовила, - джерелом порушення безпеки, тому що саме її відмова порушує безпеку судна.

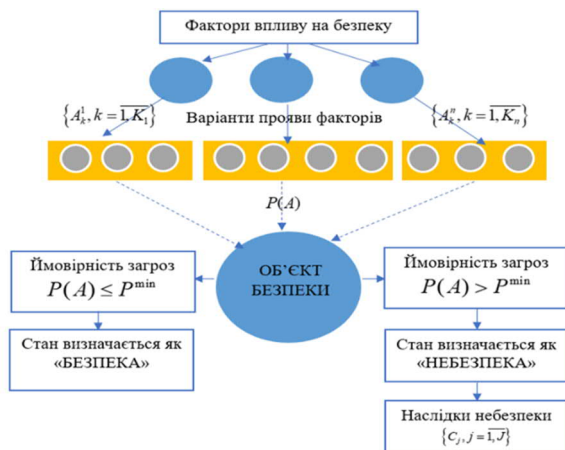


Рис. 4. Основні категорії безпеко-орієнтованої роботи суден

Також факторами можуть виступати різні експлуатаційні терміни служби механізмів, двигунів, систем та приладів, що збільшує ймовірність їх відмови, джерелом небезпеки в цьому випадку є сам означений технічний вузол.

Наслідки порушення безпеки – збиток, який виникає у зв'язку з проявом конкретних небезпек/загроз.

Введемо позначення:

A – наявність небезпек/загроз для розглянутого об'єкта;

P^{\min} – допустима ймовірність наявності небезпек/загроз для розглянутого об'єкта.

Тоді умова:

$$P(A) \leq P^{\min}, \quad (1)$$

відповідає ідентифікації стану об'єкта як «безпека», інакше стан об'єкта визначається як «небезпека».

Зазначимо, що нульова ймовірність наявності небезпек $P(A) = 0$ є практично недосяжною в судноплавстві з урахуванням постійної наявності таких чинників впливу як погодні умови, помилки/відмови судових систем (що характерно для будь-якої складної соціотехнічної/технічної системи).

Вочевидь, що оцінка $P(A)$ має базуватися на врахуванні ймовірностей подій $\{A_k^i, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, K_i}\}$ – наявності впливу k -го прояву i -го фактору, n – загальна кількість факторів що розглядаються, K_i – кількість розглянутих проявів i -го фактору.

Наприклад, якщо чинник, що розглядається, – погані погодні умови, то варіанти прояву чинника – шторм різної сили з наявністю або без дощу тощо. Оцінка (2) є досить складною, з урахуванням необхідності знань як про стан усіх судових систем та екіпажу, так і про ймовірності впливів різних зовнішніх факторів. Більше того, деякі з подій A_k^i можуть бути спільними, деякі – ні, тому практичний підрахунок (2) є досить складним завданням.

Крім того, важливе значення має можливий збиток C від порушення стану безпеки. Значення цієї випадкової величини $\{C_j, j = \overline{1, J}\}$ можливі з ймовірностями, які визначаються різними комбінаціями чинників, що впливають.

Для того, щоб було можливим практично оцінити ймовірність безпеки роботи суден, необхідно здійснити декомпозицію безпеки на різні її види, що дасть змогу коректно встановити логіку впливу чинників на складову безпеки, врахувати сумісність або несумісність впливу окремих чинників тощо.

Отже, під безпеко-орієнтованою роботою суден розумітимемо таку організацію роботи суден, за якої забезпечуються всі види безпеки операцій у рамках виробничих процесів, що є частиною транспортних процесів на морському транспорті.

Зазначимо, що виконання роботи з морського перевезення вантажів пов'язане з виконанням операцій у складі виробничого процесу, який у

сукупності з виробничими процесами інших учасників морського перевезення - стивідорних компаній, наприклад, формують власне

транспортний процес. Ці питання, зокрема, були детально розглянуті в [1], рис. 5.

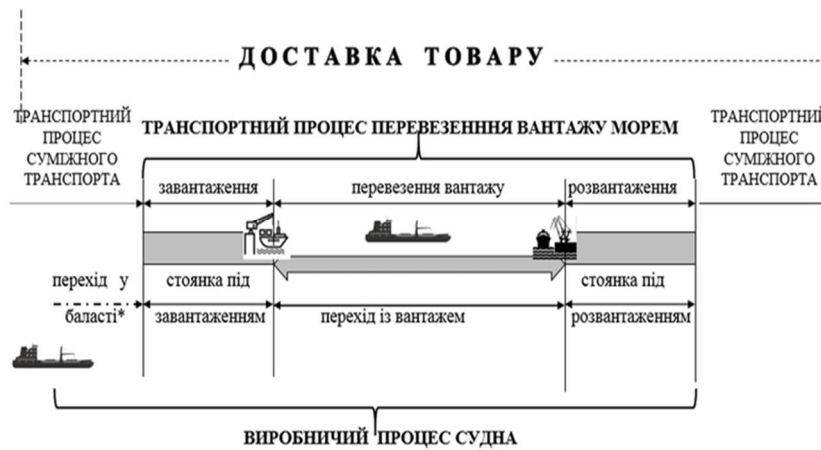


Рис. 5. Виробничий процес судна в рамках транспортного процесу

Кожна з представлених на мал.4 агрегованих операцій - стоянка судна під завантаженням, стоянка судна під розвантаженням, перехід судна з вантажем і перехід у баласті, являють собою складну систему операцій нижчого рівня (з більшим ступенем деталізації).

При цьому виконання деяких операцій пов'язане тільки з виробничим процесом судна без участі когось-небудь ще - наприклад, перехід судна з вантажем або в баласті. Тут безпека забезпечується тільки самим судном.

Деякі операції передбачають спільну роботу з іншими учасниками транспортного процесу - наприклад, у процесі стоянки судна в порту вантажні операції виконуються стивідорною компанією і, відповідно, виникає сукупність операцій різних виробничих процесів (різних учасників), що формують відрізок транспортного процесу. Це ж стосується бункерування, а також маневрених операцій, якщо їх розглядати як частину стоянки судна. Тут, відповідно, виникає спільна відповідальність за безпеку, але судно повинно контролювати всі виконувані операції.

З точки зору специфіки виробничого процесу роботи судна, можуть бути визначені такі чотири види безпеки: технічна, технологічна, навігаційна, екологічна.

Ці чотири види безпеки під час роботи суден, з одного боку, пов'язані зі специфікою різних виробничих операцій у процесі морського перевезення, з іншого боку, з різними аспектами розгляду судна (рис. 6).

Судно як керований рухомий об'єкт, що рухається, зумовлює навігаційну безпеку, порушення якої може становити загрозу не тільки для самого судна, а й для інших суден.

Судно як технічна система, що являє собою сукупність різних технічних підсистем (головна і допоміжна енергетичні установки, системи очищення баластних вод тощо) визначає розгляд технічної безпеки.

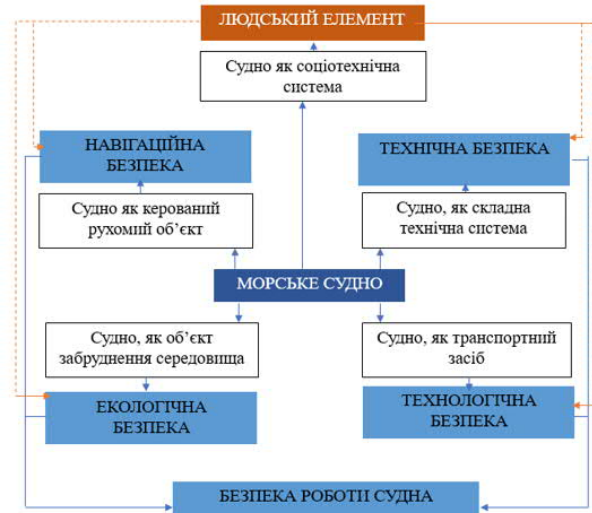


Рис. 6. Види безпеки в процесі роботи судна

Оскільки судно являє собою об'єкт, що забруднює середовище, – і атмосферу, і морську воду, навіть за умов нормально працюючих суднових систем, то логічним є розгляд екологічної безпеки. Крім того, судно як транспортний засіб є учасником транспортного процесу (процесу морського перевезення), де взаємодіє з іншими учасниками - стивідорними компаніями, бункерувальниками, суднами портофлоту, що передбачає виконання спільних операцій (про що йшлося раніше), у рамках певних технологічних процесів (наприклад, процесу навантаження

вантажу), а отже, необхідним є розгляд технологічної безпеки.

З урахуванням того, що судно є також соціо-технічною системою [12], людина або, використовуючи відповідну термінологію, людський елемент бере участь у формуванні або порушенні всіх виділених видів безпеки. Так, екіпаж керує судном і взаємодіє з усіма технічними системами судна, а також бере участь у всіх технологічних процесах з персоналом інших компаній-учасників процесу перевезення або обслуговування судна.

Отже, під цими видами безпечності будемо розуміти такі (див. рис. 7):

- технічна безпека, пов'язана зі справністю конструкції, належним функціонуванням обладнання та систем судна, а також з його відповідністю нормативним вимогам і стандартам безпеки.

- навігаційна безпека, що охоплює аспекти безпечної експлуатації судна, контроль за його рухом, станом навігаційного обладнання і обслуговуванням, а також навчання і тренування екіпажу в галузі безпеки керування судном.

- технологічна безпека (перевезення вантажів), що охоплює аспекти безпеки під час перевезення небезпечних вантажів, дотримання правил планування, розміщення, пакування та маркування вантажів, а також забезпечення їх безпечного укладання та закріплення на борту судна.

- ергономічна безпека, яка пов'язана із забезпеченням безпеки екіпажу і пасажирів на борту під час плавання, навчанням екіпажу заходам безпеки, наявністю необхідних засобів порятунку тощо.

- екологічна безпека, включає в себе заходи, спрямовані на збереження морського середовища та запобігання забрудненню водних ресурсів шляхом дотримання міжнародних норм і стандартів, використання екологічно чистих палив, ефективне управління відходами, моніторинг та контроль забруднення, а також освіта та навчання.

- організаційна безпека, пов'язана з правильною організацією роботи на борту судна, розробкою планів дій у надзвичайних ситуаціях, наявністю необхідного обладнання та засобів зв'язку, а також із дотриманням правил безпеки і нормативних вимог.



Рис. 7. Складові комплексної безпеки експлуатації судна

Такий поділ на види безпеки необхідний для повноти охоплення заходів, засобів і методів забезпечення безпеки роботи суден, бо кожний вид безпеки пов'язаний зі специфічним джерелом порушення безпеки внаслідок впливу різних чинників.

Рис. 8 відображає співвідношення виділених видів безпеки та етапів виробничого процесу роботи суден тому за основні види безпеки що будуть розглядатися прийматимемо наступні:

- технічну безпеку яка може розглядатися в рамках усіх етапів роботи суден, оскільки ті чи інші системи судна задіяні в усіх операціях, зокрема й енергетичні установки, які додатково є також основним джерелом забруднення середовища. Крім того, злив баластних вод теж становить потенційну загрозу середовищу.

- навігаційну безпеку пов'язану з рухом судна, тому розглядається на переходах судна в баласті або з вантажем.

- технологічну безпеку передбачає взаємодію з іншими учасниками транспортного процесу, що виникає в портах навантаження/розвантаження (зокрема, розміщення, закріплення та технології перевезення вантажів, бункерування судна, лоцманська проводка тощо).

- екологічну безпеку судна яка включає в себе комплекс заходів та технологій, спрямованих на зменшення негативного впливу судна на навколишнє середовище під час експлуатації.

Сукупність цих видів безпеки формує підсумкову безпеку всіх операцій виробничого процесу роботи суден.

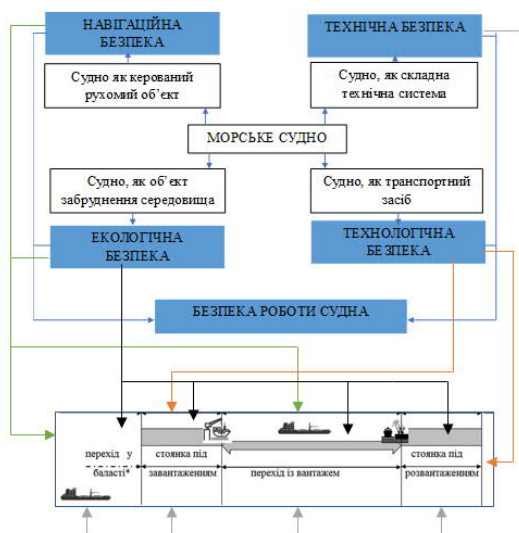


Рис. 8 Види безпеки за етапами виробничого процесу

Висновки

В даній статті була розглянута важлива проблематика забезпечення безпеки та оптимізації роботи суден у системі морських перевезень. Досліджено комплексну природу цієї проблеми, яка включає технічні, технологічні, навігаційні, екологічні та організаційні аспекти. Окрема увага була приділена важливості людського фактору в контексті забезпечення безпеки та оптимізації роботи суден адже екіпаж судна відіграє вирішальну роль в процесі управління операціями судна та процесі взаємодії з технічними системами, а також у виконанні технологічних процесів під час співпраці з іншими учасниками морських перевезень.

Розроблено підхід та новий погляд на розуміння та аналіз аспектів безпеки та оптимізації роботи суден у системі морських перевезень. Запропонований системний підхід надає можливість глибшого аналізу та покращення судових перевезень.

Додатково, враховуючи аналіз існуючих стандартів та нормативів, надано практичні рекомендації для оптимізації роботи суден у морських перевезеннях для підвищення ефективності та безпеки морських перевезень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Коскіна Ю. О. Система доставки вантажів як сукупність виробничих процесів її елементів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. № 3. С. 104-109. DOI: 10.31891/2307-5740-2019-270-3-108-113
2. Коскіна Ю. О. Декомпозиція процесу доставки вантажів за участі морського транспорту з позицій

процесного підходу. *Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського*. 2019. № 4. С. 128–133. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.4-2/21

3. Benabdelhafid A., Akkouri Z. Quality management approach in supply chain logistics case of shipping maritime transportations. *Polish Journal of Management Studies*. 2010. Vol. 2. P. 139–154.

4. Zhou, X., Yang, Y., Liu, Y., Feng, G., & Ren, H. A Data Driven Decision Support System for Structural Safety of Ships Moving in Waves. *Proceedings of the ASME 2023 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. Volume 2: Structures, Safety, and Reliability. Melbourne, Australia. June 11–16, 2023. V002T02A012. ASME. <https://doi.org/10.1115/OMAE2023-104753>

5. Zhang, S., Cheng, H., Deng, Z., Mei, L., Ding, L., Guo, C., Wang, X., Zhao, G. Navigational Safety Assessment of Ten-Thousand-Ton Vessels in Ship Tunnels by Ship Simulations. *Water*. 2023. №15. 3584. DOI:10.3390/w15203584.

6. Wahid, A., Jinca, M., Rachman, T., Malisan, J. Implementation of Safety Management System on Traditional Shipping for Strengthening the Blue Economy. *E3S Web of Conferences*. 2023. 425. 03002. DOI:10.1051/e3sconf/202342503002.

7. Bushuyev, S., Bushuyeva, N., Onyshchenko, S., Andrievska, V. Enthalpy as a measure of the organizations' potential. *Management of Development of Complex Systems*. 2022. 5-11. DOI:10.32347/2412-9933.2022.49.5-11.

8. Pavlova, N., Onyshchenko, S. Development and research of a model for optimizing the composition of a project-oriented forwarding company' suppliers. *Technology audit and production reserves*. 2021. №1. 36-42. DOI:10.15587/2706-5448.2021.225521.

9. Bushuyev, S., Bushuieva, V., Onyshchenko, S., Bondar, A. Modeling the Dynamics of Information Panic in Society. COVID-19 case. *Computer Modeling and Intelligent Systems*. 2021. №2864. 400-408. DOI:10.32782/cmis/2864-35.

10. Firdaus, M., Puannandini, D., Ramadhani, F. Legal Remedies for Preventing Uncertified Vessels: Following Their Expertise for Shipping Safety. *Jurnal pemuliaan hukum*. 2022. №5. 55-68. DOI:10.30999/jph.v5i1.2403.

11. Чимшир, В. И., Чимшир, А. В. Main aspects of organizational and economic mechanism formation to provide competitiveness of a maritime commercial port. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. 2(3(68), 21–25. DOI:10.15587/1729-4061.2014.23157

12. Шахов, О. В. Проекти, що визначають життєвий цикл соціотехнічної системи. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2012. №35. С. 211-217.

Надійшла до редколегії 06.11.2023.
Прийнята до друку 12.11.2023.

JUSTIFICATION OF THE CONCEPT OF SAFETY-ORIENTED SHIP OPERATIONS DURING CARGO TRANSPORTATION

Abstract. The article examines topical issues of maritime transportation safety in the context of modern transport production processes. A comprehensive analysis of the key factors affecting the safety of navigation is carried out, and a structured system for classifying these factors is developed. The main categories of safety, including technical, navigational, technological and environmental safety, are considered, and the role of the human factor in ensuring the safety of navigation is determined. Comprehensive research methods were applied, including the analysis of literature sources, statistical data, case studies and expert opinions. The result of the work is a developed system of concepts for ensuring safety in maritime transport, which can contribute to improving safety and reliability in this area. **Objective.** The purpose of the article is to conduct a comprehensive analysis of shipping safety issues in the context of modern transport production processes. The paper aims to thoroughly consider the key factors affecting the safety of maritime transportation and to provide a structured system for classifying these factors. Additionally, the article identifies the main safety categories and considers the role of the human factor in ensuring all aspects of shipping safety. As a result, a general approach to shipping safety is formulated, which takes into account all the necessary aspects and methods of ensuring safety in the process of maritime transportation. **Research methods.** This article uses a comprehensive research method, including the analysis of literary sources and scientific publications, the analysis of statistical data on incidents in maritime shipping, and also uses case studies and expert assessments. Additionally, the method of modeling situations that could potentially affect shipping safety was used. All these methods were used for a comprehensive review and classification of factors affecting safety and the development of a system of concepts for ensuring safety in maritime transportation. **Results.** As a result of the study, a comprehensive system of concepts for ensuring safety in maritime transportation was developed. It includes four main types of safety: technical, navigational, technological and environmental. Each of these aspects of safety has been analyzed in detail and classified depending on the stages of the shipping production process. **Scientific novelty.** The novelty of this article lies in the development of an approach to comprehensive analysis and security in maritime transportation, which can contribute to improving safety and reliability in this industry. **Practical significance.** The developed comprehensive system of concepts for ensuring safety during maritime transportation provides specific recommendations and methods for ensuring safety at various stages of ship operation, including cargo transportation and other ship operations.

Keywords: maritime transportation safety, shipping, technical safety, navigation safety, socio-technical system, human factor, maritime operations, safety standards

УДК 656.135

Є. М. ЛЕБІДЬ^{1*}, І. Г. ЛЕБІДЬ^{2*}, Н. О. ЛУЖАНСЬКА^{3*}

^{1*} Кафедра «Транспортне право та логістика», Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна, тел. +38 (073) 017 71 67, E-mail: eugene.lebed@gmail.com, ORCID 0000-0003-1794-8060

^{2*} Кафедра «Міжнародні перевезення та митний контроль», Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна, тел. +38 (068) 123 87 33, E-mail: i.h.lebed@gmail.com, ORCID 0000-0003-0707-4179

^{3*} Кафедра «Міжнародні перевезення та митний контроль», Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна, тел. +38 (098) 811 43 89, E-mail: Natali.Luzhanska@gmail.com, ORCID 0000-0002-1271-8728

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА ПРИ ВИКОНАННІ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Анотація. Метою роботи є удосконалення діяльності транспортно-експедиторського підприємства при організації доставки товарів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні. Досліджено процес взаємодії експедиторів з замовниками послуг з урахуванням їх індивідуальних характеристик як суб'єктів господарювання та вимог до обслуговування. Запропонована розробка дозволить керівникам транспортно-експедиторських підприємств планувати кадрове забезпечення підприємства з урахуванням тривалості обслуговування різних категорій замовників. **Методика.** Визначення тривалості та надійності транспортно-експедиторського обслуговування замовників при організації міжнародних перевезень виконувалась на основі імітаційної моделі, розробленої в програмному середовищі GPSS. **Результати.** Показники роботи транспортно-експедиторських підприємств залежить від ефективності організації праці фахівці всередині підприємства, їх взаємодії з замовниками та залученими посередницькими організаціями. Штатна чисельність експедиторів повинна плануватися керівництвом підприємства з урахуванням потоку замовлень на обслуговування. Враховуючи основні етапи транспортно-експедиторського обслуговування замовників та тривалість їх виконання, за допомогою розробленої імітаційної моделі стає можливим визначити наступні показники: середній час обслуговування; середній час простою в черзі; середню довжину черги; частку заявок, що обслужені без простою в черзі; імовірність відмови в обслуговуванні, надійність обслуговування; коефіцієнт завантаження експедиторів; середнє число зайнятих експедиторів; пропускну спроможність підприємства; кількість експедиторів, необхідних для роботи у штаті підприємства. **Наукова новизна.** Розроблена імітаційна модель роботи транспортно-експедиторського підприємства дозволяє здійснити планування роботи суб'єкта господарювання на основі впровадження організаційно-управлінських заходів з підвищення його конкурентоздатності. На відміну від існуючих, запропонована модель дозволяє досліджувати структури потоку замовлень та номенклатури вантажів, які надходять на обслуговування, що забезпечить можливість планування штатної чисельності експедиторів; розподіляти функціональні обов'язки експедиторів та прогнозувати тривалість виконання окремих видів робіт. **Практична значимість.** Практична значимість роботи полягає в тому, що запропонована модель дозволяє здійснити оцінку показників роботи транспортно-експедиторського підприємства при організації експорту та імпорту товарів різних категорій замовників. На основі результатів моделювання власник підприємства матиме можливість формувати кадрове забезпечення виходячи з потреб замовників у тривалості та надійності обслуговування. Окрім цього, системний підхід до організації бізнес-процесів дозволить забезпечити значні конкурентні переваги підприємства на ринку транспортно-експедиторських послуг.

Ключові слова: транспортно-експедиторське підприємство, експедитор, замовник, доставка, товар, експорт, імпорт, імітаційна модель, надійність.

Вступ

Діяльність транспортно-експедиторських підприємств пов'язана з високим рівнем конкуренції та суттєвими відмінностями у якості обслуговування між підприємствами, що існують на ринку України. Застосування сучасних підходів до управління бізнес-процесами дає можливість оптимізувати організаційні та технологічні

аспекти роботи суб'єкту господарювання. Формування концепції корпоративної етики взаємодії між фахівцями різних структурних підрозділів транспортно-експедиторського підприємства і їх співпраці з суб'єктами зовнішньоекономічної діяльності, які залучаються до виконання доставки товарів у міжнародному сполученні має вплив на тривалість, вартість, якість та надійність обслуговування. Безпосередня

ефективність роботи експедитора залежить від його професійних компетентностей, досвіду роботи, мотивації та навичок оперативного реагування на обставини, які потребують вирішення термінових або конфліктних питань.

Специфічними ознаками роботи транспортно-експедиторського підприємства є спектр послуг, який може надаватися замовникам та можливість розробки індивідуального підходу до їх обслуговування. Тривалість надання послуг за основними етапами транспортно-експедиторського обслуговування залежить від наявності попереднього досвіду співпраці з споживачем, напрямку перевезення, обсягів перевезень, виду вантажу та його фізико-хімічних властивостей. В свою чергу, надійність доставки визначається ступенем взаємодії з партнерськими організаціями, які залучаються експедитором до міжнародного перевезення. Можливість інтеграції різних бізнес-структур для досягнення спільної мети свідчить про високий рівень ділової комунікації на усіх рівнях співпраці.

Аналіз останніх публікацій та досліджень

Питання обмеженості ресурсів під час війни в сфері транспортно-експедиторського обслуговування потребує застосування в практичній діяльності суб'єктів господарювання сучасних технологічних рішень, здатних здійснювати аналіз їх діяльності для своєчасного реагування на внутрішні та зовнішні зміни, що можуть мати негативний вплив на показники ефективності. Особливо це питання актуальне за умови посилення інтеграційних процесів та застосування нових логістичних рішень в умовах блокування доступу до морських портів та аеропортів в Україні [1].

В працях [2-4] розглянуто організаційні процеси діяльності транспортно-експедиторських підприємств з урахуванням міжнародного досвіду доставки вантажів, проте, питання ефективності їх функціонування і можливі шляхи їх оцінки недостатньо висвітлені. Можливість оптимізації процесів транспортно-експедиторських підприємств, представлених у вигляді імітаційних моделей [5-7] враховують технологічну складову надання послуг замовникам, але не дають можливості індивідуального підходу до роботи з різними категоріями замовників. В роботі [8] автори досліджують стратегічні та когнітивні здібності людини для управління ланцюгами постачань, проте дослідження не передбачає оцінку впливу окремих його ланок на загальну ефективність. Публікації [9-11] присвячено розробці імітаційних моделей ланцюгів

постачання, що дають можливість отримати лише комплексні результати ефективності доставки. При цьому не враховуються внутрішні процеси, що відбуваються в організації яка входить до структури логістичного ланцюга.

Мета дослідження

Однією з найважливіших задач керівництва транспортно-експедиторських підприємств є планування роботи експедиторів з метою ефективного обслуговування замовників. Враховуючи структуру потоку споживачів, їх індивідуальні потреби в обслуговуванні стане можливим формування рекомендацій щодо необхідної кількості фахівців, здатних забезпечити роботу підприємства. Зазвичай, співпраця з новими замовниками займає більше часу для опрацювання інформації про організацію етапів роботи та безпосереднього надання послуг у порівнянні з постійними. В практичній діяльності транспортно-експедиторських підприємств тривалість обслуговування кожного замовника відрізняється. Для підвищення рівня конкурентоспроможності підприємства на ринку необхідно здійснювати аналіз існуючих замовників та перспективи розширення клієнтської бази підприємства на досліджуваній період. Це дозволить раціонально організувати роботи існуючих експедиторів та визначити доцільність розширення або скорочення штату фахівців.

На сьогоднішній день, кожне транспортно-експедиторське підприємство самостійно розробляє і впроваджує у діяльність інструменти, які забезпечують організацію та планування роботи персоналу. Тому, доцільним є розробка програмних комплексів, здатних відтворити усі етапи роботи експедитора при взаємодії з різними категоріями замовників та встановити їх вплив на ефективність роботи підприємства.

Постановка завдання дослідження

З метою розробки імітаційної моделі розглядається діяльність транспортно-експедиторського підприємства, що здійснює організацію доставки товарів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні.

Замовники транспортно-експедиторських послуг поділяються на категорії: замовники, що вперше звернулися; постійні замовники; замовники, що звертаються періодично (обслуговуються різними транспортно-експедиторськими

підприємства). Модель враховує розміри підприємств-споживачів, оскільки даний чинник має вплив на обсяги перевезень, що надходять на обслуговування. Їх розподіляють на категорії: великі підприємства, середні підприємства; малі підприємства; мікропідприємства. Експедитори

здійснюють надання послуг як при експорті, так і імпорті товарів автомобільним транспортом.

Процедура обслуговування замовників здійснюється за впорядкованою послідовністю дій експедитора і представлена у табл. 1

Таблиця 1

Етапи роботи експедитора

№	Ідентифікатор роботи	Етапи роботи експедитора
1	PR_1	Прийом заявки від замовника
2	PR_2	Заключення договору про надання транспортно-експедиторських послуг з замовником
3	PR_3	Пошук рухомого складу та транспортного підприємства для перевезення
4	PR_4	Планування оптимального маршруту перевезення вантажу
5	PR_5	Заключення договору про транспортне обслуговування з перевізником
6	PR_6	Підготовка документів для перевезення
7	PR_7	Організація підготовки митних документів
8	PR_8	Подача рухомого складу під завантаження
9	PR_9	Завантаження рухомого складу
10	PR_{10}	Виконання митних формальностей у країні відправлення
11	PR_{11}	Виконання митних формальностей у країні призначення
12	PR_{12}	Виконання розвантаження товару
13	PR_{13}	Виконання документальних формальностей щодо передачі товару вантажоодержувачу
14	PR_1	Виконання фінансових розрахунків за надані послуги

Процедура моделювання передбачає тривалість виконання кожного етапу обслуговування з урахуванням митного режиму переміщення товару, категорії замовника та розміру підприємства. Отримані результати дослідження дозволять визначити тривалість та надійність обслуговування замовників з урахуванням їх рівня взаємодії з транспортно-експедиторським підприємством.

Методи дослідження

З метою реалізації моделі роботи транспортно-експедиторського підприємства застосовано метод статистичних випробувань, що дає можливість розіграшу випадкових явищ. Внаслідок багатократного проведення таких розіграшів здійснюється накопичення статистичного матеріалу, який підлягає опрацюванню статистичними методами.

Імітаційну модель (ІМ) реалізовано в пакеті автоматизації імітаційного моделювання GPSS World, яка представляє собою машинну реалізацію статистичних випробувань та дозволяє автоматично отримувати результати моделювання.

Основний матеріал дослідження

У загальному вигляді модель функціонування діяльності транспортно-експедиторського підприємства представлена структурою:

$$F = \left\{ X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n \right\}, \quad (1)$$

$$G = \left\{ G_1, G_2, \dots, G_j, \dots, G_k \right\},$$

де X_i – параметри, що підлягають зміні при виконанні експериментів; G_j – множина змінних моделі, які можна вимірювати, але не можна ними керувати; n – загальна кількість параметрів моделі; k – загальна кількість змінних моделі.

Параметрами (X) моделі є:

- інтенсивність λ_i надходження заявок за митними режимами: λ_1 – експорт товару, λ_2 – імпорт товару;

- інтенсивність γ_i надходження заявок за категоріями замовників: γ_1 – постійні замовники; γ_2 – замовники, що звертаються періодично; γ_3 – замовники, що вперше звернулися;

- інтенсивність α_i надходження заявок за розмірами підприємства: α_1 – великі, α_2 – середні, α_3 – малі, α_4 – мікропідприємства.

Змінними (G) моделі (які можна вимірювати, але не можна ними керувати, та які набувають тільки тих значень, що характерні виключно для

даного об'єкта моделювання або умов його функціонування) ϵ : оцінка середнього часу $m_i \pm \sigma_i$ виконання i -ї роботи PR_i . Перелік робіт експедитора наведено в табл. 1.

Параметри, необхідні для моделювання випадкової величини, встановлюються в результаті статистичної обробки даних натурних досліджень. В якості основного порядку обслуговування заявок прийнято порядок FIFO (першим

надійшов – першим обслуговується).

Запропонована модель діяльності транспортно-експедиторського підприємства реалізована в пакеті автоматизації імітаційного моделювання GPSS World [12]. Приклад тексту ІМ діяльності транспортно-експедиторського підприємства в GPSS World наведено на рис. 1.

```

**** Таблиці для побудови гістограм ****
Wait_Ex_R  Qtable   Ex_R,0,30,10
Wait_Ex_P  Qtable   Ex_P,0,100,10
Wait_Ex_F  Qtable   Ex_F,0,400,10
Wait_Im_R  Qtable   Im_R,0,30,10
Wait_Im_P  Qtable   Im_P,0,100,10
Wait_Im_F  Qtable   Im_F,0,400,10

** Таблиця для визначення часу обслуговування **
T_Ex_R    Table    MP3,1100,150,9
T_Ex_P    Table    MP3,1100,200,9
T_Ex_F    Table    MP3,1400,350,9
T_Im_R    Table    MP3,1100,200,12
T_Im_P    Table    MP3,1100,200,12
T_Im_F    Table    MP3,1100,200,12

***** Вихідні дані для моделі *****
Forwarder Storage 7
**** Експорт. Постійний замовник ****
Generate 195,,,30
Mark     3
Queue    Ex_R
Transfer 0.15,,Met1
Enter    Forwarder
Depart   Ex_R
Advance  457,65
Leave     Forwarder
Advance  686,95
Transfer ,Met2
Met1     Enter    Forwarder
         Depart  Ex_R
         Advance 704,90
         Leave   Forwarder
         Advance 1056,125

For Help, press F1          Report is Complete.

```

Рис. 1. Частковий програмний лістинг імітаційної моделі, реалізованої авторами в GPSS World

GPSS World має високий ступінь візуального контролю проходження заявок через блоки GPSS-моделі з аналізом їх значень та параметрів.

Перевірка адекватності ІМ реальному об'єкту проводилась для випадку, коли можна визначити значення відгуків системи під час натурних випробувань. Для перевірки адекватності моделі перевірена гіпотеза про близькість середніх значень кожного відгуку моделі \bar{Y}

відомим середнім значенням відгуку реального об'єкту \bar{Y} . Проведено $N_1=5$ дослідів на реальному об'єкті і сформовано вибірку значень $\{Y_i\}$, $i=1,5$. За допомогою імітаційної моделі проведено $N_2=5$ дослідів, за відгуками моделі отримані вибірки значень $\{Y_i\}$; $i=1,5$.

Результати натурних і модельних експериментів представлені в табл. 2.

Перевірка адекватності імітаційної моделі

Від- гуки	Значення складових вибірки					Середнє значення відгуку \bar{Y}_n, \bar{Y}_n^*	Оцінка диспе- рсії відгуку \bar{D}_n, \bar{D}_n^*	Дисперсія рі- зниці D_{an}	t -стати- стика t_n
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$				
t_{1j}	1289	1279	1133	1256	1164	1281,24	7587,4	8132	0,4634
t_{1j}^*	1380	1312	1141	1174	1186	1267,6	8788,5		
t_{2j}	1448	1433	1141	1338	1174	1307,2	35036,7	29184,9	1,2327
t_{2j}^*	1542	1521	1622	1307	1258	1439,3	23348,9		
t_{3j}	2036	2139	1872	1364	1276	1326	146522	79045,8	0,8297
t_{3j}^*	2405	1878	1689	1823	1755	1885,5	11593,2		
t_{4j}	1457	1313	1139	1145	1134	1234,2	11133,3	8986,2	0,4365
t_{4j}^*	1440	1343	1233	1183	1242	1228,3	7759,3		
t_{5j}	1434	1431	1262	1284	1163	1284,2	14653,2	15545,4	0,4541
t_{5j}^*	1452	1413	1259	1221	1183	1329	16831		
t_{6j}	1624	1524	1446	1423	1375	1510,3	16429,3	13088,5	0,6137
t_{6j}^*	1625	1636	1486	1479	1463	1545,5	9743,9		
w_{1j}	76	58	47	13	14	42,24	656,4	645,49	0,4132
w_{1j}^*	75	64	57	19	26	46,28	696,3		
w_{2j}	178	125	75	13	14	85	5683,3	5642,1	0,1219
w_{2j}^*	195	134	68	18	25	84,6	5592,8		
w_{3j}	589	663	105	22	68	289,9	98974,5	91883,3	0,1478
w_{3j}^*	535	631	87	15	45	282,6	89632,5		
w_{4j}	76	68	34	16	23	42,45	758,3	645,2	0,2318
w_{4j}^*	73	63	47	18	24	48,24	532,8		
w_{5j}	76	65	54	15	37	46,2	625,7	638	0,2430
w_{5j}^*	72	74	64	14	45	52,62	646,8		
w_{6j}	73	67	88	12	58	59,22	846,2	1064,4	0,3987
w_{6j}^*	100	76	93	19	42	68	1234,2		
ψ_j	0,96	0,93	0,78	0,83	0,73	0,8598	0,0085	0,0058	1,1483
ψ_j^*	0,94	0,84	0,88	0,84	0,81	0,83	0,0029		

За вибітками визначено оцінки математичного очікування і дисперсії відгуків моделі та системи (табл. 2) за допомогою наступних співвідношень:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{Q_n}^* &= \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} Y_{Q_{nk}}^*; \\ D_n^* &= \frac{1}{N_1 - 1} \sum_{k=1}^{N_1} (Y_{Q_{nk}}^* - \bar{Y}_{Q_n}^*)^2; \\ \bar{Y}_n &= \frac{1}{N_2} \sum_{k=1}^{N_2} Y_{nk}; \\ D_n &= \frac{1}{N_2 - 1} \sum_{k=1}^{N_2} (Y_{nk} - \bar{Y}_n)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Основою перевірки гіпотези є різниця $E_n = (\bar{Y}_n - \bar{Y}_{Q_n}^*)$, оцінкою дисперсії якої буде:

$$D_{an} = \frac{(N_1 - 1)D_n + (N_2 - 1)D_n^*}{N_1 + N_2 - 2}. \quad (3)$$

Розраховані оцінки дисперсії D_{an} наведено в табл. 2.

Величини E_n і D_{an} є незалежними статистиками, тому можна використовувати t -статистику:

$$t_n = \left(\bar{Y}_n - \bar{Y}_{Q_n}^* \right) \sqrt{\frac{N_1 N_2}{D_{an} (N_1 + N_2)}}. \quad (4)$$

При кількості ступенів свободи $v = N_1 + N_2 - 2 = 8$ і рівні значущості $\alpha = 0,05$ за таблицями розподілу Стюдента визначено критичне значення ($t_{кр} = 1,85$). Порівнюючи кожне зі значень t -статистики в табл. 2 з $t_{кр}$ ($t_n \leq t_{кр}$), гіпотеза про близькість середніх значень відгуків моделі і

реального об'єкту приймається. Таким чином, можна говорити про адекватність ІМ і реального об'єкту.

Після завершення перевірки адекватності ІМ, необхідно провести оцінку похибки імітації, зумовлену наявністю в ІМ генераторів псевдо-випадкових чисел.

Для визначення похибки відгуків ІМ діяльності транспортно-експедиторського підприємства було проведено 10 імітаційних експериментів в серединній точці значень параметрів ІМ. При цьому в l -му імітаційному експерименті ($l=1, 10$) параметри ІМ не змінювалися, а модифікувалися лише початкові значення алгоритмів базових генераторів. У результаті імітаційного експерименту були сформовані вибірки з обсягом $N=10$ кожного k -го відгуку ІМ $\{Y_{nk}\}$. За цими вибірками обчислювалися оцінки математичного очікування і вибіркової дисперсії відгуків моделі (\bar{Y}_n, \bar{D}_n) за формулою (2). Результуючі значення похибок dY_n у відсотках для ІМ, розраховані за формулою (5), приведені в табл. 3.

$$dY_n = \frac{t_{0,05}}{\bar{Y}_n} \sqrt{\frac{\bar{D}_n}{N-1}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Точність імітації визначається за формулою:

$$d_{SM} = \max_n \{dY_n\}. \quad (6)$$

Таблиця 3

Оцінка похибки імітації відгуків імітаційної моделі

Відгуки	Похибка імітації dY_n %	Відгуки	Похибка імітації dY_n %
t_1	2,2	η_5	1,6
t_2	2,3	η_6	2,4
t_3	1,8	w_1	2,3
t_4	1,7	w_2	1,9
t_5	2,3	w_3	2,8
t_6	3,4	w_4	2,3
η_1	2,3	w_5	2,7
η_2	2,6	w_6	3,4
η_3	2,3	Ψ	2,5
η_4	3,9	-	-

Верхня межа похибки імітації дорівнює $d_{SM}=3,5$ % при допустимих 5 %. Отже, похибка імітації є незначною для даного дослідження. Результати моделювання наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Результати моделювання роботи транспортно-експедиторського підприємства

Основні показники моделювання	Експорт			Імпорт		
	постійні замовники Ex_R	замовники, що звертаються періодично Ex_P	замовники, що вперше звернулися Ex_F	постійні замовники Im_R	замовники, що звертаються періодично Im_P	замовники, що вперше звернулися Im_F
1	2	3	4	5	6	7
Середній час обслуговування, t_k , хв.	1124	1249	1336	1185	1217	1455
Середній час простою в черзі w_k , хв.	15	13	22	17	13	12
Середня довжина черги, η_k	0,076	0,024	0,023	0,048	0,023	0,017
Частка заявок, що обслужені без простою в черзі, v_k %	65	73	69	74	62	66
Імовірність відмови в обслуговуванні, q_k	-	-	-	-	-	-
Надійність обслуговування, p_k	0,93	0,84	0,83	0,92	0,86	0,81
Кількість експедиторів, n	7					
Коефіцієнт завантаження експедиторів, ψ	0,885					
Середнє число зайнятих експедиторів, ρ	6,321					
Пропускна спроможність, A , заявок / день	139					

Результати дослідження свідчать, що за точних умов роботи підприємства кадрове

забезпечення є достатнім для ефективного обслуговування замовників і не потребує

залучення фахівців. Додатковим підтвердженням є відсутність відмов в обслуговуванні і допустима завантаженість експедиторів.

Основними характеристиками роботи транспортно-експедиторського підприємства є визначення середнього часу обслуговування та надійності даного процесу (табл. 5).

Кожна категорія підприємств потребує доставки різних партій вантажу, що має вплив на тривалість вибору рухомого складу. Проте, налагодження комунікації на різних етапах співпраці з великими та середніми організаціями є ефективнішим у порівнянні з малими та мікропідприємствами.

Таблиця 5

Показники транспортно-експедиторського обслуговування за категоріями замовників

№	Тип замовлення	Категорія підприємства			
		Великі	Середні	Малі	Мікро
Середній час транспортно-експедиторського обслуговування t_k , хв.					
1	Експорт; постійні замовники (Ex_R)	963	1265	1184	1113
2	Експорт; замовники, що звертаються періодично (Ex_P)	1065	1539	1214	1148
3	Експорт; замовники, що вперше звернулися (Ex_F)	1132	1475	1365	1257
4	Імпорт; постійні замовники (Im_R)	1043	1273	1175	1118
5	Імпорт; замовники, що звертаються періодично (Im_P)	1072	1295	1219	1163
6	Імпорт; замовники, що вперше звернулися (Im_F)	1178	1568	1438	1367
Надійність транспортно-експедиторського обслуговування p_k					
7	Експорт; постійні замовники (Ex_R)	0,98	0,84	0,91	0,96
8	Експорт; замовники, що звертаються періодично (Ex_P)	0,96	0,65	0,88	0,93
9	Експорт; замовники, що вперше звернулися (Ex_F)	0,93	0,74	0,81	0,86
10	Імпорт; постійні замовники (Im_R)	0,97	0,83	0,92	0,96
11	Імпорт; замовники, що звертаються періодично (Im_P)	0,95	0,82	0,87	0,91
12	Імпорт; замовники, що вперше звернулися (Im_F)	0,91	0,7	0,77	0,81

Тривалість і надійність транспортно-експедиторського обслуговування різних категорій підприємств залежить від рівня їх технічного, технологічного та організаційного забезпечення при інтеграції з суб'єктами ринку транспортних послуг. Тому, досить перспективним напрямком є розробка програмних рішень, здатних здійснювати внутрішній аналіз показників роботи підприємства та застосовувати сучасні системи електронного документообігу та засобів передачі інформації для оперативної взаємодії з учасниками зовнішньоторговельної операції.

Висновки

Розроблена імітаційна модель роботи транспортно-експедиторського підприємства дозволяє визначити наступні параметри: кількість експедиторів, необхідних для роботи на підприємстві при наявному потоці замовлень; тривалість транспортно-експедиторського обслуговування, тривалість очікування у черзі на обслуговування, довжину черги на обслуговування окремої категорії замовників при експорті та імпорті товарів; пропускну спроможність

підприємства при наданні транспортно-експедиторських послуг; імовірність відмови в обслуговуванні за видами вантажів; оптимальна кількість експедиторів, що можуть бути в резерві для розширення можливостей підприємства; надійність транспортно-експедиторського обслуговування, яка визначається як оцінка імовірності своєчасного виконання транспортно-експедиторського обслуговування за видами вантажів.

Результати моделювання свідчать, що стійкі партнерські відносини з замовниками транспортно-експедиторських послуг забезпечують оптимізацію часових характеристик усіх етапів обслуговування. В свою чергу, показники надійності є вищими для постійних замовників у порівнянні з новими, оскільки, виникають ризики неврахування особливостей організації доставки та дій залучених посередницьких організацій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Разумова, К. М., Новальська, Н. І., Клименко, В. В. (2023). Особливості сучасного транспортно-експедиторського бізнесу. Системи та технології,

65(1), 124-130. URL: <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.1-65.15>

2. Сторчак, К. В. Специфіка організації міжнародної транспортно-експедиторської діяльності / Сторчак К. В., Кузнєцова К. О. // Актуальні проблеми економіки та управління : збірник наукових праць молодих вчених. – 2021. – Вип. 15. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52792>

3. Iwona Wasielewska-Marszałkowska. Directions of development of new forms of performance of logistics functions by forwarding (freight forwarders) in modern supply chains [Text] / I. Wasielewska-Marszałkowska // Torun Business Review. – 2015 – Vol. 14, No 1 – p.137-150. URL: <https://doi.org/10.19197/tbr.v14i1.19>

4. Озерська, Г. В. Транспортно-логістичне обслуговування міжнародних вантажних перевезень [Електронний ресурс] / Г. В. Озерська // Вісник економіки транспорту і промисловості. - 2014. - Вип. 47. - С. 34-38. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2014_47_9

5. Michal Sedláček. Optimization of Processes in a Freight Forwarding Company Using a Simulation Model / Michal Sedláček // MATEC Web Conf., 134 (2017) 00050 URL: <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201713400050>

6. Сергієнко О. А. Розроблення оптимізованої моделі логістичних ланцюгів постачання-розподілу підприємств / О. А. Сергієнко, І. П. Голофаєва, А. Д. Швець // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер. : Міжнародні економічні відносини та світове господарство. – 2019. – Вип. 28, ч. 2. – С. 98-105. URL: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2019-28-49>

7. Behnam Abdzadeh, Siamak Noori, Seyed Farid Ghannadpour. A comprehensive mathematical model for quality integration in a project supply chain with

concentrating on material flow and transportation [Text] / B. Abdzadeh, S. Noori, S. F. Ghannadpour. // Advanced Engineering Informatics. – 2023. – Volume 57, 102034. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102034>

8. Manuj, I. and Sahin, F. (2011), "A model of supply chain and supply chain decision-making complexity", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 41 No. 5, pp. 511-549. URL: <https://doi.org/10.1108/09600031111138844>

9. Abdulla, M. F. M. H. , & Musa, H. (2022). Mediation Model of Logistics Service Supply Chain (LSSC) Factors Affecting Organisational Performance. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 12(5), 294–310. Retrieved from <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/IJSCET/article/view/10558>

10. Yang, N., Ding, Y., Leng, J., & Zhang, L. (2022). Supply Chain Information Collaborative Simulation Model Integrating Multi-Agent and System Dynamics. Promet – Traffic&Transportation, 34(5), 711–724. <https://doi.org/10.7307/ptt.v34i5.4092>

11. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Halona, I., Horban, A., Mykhailenko, I., Medvediev, I., & Sotnikova, T. (2023). Construction of a simulation model of goods delivery in international road transportation taking into account the functioning efficiency of logistics supply chain. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(3 (123), 57–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280886>

12. GPSS World Reference Manual / Minuteman Software. – Holly Springs NC, 2001. – p. 305.

Надійшла до редколегії 16.11.2023.

Прийнята до друку 28.11.2023.

ІЕ. LEBID, І. LEBID, N. LUZHANSKA

MODELING THE ACTIVITY OF A TRANSPORT AND FORWARDING ENTERPRISE WHEN PERFORMING INTERNATIONAL ROAD TRANSPORTATION

The purpose of the paper is to improve the activities of a transport and forwarding enterprise in the delivery of goods by road transport in international traffic. The process of interaction between freight forwarders and service customers, taking into account their individual characteristics as business entities and service requirements was researched. The proposed development will allow managers of transport and forwarding enterprises to plan workforce provision, considering the duration of service for different customer categories. **Methods.** The determination of the duration and reliability of transport and forwarding services to customers in organizing international transportation was carried out based on a simulation model developed in the GPSS software environment. **Results.** The performance indicators of transport and forwarding enterprises depend on the efficiency of work organization by specialists within the enterprise, their interaction with customers, and involved intermediary organizations. The staff size of freight forwarders should be planned by the enterprise management, taking into account the flow of orders for service. Considering the main stages of transport and forwarding service to customers and the duration of their execution, the developed simulation model allows determining the following indicators: average service time, average queue waiting time, average queue length, the share of orders serviced without waiting in line, probability of service refusal, service reliability, load coefficient of freight forwarders, average number of occupied freight forwarders, enterprise throughput, and the number of freight forwarders needed for staffing the enterprise. **Scientific novelty.** The developed

simulation model of a transport and forwarding enterprise's operation allows planning the work of a business entity based on the implementation of organizational and managerial measures to increase its competitiveness. Unlike the existing ones, the proposed model allows to study the structure of the flow of orders and the range of cargoes that arrive for service, which will ensure the possibility of planning the staffing of forwarders; to distribute the functional responsibilities of forwarders and forecast the duration of certain types of work. **Practical significance.** The practical significance of the paper lies in the fact that the proposed model allows evaluating the performance indicators of a transport and forwarding enterprise in organizing the export and import of goods for various customer categories. Based on the simulation results, the enterprise owner will be able to form workforce provision based on customer needs for service duration and reliability. In addition, a systematic approach to the organization of business processes will ensure significant competitive advantages of the enterprise in the market of transport and forwarding services.

Keywords: transport and forwarding enterprise, freight forwarder, customer, delivery, simulation model, reliability.

УДК 656.025.4

Ю. Л. ХОМЕНКО^{1*}, А. М. ОКороков^{2*}

^{1*} Каф. «Транспортні системи та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373-15-70, ел. пошта yurkahom@gmail.com, ORCID 0009-0003-2386-0062

^{2*} Каф. «Транспортні системи та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373-15-70, ел. пошта a.m.okorokov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-3111-5519

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПОРТНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ ЗЕРНОВИХ З УКРАЇНИ

Мета. Після початку повномасштабної військової агресії російської федерації проти нашої країни порушилася більшість логістичних ланцюгів, в тому числі із забезпечення експорту зернових. Поточна система перевезень зосереджена на перевезенні збіжжя до західних кордонів із подальшим перевантаженням до вагонів європейської колії, що є складним та дорогим варіантом. Для забезпечення відновлення повноцінного експорту зернових доцільно провести дослідження щодо витоків та обсягів переміщення зернових, шляхів перевезення та альтернативних варіантів. Відповідно, метою дослідження є визначення основних пунктів зародження та погашення вантажопотоків зернових експортного сполучення в Україні та встановлення напрямку вдосконалення транспортно-технологічних ліній експорту зернових з України у глобальних ланцюгах постачання. Проаналізовано обсяги зародження вантажопотоків по залізничних станціях України. Обґрунтовано наукові методи та спосіб вдосконалення транспортно-технологічних ліній експорту зернових. **Методи.** Виконано аналіз літературних джерел, що дозволило встановити, що портовий напрямок є основним при виконанні перевезень зернових. Проаналізовано особливості формування вантажопотоків зернових експортного спрямування. Використано методи математичної статистики, теорії імовірності, теорії множин, теорії алгоритмів, теорії транспортних процесів та систем, теорії систем. Встановлено, що розподіл обсягів зародження зернових вантажопотоків по залізничних станціях відправлення у 2021 / 2022 маркетинговому році у більшості підпорядкований несиметричним законам розподілу. Найменше відхилення спостерігається при апроксимаціях Коші та Гама-розподілом. Виконано статистичний аналіз вагонопотоків із зерновими вантажами, що дозволило отримати наступні результати: математичне сподівання становить 55,8 вагона, стандартне відхилення 58,0 вагона, коефіцієнт варіації 1,04. **Наукова новизна.** Науковою новизною, що отримана в результаті дослідження, якому присвячена стаття є одержана апроксимована щільність розподілу обсягів зародження зернових вантажопотоків по залізничних станціях відправлення (на прикладі 2021 / 2022 маркетингового року). **Практична значимість.** Встановлені математичне сподівання та рівень кореляції зародження зернових вантажопотоків по залізничних станціях відправлення (на прикладі 2021 / 2022 маркетингового року). В подальших дослідженнях одержані результати будуть використані в якості вихідних даних для моделювання роботи системи транспортування зернових вантажів у напрямку західних кордонів, а в перспективі – у напрямку чорноморських портів України.

Ключові слова: перевезення зернових, пункти зародження вантажопотоків, транспортно-технологічні лінії, щільність розподілу обсягів відправки зернових.

Вступ

Підвищення ефективності та оптимізація параметрів транспортної системи України залишається першочерговим завданням в умовах зростання виробництва в аграрному та продовольчому секторах української економіки. Виробництво в українському аграрному секторі протягом останніх двох десятиріч зростає і наразі становить значну частку в загальному товарному обсязі та зовнішньоекономічному обігу.

Отже, за підсумками 2021 календарного року спостерігався найбільший в історії України обсяг експорту пшениці та макаронних виробів більше 20 млн тонн. Обсяг заморожених ягід (та інших фруктів) становив близько 76 тис. тонн.

Враховуючи останні події, пов'язані з агресією РФ проти України та окупацією південних регіонів, блокуванням морських торговельних портів, економіка України стикається з труднощами у функціонуванні транспортної системи, реалізації зовнішньоекономічних зв'язків. Особливої складності набувають глобальні процеси постачання виробленої в країні сільськогосподарської продукції на експорт. Світова спільнота вже стикнулася із погіршенням ситуації, пов'язаною з продовольчою кризою в країнах Африки та Азії. Тому на сьогодні й існує науково-прикладна проблема оптимізації параметрів національної транспортної системи з метою забезпечення сталого експортного потенціалу

українського аграрно-промислового комплексу. Отже першочерговим науковим завданням є дослідження кореспонденції вантажопотоків зернових з України у глобальних ланцюгах постачання.

Мета дослідження

Метою дослідження є визначення основних пунктів зародження та погашення вантажопотоків зернових експортного сполучення в Україні та встановлення напрямку вдосконалення транспортно-технологічних ліній експорту зернових з України у глобальних ланцюгах постачання. Для досягнення мети необхідно:

1. Проаналізувати обсяги зародження вантажопотоків по залізничних станціях України.
2. Обґрунтувати наукові методи та спосіб вдосконалення транспортно-технологічних ліній експорту зернових.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Огляд літературних джерел показав, що питаннями організації транспортування зернових вантажів займалися як вітчизняні, так і закордонні дослідники. Вони досліджували різні аспекти цього питання, як технологічну, так і інфраструктурну складову.

Так робота [1] присвячена «класичному» варіанту експорту зернових вантажів з використанням експортно-орієнтованої мережі елеваторів та залізничного транспорту. Використовуючи сучасний математичний апарат в роботі була розроблена методика визначення районів концентрації зернових вантажів та відповідних ним вузлових залізничних станцій. Проте, як вже зазначалося, стаття орієнтується на «класичний» варіант, де зернові залізницею спрямовуються до морських портів з метою подальшого перевезення на експорт.

До початку повномасштабної військової агресії проти нашої країни, експорт вантажопотоків здійснювався здебільшого саме через морські порти. Відповідно [2], до широкомасштабного вторгнення РФ в Україну через морські порти здійснювалося понад 70 % усього товарного експорту з нашої країни.

Це також зазначено у роботі [3], де авторами виконано аналіз роботи припортових станцій України, та відмічено, що станом на 2020 рік одним із основних видів вантажів, що перероблялися на них, є зернові, які поступалися за обсягом тільки рудним вантажам.

Наразі агрокомплекс змушений конкурувати з гірничодобувною промисловістю за обсяги

експортних перевезень залізницею. У травні з 3,8 млн тонн експортованих вантажів сільгосппродукції було лише 752 тис. тонн, або 20%. Також відзначено, що конкуренція відбувається не лише за пропускну здатність на кордоні, а й за рухомий склад для перевезення, зокрема, в європейських країнах, де відбувається перевантаження [4]. Це доводить, що експорт зернових, навіть в умовах військової агресії, є критичним елементом української економіки, що забезпечує значні надходження до державного бюджету.

У роботі [5] автори дослідили перспективи транспортування зернових вантажів на експорт із застосуванням контейнерів, було надано оцінку економічної ефективності такого варіанту у порівнянні із перевезенням залізничним транспортом у зерновозах. Там же зазначено, що зерно є значним джерелом валютних надходжень в Україну: частка зернових у загальному обсязі експорту за 10 років зросла з 3,5% (1,35 млрд. USD) у сезоні 2007/2008 до 16,5% (6,4 млрд. USD) у сезоні 2017/2018, поступаючись наразі тільки експорту чорних металів (19,9%). Проте, зважаючи на значні обсяги перевезень, така технологія може бути лише частковим рішенням проблеми експортних перевезень зернових. Крім того залишається не вирішеною проблема обмеженої пропускну спроможності прикордонних перевантажувальних станцій та ділянок.

Основний матеріал дослідження

Згідно з даними на травень 2022 року [6], загальний обсяг зовнішньої торгівлі пшеницею в 2021/22 році становить 19,99 млн тонн, що на 3,5 млн тонн менше, ніж у попередньому сезоні. При цьому за останні 10 років (тобто з МР 2011/12) показник зріс на 6,38 млн тонн (+47%).

Відповідно до офіційних статистичних даних [7], рейтинг найбільших країн-експортерів пшениці у 2021/22 МР виглядає наступним чином (рис. 1).

Україна входить в п'ятірку найбільших експортерів зерна пшениці, небагато поступаючи США. Основними експортерами зернових та бобових з України на початок 2022 року є країни Азії, Тихоокеансько-Азіатського регіону, Африки, Близького сходу (рис. 2) [8].

Слід зазначити, що всі експортери знаходяться на значній відстані від України, що ще раз підтверджує важливе місце України у глобальному ринку виробництва та постачання зерна пшениці.

У табл. 1 наведено детальну статистику структури українського експорту зернових, бобових

та борошна за 2022/2023 та 2021/2022 маркетингові роки [9]. Більшу частка припадає на зерно кукурудзи та пшениці. Разом з тим достатньо експортується зерно ячменя та жита.

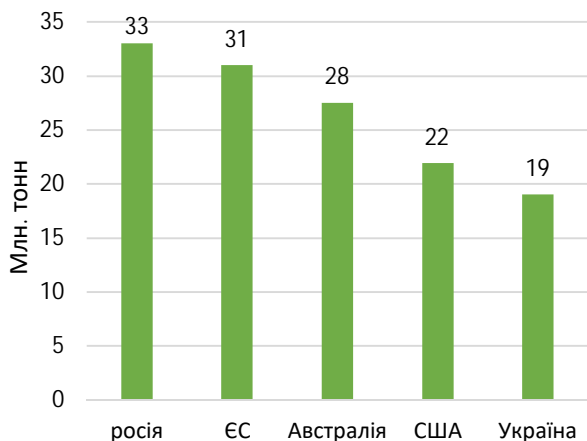


Рис. 1. Рейтинг експортерів зерна пшениці за 2021/22 маркетинговий рік, млн. т

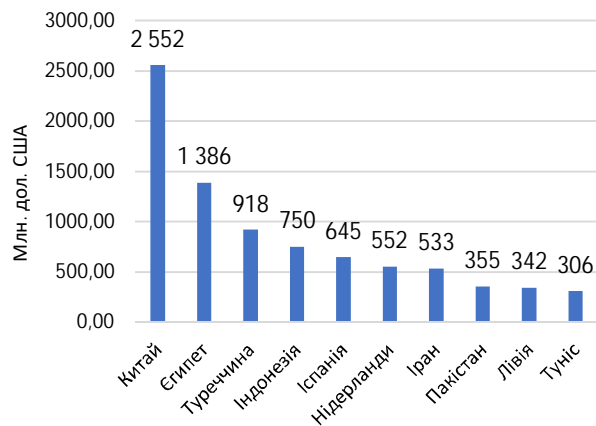


Рис. 2. Рейтинг імпортерів продукції зернових та зернобобових України за 2021/22 маркетинговий рік, млн. дол. США

Урожай зернових та зернобобових культур у різних регіонах України на 1 грудня 2021 року наведено на рис. 3 [10].

Таблиця 1

Структура виробництва та постачання основних зернових та бобових культур в Україні за 2021/2022 та 2022/2023 маркетингові роки

Товарна група	2022/2023 МР		2021/2022 МР	
	Всього	в тому числі: у січні 2023	Всього	в тому числі: у січні 2022
Зернові та зернобобові, всього	22761	15	33198	725
пшениця	8411	0	16102	200
ячмінь	1626	0	5196	0
жито	12,5	0	121,5	0,2
кукурудза	12639	15	11536	522
Борошно пшеничне, тис. тонн	65,6	0	58,6	0,1
Борошно інше, тис. тонн	3,4	0	0,9	0
Борошно разом, тис. тонн у перерахунку на зерно, тис. тонн	69	0	59,5	0,1
Експорт разом (зерно + борошно)	22853	15	33278	726

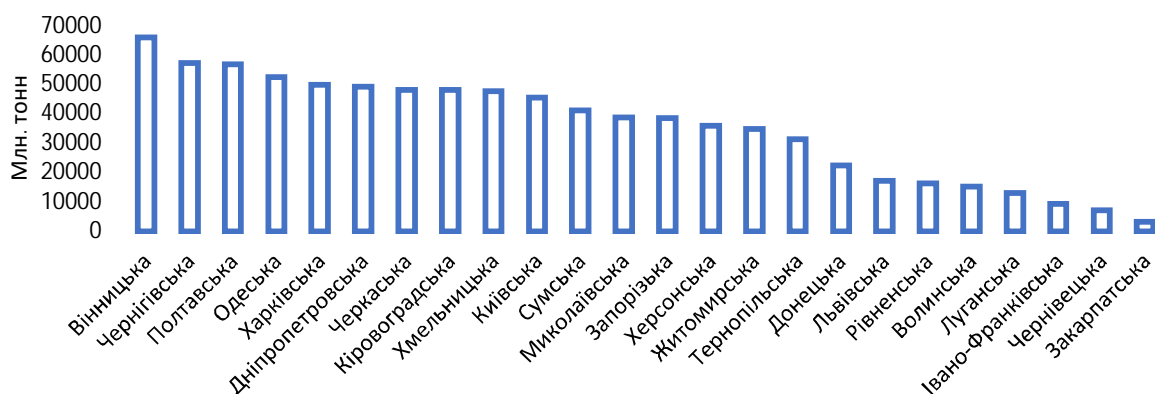


Рис. 3. Рейтинг виробників зернових та бобових за регіонами України за маркетинговий рік 2021/22 (млн тонн)

Аналіз обсягів експорту зернових та бобових українською залізницею показав, що найбільші обсяги на початку 2022 року були на Південно-Західній та Південній залізницях (рис. 4) [10].

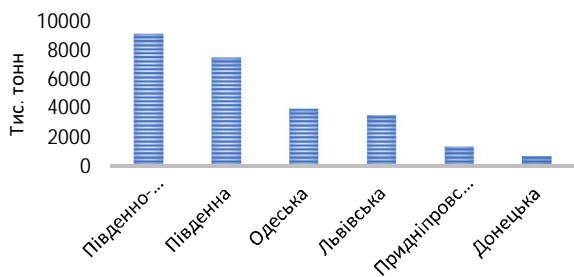


Рис. 4. Рейтинг регіональних філій АТ «Укрзалізниця» за обсягом експорту зернових та бобових у 2021 році (в тис. тонн)

Також існує значна неоднорідність у класифікації зерна за розміром розподілу (автомобілі), що здебільшого пов'язано з впливом місцевих умов щодо походження зернових вантажопотоків та доступності транспорту зерна агротрейдерами. Стан залізничної інфраструктури такий, що кількість залізничних станцій, відкритих для місцевого вантажного транспорту, різко скоротилася (рис. 5) [10].

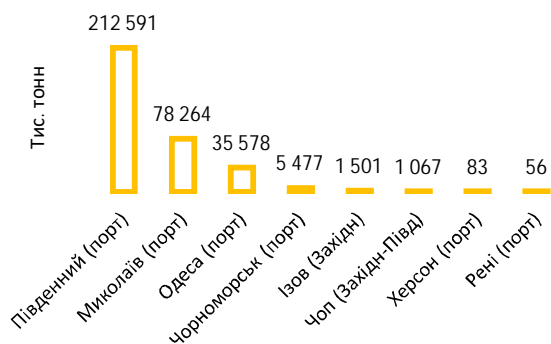


Рис. 5. Рейтинг пунктів пропуску міждержавного кордону за річним обсягом перевезень вантажівками, по станціях мережі, 2021 рік.

Враховуючи те, що умови маршруту від кожного джерела вантажопотоку до морських торгових портів однакові (усі порти розташовані в південно-західній частині України), відповідне співвідношення вантажопотоку виглядає наступним чином (рис. 6).

Станом на кінець 2021 року загальний обсяг експортованих вантажів становить близько 28,414 млн тонн без урахування разових автомобільних перевезень у міжнародних перевезеннях.

Водночас після початку агресії з боку РФ, окупації частини Херсонської області та постійних обстрілів Миколаївського торговельного порту могли бути використані практично лише порти «Великої Одеси»: Одеса, Чорний Мор, Південне море та інші південно-західні порти, такі як Рейні.

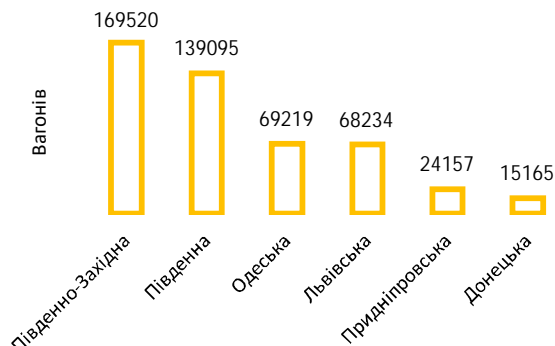


Рис. 6. Рейтинг регіональних філій АТ «Укрзалізниця» за обсягом експорту зернових та бобових культур у 2021 році (тис. тонн)

Крім того, також розглядався варіант збільшення обсягів наземного транспорту в напрямку наземних прикордонних переходів, таких як Ягодин, Мостиська, Чоп та ін. Таким чином обсяг вантажів у напрямку Миколаєва та Херсона має бути переправлений на інші пункти пропуску. Тому решта вантажу відправлялась через сухопутний коридор Ягодин (залізнична станція Ізов).

При аналізі вантажопотоків ключовим є встановлення нерівномірності їх формування, щільності розподілу та інших параметрів стохастичного процесу. При аналізі середньо-місячних обсягів відправки вагонів із зерновими на експорт за даними 2021 / 2022 маркетингового року встановлено, що щільність розподілу показника найщільніше апроксимується експонентним розподілом та іншими, «несиметричними» розподілами (таблиця 2, рис. 7).

Таким чином, подальше наукове завдання зводиться до пошуку найкращої відповідності вантажопотоку до ефективності організації перевізної роботи, де критерієм оптимальності можуть бути мінімальні загальні техніко-експлуатаційні витрати. Для вирішення поставлених завдань у наступних дослідженнях необхідно:

1. Створення оптимізаційної моделі на основі мінімальної сумарної вартості логістики поставання зерна від відправлення до прикордонного порту (порту, сухопутного порту).

2. Встановити оптимальне значення повної логістичної вартості.

Масиви даних апроксимації теоретичними законами розподілу щільності розподілу середньо-місячних обсягів відправки вагонів із зерновими на експорт за даними 2021 / 2022 маркетингового року

Порядок	Сер значення інтервалу	Фактичні частоти	Інтегральна фактичних частот	Інтегральна фактичних частот (відсоток)	Експоненційний розподіл	Ерланга розподіл	Гамма розподіл	Вейбула розподіл	Копі розподіл
1	10,0	2198	2198	19%	3540,1	3540,1	3285,8	3399,2	1784,3
2	30,0	4531	6729	57%	2473,5	2473,5	2702,8	2496,7	3462,0
3	50,0	1787	8516	72%	1728,3	1728,3	1944,0	1781,0	1968,0
4	70,0	1129	9645	82%	1207,6	1207,6	1343,6	1256,3	820,8
5	90,0	557	10202	86%	843,7	843,7	910,8	880,4	413,3
6	110,0	373	10575	90%	589,5	589,5	610,3	614,1	243,2
7	130,0	322	10897	92%	411,9	411,9	405,8	426,9	158,9
8	150,0	173	11070	94%	287,8	287,8	268,4	295,9	111,5
9	170,0	189	11259	95%	201,1	201,1	176,8	204,6	82,4
10	190,0	126	11385	96%	140,5	140,5	116,0	141,2	63,3
11	210,0	82	11467	97%	98,2	98,2	76,0	97,3	50,2
12	230,0	73	11540	98%	68,6	68,6	49,7	66,9	40,7
13	250,0	54	11594	98%	47,9	47,9	32,4	46,0	33,7
14	270,0	55	11649	99%	33,5	33,5	21,1	31,5	28,3
15	290,0	40	11689	99%	23,4	23,4	13,7	21,6	24,1
16	310,0	35	11724	99%	16,3	16,3	8,9	14,8	20,8
17	330,0	16	11740	99%	11,4	11,4	5,8	10,1	18,1
18	350,0	24	11764	100%	8,0	8,0	3,8	6,9	15,9
19	370,0	18	11782	100%	5,6	5,6	2,4	4,7	14,1
20	390,0	17	11799	100%	3,9	3,9	1,6	3,2	12,6
21	410,0	7	11806	100%	2,7	2,7	1,0	2,2	11,3
22	430,0	7	11813	100%	1,9	1,9	0,7	1,5	10,2
$\chi^2 =$					2648,7	2648,7	2606,0	2626,2	1191,7
Параметри законів розподілу					-	Параметр Ерланга $k = 0$	Параметр форми 1,228	Параметр a 1,035	Параметр центру a 31,066
					-	-	Параметр масштабу 44,823	Параметр b 57,457	Параметр масштабу c 21,670

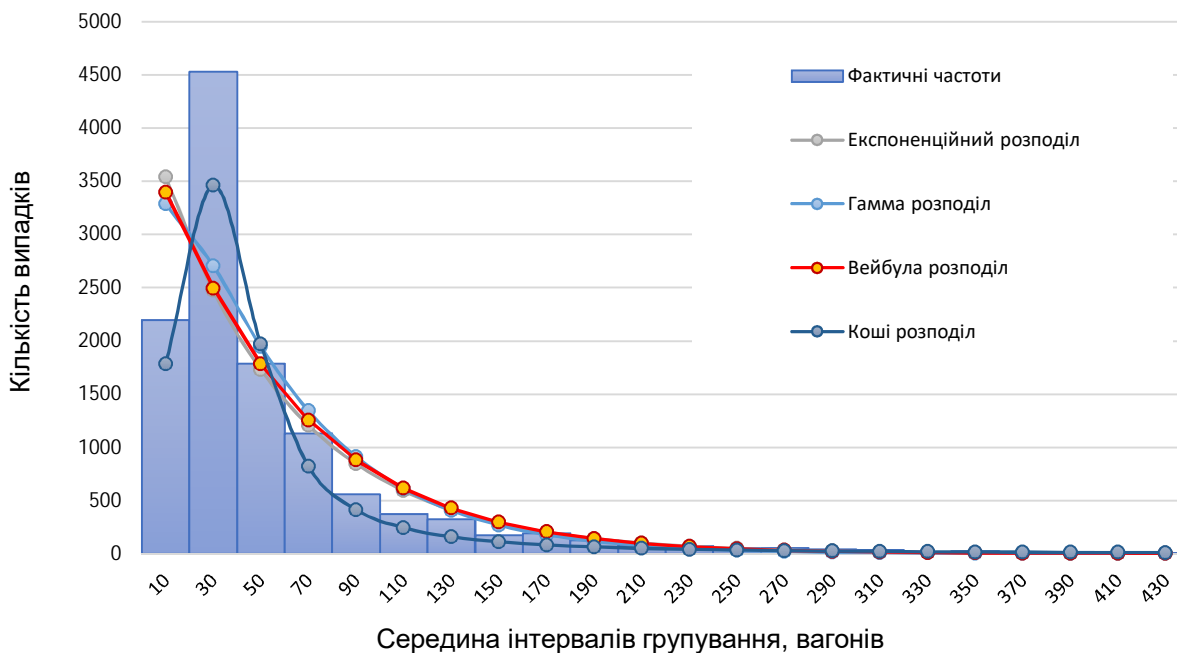


Рис. 7. Графіки апроксимації теоретичними законами розподілу щільності розподілу середньо-місячних обсягів відправки вагонів із зерновими на експорт за даними 2021/2022 маркетингового року

Висновки

За результатом виконаного дослідження експортних вантажопотоків зернових з України можна сформулювати наступні висновки:

1. Розподіл обсягів зародження зернових вантажопотоків по залізничних станціях відправлення у 2021 / 2022 маркетингового році у більшості підпорядкований несиметричним законам розподілу. Найменше відхилення спостерігається при апроксимаціях Коші та Гама-розподілом. При чому математичне сподівання становить 55,8 вагонів, стандартне відхилення 58,0 вагонів, коефіцієнт варіації 1,04.

2. В сучасних умовах нестабільності глобальних маршрутів постачання зернових з України на світові ринки залишається актуальним розробка нових транспортно-технологічних ліній перевезення зернових. Отже подальше наукове завдання зводиться до пошуку найкращої відповідності вантажопотоку до ефективності організації перевізної роботи, де критерієм оптимальності можуть бути мінімальні загальні техніко-експлуатаційні витрати.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз логістичних ризиків перевезення вантажів зернової групи в європейські порти з використанням контейнерної технології / М. І. Березовий та ін. *Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2020. № 20. С. 86–94

2. Проблеми експортних перевезень залізничним транспортом України. *Національний інститут стратегічних досліджень*. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/problemy-eksportnykh-perevezen-zaliznychnym-transportom-ukrayiny>

3. Аналіз техніко-технологічних параметрів припортових залізничних станцій України / О. О. Чернова та ін. *Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2021. № 22. С. 36–47

4. Проблеми експорту агропродукції залізничним транспортом. *Укрінформ: мультимедійна платформа іномовлення України*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-presshall/3516309-pro-problemi-eksportu-agroprodukcii-zaliznicnim-transportom.html>

5. Перспективи експортних перевезень зернових вантажів у контейнерах / Р. В. Вернигора та ін. *Транспортні системи і технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2018. № 16. С. 22–30.

6. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE: official web site. URL: <https://www.usda.gov/>

7. Названо ТОП-10 найбільших імпортерів українського зерна за минулий рік. *Latifundist.com – головний сайт про агробізнес*. URL: <https://latifundist.com/novosti/58224-nazvano-top-10-najbilshih-importeriv-ukrayinskogo-zerna-za-minulij-rik>

8. 2021 року Китай посилив свої позиції лідера топ-10 імпортерів українського збіжжя – Богдан Духницький. *Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»*. URL: <http://www.iae.org.ua/presscenter/archnews/3319-2021-roku-kytay-posylyv-svoiyi-pozytstiyi-lidera-top-10-importeriv-ukrayinskoho-zbizhzhya-bohdan-dukhnitskyy.html>

9. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Експорт з України зернових, зернобобових (з продуктами їх переробки) та борошна 2022/2023 МР, тис. тонн станом на 04.01.2023. *Міністерство аграрної політики та продовольства України*. URL: <https://minagro.gov.ua/investoram/monitoring-stanu-apk/eksport-z-ukrayini-zernovih-zernobobovih-ta-boroshna>

10. *Державна служба статистики: офіційний сайт*. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

Надійшла до редколегії 26.10.2023.
Прийнята до друку 06.11.2023.

Yu. KHOMENKO, A. OKOROKOV

STUDY OF EXPORT FREIGHT FLOWS OF GRAIN FROM UKRAINE

Purpose. After the beginning of the full-scale military aggression of the Russian Federation against our country, most of the logistics chains, including those related to ensuring the export of grain, were disrupted. The current system of transportation is focused on the transportation of grain to the western borders with further transshipment to wagons of the European track, which is a difficult and expensive option. In order to ensure the restoration of full-fledged grain export, it is advisable to conduct research on the origins and volume of grain movement, transportation routes and alternative options. Accordingly, the purpose of the study is to determine the main points of origin and repayment of cargo flows of grain export connections in Ukraine and to determine the direction of improvement of transport and technological lines of grain export from Ukraine in global supply chains. The volumes of cargo flow generation at the railway stations of Ukraine were analyzed. The scientific methods and methods of improving the transport and technological lines of grain export are substantiated. **Methods.** An analysis of literary sources was carried out, which made it possible to establish that the port direction is the main one for grain transportation. The peculiarity of the formation of export grain cargo flows is analyzed. Methods of mathematical statistics, probability theory, theory of sets, theory of algorithms, theory of transport processes and systems, theory of systems are used. It has been established that the distribution of the volumes of seed cargo flows by railway stations of departure in the 2021 / 2022 marketing year is mostly subject to asymmetric distribution laws. The smallest deviation is observed with Cauchy and Gamma distribution approximations. A statistical analysis of wagon flows with grain loads was performed, which allowed us to obtain the following results: the mathematical expectation is 55.8 wagons, the standard deviation is 58.0 wagons, the coefficient of variation is 1.04. **Scientific novelty.** The scientific novelty obtained as a result of the research to which the article is devoted is the obtained approximate density of the distribution of the volumes of grain cargo flows at the railway stations of departure (on the example of the 2021 / 2022 marketing year). **Practical significance.** The mathematical expectation and level of correlation of the origin of grain cargo flows at the railway stations of departure are established (on the example of the 2021 / 2022 marketing year). In further studies, the obtained results will be used as initial data for modeling the operation of the grain cargo transportation system in the direction of the western borders, and in the future - in the direction of the Black Sea ports of Ukraine.

Keywords: transportation of grain, points of origin of cargo flows, transport and technological lines, density of distribution of volumes of grain shipment.

УДК 656.073.7

О. І. ХАРЧЕНКО^{1*}, О. М. САКАЛЬ^{2*}, А. С. КАРАПИШ^{3*}

^{1*} Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 734-27-43, ел. пошта o.i.kharchenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-2068-0640

^{2*} Магістр, каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 515-50-58

^{3*} Аспірант, каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 640-96-78

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

Мета. Транспортні витрати збільшують вартість продукту на третину, а в деяких випадках доставка вантажу збільшує вартість товару на величину еквівалентну вартості самого товару. Тому, зменшення частки транспортних витрат є пріоритетним завданням значної кількості підприємств. Одним із способів досягання мети щодо зменшення транспортних витрат є ефективне використання та розподіл рухомого складу. Метою даної статті є дослідження питання оптимізації розподілу рухомого складу при перевезеннях вантажів автомобільним транспортом та розробка математичної моделі для вирішення задачі оптимального розподілу транспортних засобів, яка враховує реальні потреби вантажовласників та можливості автотранспортних підприємств при розподілі транспортних засобів по лініям перевезень. **Методика.** Задачею дослідження є ефективне використання рухомого складу для доставки вантажу між вантажовідправниками та вантажоодержувачами у повному обсязі за критерієм ефективності – мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу. Об'єктом моделювання є процес розподілу транспортних засобів. Для розв'язання такого типу задачі було використано метод оптимізаційного моделювання, який дозволяє оптимально закріпити одержувачів вантажу за вантажовідправниками. **Результати.** У статті наведена математична модель задачі оптимального розподілу транспортних засобів, яка вирішує задачу сформульовану наступним чином: за заданими напрямками доставки вантажу та об'ємами перевезень по ним та певної кількості автомобілів різних типів, необхідно розподілити рухомий склад для забезпечення доставки вантажу кожному клієнту у повному обсязі та найбільш ефективно. **Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у розробці математичної моделі, яка дозволяє вирішувати задачу оптимального розподілу рухомого складу у випадку недостатньої кількості автомобілів через збільшення кількості транспортних засобів (якщо є можливість до збільшення кількості рухомого складу для виконання заданого об'єму перевезень) або зменшення об'єму перевезень (коли відсутня можливість до збільшення кількості рухомого складу з врахуванням рівноцінності клієнтів щодо недовозу вантажу). **Практична значимість.** Практична значимість роботи полягає в тому, що розроблена математична модель дозволяє враховувати реальні потреби вантажовласників та можливості автотранспортних підприємств при розподілі транспортних засобів по лініям перевезень. На базі створених моделей можуть бути розроблені алгоритми для вирішення задач оптимального розподілу транспортних засобів, кожен із яких може бути запрограмований та реалізований за допомогою обчислювальної техніки та використовуватися для практичних розрахунків.

Ключові слова: розподіл рухомого складу, математична модель, лінійне програмування, автомобільний транспорт.

Вступ та постановка задачі

Транспортна галузь займає провідне місце в економіці країни. Головні позиції у транспортному секторі займають залізничний та автомобільний транспорт. Кожен з цих видів транспорту відіграє особливу роль та має певні переваги, тому вдосконалення функціонування кожного з них є важливою задачею перед державою для посилення економічних позицій [1].

Транспортування рухомим складом автомобільного транспорту включено до багатьох етапів виробництва будь-якого продукту.

Наприклад, перевезення сировини у місце виготовлення продукту, а далі доставка готової продукції у місце продажу даної продукції. Тому, крім собівартості виготовлення товару, вартість транспортування також має значний вплив на кінцеву вартість кожного продукту. У більшості випадків транспортні витрати складають третину всіх витрат, а в деяких випадках доставка вантажу збільшує вартість товару на величину еквівалентну вартості самого товару. Отже, зменшення частки транспортних витрат є пріоритетним завданням значної кількості підприємств.

Одним із способів досягання мети щодо зменшення транспортних витрат є ефективно використання та розподіл рухомого складу. Тож, задача оптимального розподілу рухомого складу є досить актуальною на сьогодні.

Також, аналіз останніх наукових публікацій у галузі оптимізації транспортного процесу показав, що проблема оптимізації транспортного процесу є не вичерпною та не втрачає своєї актуальності.

На початку дослідження був проведений аналіз літературних джерел [2-7] щодо технологічних параметрів, що найчастіше обиралися в якості критеріїв оптимізації. Даний аналіз дозволив зробити висновок, що єдиного універсального критерію оцінки ефективності експлуатації транспортних засобів не існує. Отже, вибір критерію необхідно проводити виходячи з умов перевезень і завдань, які необхідно вирішувати.

Вивчаючи роботи різних авторів було помічено, що оптимізація процесу транспортування проводиться по складовим процесу та різними методами моделювання. Так, наприклад, автори [8,9] у своїх роботах розглядають проблеми оптимізації маршрутизації та переміщення вантажопотоків. Оптимізацію вони проводять використовуючи аналітичні методи моделювання, описуючи об'єкт моделювання за допомогою детермінованих величин. У роботі [10] виконується моделювання транспортно-складської системи за допомогою теорії транспортного обслуговування, а в роботі [11] використовується метод на основі нечіткої логіки для моделювання логістичних транспортних систем. Отже, для моделювання задач оптимізації транспортних процесів існує значна кількість методів моделювання.

Крім того, аналіз літературних джерел допоміг виокремити основні напрямки оптимізації транспортних процесів:

- через вирішування задач маршрутизації [12-14];
- через розподіл транспортних потужностей [15-17];
- через оптимізацію ресурсів вантажних комплексів [18].

На базі проаналізованого матеріалу було виконано постановку задачі, що дало напрямок для подальшої розробки математичної моделі оптимального розподілу рухомого складу.

Таким чином, задачею дослідження є ефективно використання рухомого складу для доставки вантажу між вантажовідправниками та вантажоодержувачами у повному обсязі.

Критерієм ефективності є мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу.

Об'єктом моделювання є процес розподілу транспортних засобів.

Математична модель будується за заданими лініями перевезень та об'ємами перевезень по цим лініям.

Для транспортування вантажу є парк автомобілів, що характеризується кількістю, спеціалізацією та вантажопідйомністю транспортних засобів.

Для розв'язання такого типу задачі будемо використовувати метод оптимізаційного моделювання, який дозволяє оптимально закріпити одержувачів вантажу за вантажовідправниками.

Основна частина

Для подальшої роботи введемо наступні позначення:

n – кількість вантажоодержувачів або клієнтів;

Q_j – об'єм перевезень на j -й лінії ($j=1,2,\dots,n$);

m – кількість типів автомобілів, що використовуються під час перевезення вантажу;

a_i – кількість автомобілів i -ого типу ($i=1,2,\dots,m$);

q_i – вантажопідйомність автомобіля i -ого типу;

w_{ij} – продуктивність одиниці рухомого складу i -ого типу на j -й лінії (у j -ого клієнта);

x_{ij} – кількість автомобілів i -ого типу, що працюють на j -й лінії.

В математичній формі умова задачі, що розглядається, можна записати наступним чином: скласти план використання автомобілів

$X = \{x_{ij}\}$ за умов:

- кожному вантажоодержувачу вантаж має бути доставлено у повному обсязі:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

- кількість використаних при перевезення автомобілів кожного типу не може перевищувати наявну кількість:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

- змінні не можуть бути від'ємними:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Для того щоб вирішувати задачу та шукати оптимальне рішення необхідно встановити ознаку, за якою будуть порівнюватися варіанти під час моделювання. Тобто обрати критерій ефективності. Даний критерій є досить важливим, у зв'язку з тим, що від нього залежить ефект рішення задачі.

Критерієм ефективності є мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу, що використовується під час перевезення. Отже, задача про розподіл рухомого складу по лініям перевезень сформулюється наступним чином.

Необхідно мінімізувати сумарну вантажопідйомність автомобілів:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} \quad (4)$$

за умов

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i = 1, 2, \dots, m; \quad (6)$$

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Задача (4) – (7) відноситься до розподільчих задач лінійного програмування, в деяких джерелах її називають узагальненою транспортною задачею.

Якщо детально розглянути сформульовану задачу, то можна помітити що у випадку недостатньої кількості автомобілів для виконання заданого об'єму перевезень, система (5) – (7) не вирішується, тобто не має жодного припустимого значення. У такому випадку можливі два варіанти вирішення задачі:

- 1) збільшення кількості транспортних засобів;
- 2) зменшення об'єму перевезень.

Звісно, що прийняття будь-якого рішення з цих двох призводить до додаткових складнощів у організаційних процесах та вимагає обґрунтувань. Але на практиці використовують як перший так і другий варіант.

Тож, розглянемо обидва варіанти та формалізуємо процес прийняття рішення по кожному з них.

1. Рішення задачі через збільшення транспортних засобів

Для виконання потрібного об'єму перевезень недостатньо наявного парку рухомого складу,

але є можливість збільшити його. На перший погляд задачу визначення рухомого складу, що є достатнім для заданого перевезення, можна сформулювати як систему (8):

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ x_{ij} &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (8)$$

Формально рішення задачі (8) дозволяє визначити рухомий склад, який здатен перевезти заданий об'єм вантажу з мінімальною сумарною вантажопідйомністю. Але, якщо бути уважним, то можна помітити, що такий підхід правомірний тільки за умови повної відсутності рухомого складу. У випадку часткової нестачі рухомого складу рішення задачі (8) може привести до рекомендації не використовувати на заданих перевезеннях окремі одиниці транспортних засобів, а замість цього придбати нові автомобілі. Для уникнення такої проблеми, у задачу (8) включимо умову про придбання нових автомобілів тільки після використання всіх наявних:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq a_i, i = 1, 2, \dots, m.$$

Таким чином, задача, що розглядається, набуває наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &\geq a_i, i = 1, 2, \dots, m; \\ x_{ij} &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (9)$$

У моделі (9) рухомий склад, що визначається кількісно по кожному типу автомобілів обмежено тільки величиною наявного автопарку. Іноді доцільно обмежити і кількість автомобілів, що можуть бути придбані, тоді задача набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j=1,2,\dots,n; \\ b_i &\geq \sum_{i=1}^n x_{ij} \geq a_i, i=1,2,\dots,m; \\ x_{ij} &\geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n. \end{aligned} \quad (10)$$

Отже, якщо є можливість до збільшення кількості рухомого складу для виконання заданого об'єму перевезень та необхідність кількісно та якісно обґрунтувати це збільшення, можна використовувати моделі (9) або (10).

2. Рішення задачі через зменшення об'єму перевезень

Для виконання потрібного об'єму перевезень, недостатньо наявного рухомого складу і відсутня можливість збільшити його кількість. У такому випадку можемо говорити про розумне зниження обсягів перевезень. При цьому є декілька варіантів постановки задачі.

За першим варіантом, вважаємо, що всі клієнти рівноцінні, тобто неможливо віддати перевагу жодному вантажоодержувачу.

Через Δ_j обсяг вантажу, що було не доведено j -му вантажоодержувачу. Цей недовіз визначаємо як різниця між запланованим та фактичним об'ємом перевезення, тобто:

$$\Delta_j = Q_j - \sum_{i=1}^m w_{ij} \cdot x_{ij}, j=1,2,\dots,n. \quad (11)$$

Тоді, задачу оптимального розподілу транспортних засобів можна сформулювати як:

$$\max_j \Delta_j \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1,2,\dots,m; \quad (13)$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n. \quad (14)$$

Критерій (12) зобов'язує так розподілити наявний рухомий склад, щоб максимальна з величин запланованого недовозу вантажу кожному вантажоодержувачу була б мінімальною.

Якщо недовіз вантажу кожному клієнту відобразити у відносних одиницях, тоді вираз (11) набуває вигляду:

$$\alpha_j = \frac{\Delta_j}{Q_j}, j=1,2,\dots,n,$$

а задача розподілу рухомого складу:

$$\max_j \alpha_j \rightarrow \min; \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1,2,\dots,m; \quad (16)$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n. \quad (17)$$

Критерій (15) вимагає розподілити так наявний парк рухомого складу, щоб максимальна величина запланованого недовозу вантажу кожному клієнту, що виражена у відносних одиницях, була мінімальною.

Крім того, у якості показника ефективності розподілу рухомого складу можна прийняти мінімум сумарного недовозу всім вантажоодержувачам, тобто $\sum_{j=1}^n \Delta_j \rightarrow \min$.

Якщо перетворити цей вираз з врахуванням (11), отримаємо ще один критерій та нову модель задачі:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &\leq Q_j, j=1,2,\dots,n; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &\leq a_i, i=1,2,\dots,m; \end{aligned} \quad (19)$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n.$$

Підсумовуючи, можна сказати, у випадку коли всі клієнти рівноцінні і не можна віддати перевагу жодному з них, тоді розподіл транспортних засобів можна проводити по одному з трьох критеріїв: (12), (15) або (18). Кожен з них має свої переваги та застосовується в залежності від поставленої мети та умов перевезень. Критерій (12) та (15) доцільно використовувати у ситуаціях, коли бажано недовіз вантажу кожному вантажоодержувачу зробити майже однаковим. Проте, сумарний об'єм вантажу перевезень не буде максимальним. Критерій (18) доцільно застосовувати тоді, коли потрібно перевезти максимальний сумарний об'єм вантажу та відсутня необхідність зрівнювати величину недовозу кожному клієнту.

У випадку, коли клієнти не рівноцінні, необхідно кожному клієнту поставити коефіцієнт відносної важливості (цінності) $c_j (j=1, 2, \dots, n)$, що визначає у відносних одиницях шкоду, що наноситься j -ому клієнту під час недовозу йому 1 тони вантажу. Тоді критерій розподілу рухомого складу записується наступним чином

$$\sum_{j=1}^n c_j \cdot \Delta_j \rightarrow \min,$$

а з врахуванням формули (11)

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_j \cdot x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max,$$

та модель задачі набуває вигляду: або мінімізувати вираз:

$$\sum_{j=1}^n c_j \cdot \Delta_j \quad (20)$$

за умов

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &\leq Q_j, j=1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &\leq a_i, i=1, 2, \dots, m; \\ x_{ij} &\geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (21)$$

або максимізувати вираз

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_j \cdot x_{ij} \cdot w_{ij} \quad (22)$$

за тих же умов. Критерій (20) означає сумарну шкоду у відносних одиницях, що наноситься всім n клієнтам з причини недовозу їм необхідних обсягів вантажу. Рішення задач (20), (21) та (21), (22) дозволяє мінімізувати цю шкоду.

Якщо деяким клієнтам необхідно виконати заданий об'єм повністю, а іншим можливий недовіз, при чому з точки зору шкоди від цього клієнти рівноцінні. Тоді за аналогією вищезазначені математичні моделі розподілу рухомого складу формулюються наступним чином:

- при мінімізації максимальної з величин недовозу вантажу кожному клієнту в абсолютних одиницях:

$$\max_{j \in J_2} \Delta_j \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j \in J_1; \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1, 2, \dots, m;$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$$

- при мінімізації максимальної з величин недовозу вантажу кожному клієнту, що виражена у відносних одиницях:

$$\max_{j \in J_2} \alpha_j \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j \in J_1; \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1, 2, \dots, m;$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n.$$

- при мінімізації об'єму перевезень:

$$\sum_{j \in J_2} \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^m x_i \cdot w_{ij} = Q_j, j \in J_1;$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} \leq Q_j, j \in J_2; \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1, 2, \dots, m;$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n.$$

Множина J_1 включає в себе номери j тих клієнтів, вантаж яким має бути доставлено у повному обсязі, а множина J_2 – номери клієнтів, що залишилися, вантаж яким може бути не доставлено повністю або частково.

Припустимо, що одним клієнтам необхідно доставити вантаж повністю, а іншим можливий недовіз, при чому по втратах від невиконання перевезень останні нерівноцінні. Тоді математична модель задачі розподілу рухомого складу формулюється так:

$$\sum_{j \in J_2} \sum_{i=1}^m c_j \cdot x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max \quad (26)$$

за умов

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j \in J_1; \\
\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &\leq Q_j, j \in J_2; \\
\sum_{i=1}^n x_{ij} &\leq a_i, i = 1, 2, \dots, m; \\
x_{ij} &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n /
\end{aligned}
\tag{27}$$

Таким чином, у даному дослідженні були сформульовані різні математичні моделі задач оптимального розподілу рухомого складу, в залежності від конкретних умов перевезень.

Висновки

У даній статті наведена математична модель задач оптимального розподілу транспортних засобів, яка сформульована наступним чином: за заданими напрямками доставки вантажу та об'ємами перевезень по ним та певної кількості автомобілів різних типів, необхідно розподілити рухомий склад для забезпечення доставки вантажу кожному клієнту у повному обсязі та найбільш ефективно.

Для того щоб вирішити цю задачу було встановлено ознаку, за якою порівнювалися варіанти під час моделювання. Тобто був обраний критерій ефективності – мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу, що використовується під час перевезення.

При детальному розгляді сформульованої задачі, було помічено, що у випадку недостатньої кількості автомобілів для виконання заданого об'єму перевезень, система не має жодного припустимого значення. У такому випадку були розглянуті два варіанти вирішення задачі:

- збільшення кількості транспортних засобів;
- зменшення об'єму перевезень.

Тому було розроблено математичну модель оптимального розподілу транспортних засобів, якщо є можливість до збільшення кількості рухомого складу для виконання заданого об'єму перевезень, яка допомагає кількісно та якісно обґрунтувати це збільшення.

Для другого випадку, коли відсутня можливість до збільшення кількості рухомого складу, були розроблені моделі щодо зменшення об'єму перевезень. У моделях враховувалася рівноцінність клієнтів щодо недовозу вантажу.

На базі створених моделей можуть бути розроблені алгоритми для вирішення задач оптимального розподілу транспортних засобів, кожен із

яких може бути запрограмований та реалізований за допомогою обчислювальної техніки та використовуватися для практичних розрахунків.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Скукис А. Е. Оптимизационные задачи в транспортной логистике. *Теорія оптимальних рішень*. 2015. № 2015. С. 106-113.
2. Hennessy B. Utveckling priser kombinerade transporter företag. *Sverige*. 2004. P. 58–67.
3. Некрасов А. Г., Міротін Л. Б., Меланіч Е. В. Управління ланцюгами постачань у транспортному комплексі : К : Лінія, 2012. 192 с.
4. Перебийніс В. І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування : Полтава : РВВ ПУСКУ, 2005. 238 с.
5. Калиниченко А. П. Повышение эффективности совместной работы грузовых автомобилей и погрузочно-разгрузочных средств : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20 : ХНАДУ, Харьков, 2003. 19 с.
6. Рогач С. М. та ін. Економіка і підприємництво, менеджмент. Київ : Компрінт, 2015. 320 с.
7. Лукинський В. С., Плетньова Н. Г. Проблеми формування прикладної теорії логістики та управління ланцюгами поставок. Київ : Ліра, 2011. 206 с.
8. Eksioglu B., Vural A. V., Reisman A. The vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*. 2009. No. 4. P. 1472–1483.
9. Dabia S., Ropke S., Van Woensel T. Branch and cut and price for the time dependent vehicle routing problem with time windows. *Transportation Science*. 2010. No. 11. P. 56–62.
10. Кічкіна О.І. Моделювання поведінки транспортно-складської системи. *Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля*. Луганськ : СУНУ, 2012. № 6(177). С. 312–314.
11. Дудукалов Ю.В. Применение методов нечеткого моделирования для оптимизации транспортных систем. *Вісн. СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт* : Севастополь, 2011. С. 61–64.
12. Алькема В.Г. Маршрутизації доставки вантажів автомобільним транспортом. *Збірник наукових праць НТУ*. 2011. С. 108-113. URL: www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/cgiirbis_64 (дата звернення: 09.10.2023)
13. Бідняк М.Н., Мороз О. В. Оперативне управління перевезеннями вантажів малими партіями. Проблеми інформації та управління. *Зб. Наук. пр.* К : НАУ, ДДАТУ, 2013. вип. 7. С. 68-72
14. Нагорний Є.В., Левтеров А. І., Дорохов О.В. Ефективна реалізація інтерфейсу користувача при розробці інформаційних систем транспортного обслуговування. *Автомоб. трансп.: Зб. наук. пр.* : Харків, 2013. Вип. 12. С. 11-14
15. Бекетов О.Ю., Наумов В. С. Розрахунок раціональної структури парку рухомого складу. *Вісник ХНАДУ* : 2003. №22. С.65 - 68.
16. Панов С.А. Удосконалення перевезень на автомобільному транспорті : К. : Освіта, 2012. 153 с

17. Нагорний Є. В., Андросенко В. В. Методика вибору споживачем центру транспортного сервісу при нечіткому представленні переваг на множині альтернатив. *Автомобільний транспорт*. 2004. №14 С.72-74.

18. Забара С. С., Дехтярук М. Т. Розробка автоматизованої системи оптимізації роботи

перевантажувального комплексу. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. №1/3 (73). С. 8-14

Надійшла до редколегії 08.11.2023.

Прийнята до друку 22.11.2023.

O. KHARCHENKO, O. SAKAL, A. KARAPYSH

OPTIMIZATION OF THE DISTRIBUTION OF ROLLING STOCK DURING THE TRANSPORTATION OF GOODS BY ROAD TRANSPORT

Purpose. Transport costs increase the cost of a product by one third, and in some cases, the delivery of cargo increases the cost of goods by an amount equivalent to the cost of the goods themselves. Therefore, reducing the share of transport costs is a priority for many businesses. One of the ways to achieve the goal of reducing transport costs is through the efficient use and distribution of rolling stock. A purpose is the research and development of a mathematical model for solving the problem of optimal distribution of vehicles, which takes into consideration the real necessities of cargo owners and possibilities of trucking companies at distribution of vehicles to the lines of transportations.

Methodology. The research task is the efficient use of rolling stock for the delivery of goods between shippers and consignees in full according to the efficiency criterion – the minimum total carrying capacity of rolling stock. The object of modelling is the process of vehicle distribution. To solve this type of problem, the optimisation modelling method was used, which allows for the optimal assignment of consignees to shippers. **Findings.** This article provides the mathematical model of task of optimal distribution of vehicles, which solves the problem formulated as follows: according to the given direction of cargo delivery and volume of transportation along them and the determined number of trucks of different types, need to distribute the vehicles for ensure of delivery of cargo to each customer in full volumes and most effectively. **Originality.** Mathematical model allows to solve the problem of optimal distribution of vehicles in case of insufficient number of trucks in two different ways. In case of a possibility to the increasing of number of vehicles for performing of a given volume of transportations – due to the increasing of amount of vehicles. If there is no possibility to the increase of number of vehicles – due to reduction of volume transportations considering an equivalence of customers in case of under delivery of cargo. **Practical value.** Practical value is that a mathematical model allows takes into consideration the real necessities of cargo owners and possibilities of trucking companies at distribution of vehicles to the lines of transportations. On the basis of the created models there can be developed algorithms for the solving of tasks of optimal distribution of vehicles, each of that can be programed and realized by means of the computer technology and used for practical calculations.

Keywords: distribution of vehicles, mathematical model, linear programming, road transport.

Наукове видання

З Б І Р Н И К

наукових праць

**Дніпровського національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ»

Випуск 26

(українською та англійською мовами)

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
КВ № 17328-6098Р від 14.10.2010 р. видане Міністерством юстиції України*

Відповідальний за випуск *М. І. Березовий*
Комп'ютерне верстання *В. В. Малашкін*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Формат 60x84¹/₈. Ум. друк. арк. 11,55.

Адреса редакції та видавця:
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна
Тел.: +38 (056) 793-19-13, e-mail: n.berezovy@gmail.com
<http://tstt.diit.edu.ua>

ДЛЯ НОТАТОК