

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ТРАНСПОРТНИХ
СИСТЕМ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи

ПЕВТС.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 211-ОПУТ-Д24
спеціальності 275 / 275.02 (роботу виконано
самостійно, відповідно до принципів
академічної доброчесності)

(підпис)

Софія ЧИЖ

Керівник: доцент, канд. техн. наук
Ганна БОГОМАЗОВА

Рецензент: доцент, канд. техн. наук
Тетяна ГОЛОВКО

2026

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 16 слайдів презентації, 86 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 19 рисунків, 2 таблиці, 44 літературних джерел.

Ключові слова: ВЗАЄМОДІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ, ПЕРША МИЛЯ, ОСТАННЯ МИЛЯ, ПРИКОРДОННА СТАНЦІЯ, ПРИПОРТОВА СТАНЦІЯ, ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ЛОГІСТ.

Дослідження спрямоване на підвищення ефективності взаємодії транспортних систем під час експорту зернових вантажів, що має практичну цінність для забезпечення стійкості логістичних ланцюгів, зростання обсягів експорту та підвищення економічної ефективності транспортно-логістичного комплексу України.

У роботі формалізовано технологію управління експортних вантажів у вигляді оптимізаційної моделі, що враховує затримки на «першій та останній милі». Застосування такої технології дозволяє логісту по перевезенню зернових вантажів визначити оптимальну партію вагонів за мінімальний час транспортування при найменших експлуатаційних витратах у залежності від транспортної системи доставки вантажів, що сприятиме усуненню затримок на всьому шляху просування вагонопотоків.

Практичні результати роботи полягають у формуванні процедури оптимального управління параметрами перевезення зерна з урахуванням імовірності виникнення затримок на «першій та останній милі» із можливими фінансовими витратами залізниці разі виплати штрафу за прострочення терміну доставки вантажів. Запропонована технологія на основі оптимізаційної моделі надає можливість в автоматизованому режимі управляти вагонопотоками завдяки її впровадженню до автоматизованого робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку. Робота логіста веде до зменшення простоїв вагонів на стиках різних транспортних систем.

ABSTRACT

This qualification work includes 12 presentation slides, 86 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 19 figures, 2 tables, and 44 literature references.

Keywords: INTERACTION OF TRANSPORT SYSTEMS, FIRST MILE, LAST MILE, BORDER STATION, PORT STATION, OPTIMIZATION MODEL, LOGIS.

The study aims to improve the efficiency of transport systems during grain exports, which is of practical value for ensuring the stability of logistics chains, increasing export volumes, and improving the economic efficiency of Ukraine's transport and logistics complex.

The paper formalizes the technology of export cargo management in the form of an optimization model that takes into account delays in the «first and last mile». The use of this technology allows grain transport logisticians to determine the optimal batch

of railcars for minimum transportation time at the lowest operating costs, depending on the cargo delivery transport system, which will help eliminate delays along the entire route of railcar traffic.

The practical results of the work consist in the formation of a procedure for optimal management of grain transportation parameters, taking into account the probability of delays in the “first and last mile” with possible financial costs for the railway in case of payment of a fine for late delivery of goods. The proposed technology, based on an optimization model, makes it possible to manage railcar flows in an automated mode thanks to its implementation in the automated workplace of a logistics specialist for grain transportation in the direction. The work of the logistics specialist leads to a reduction in railcar downtime at the junctions of different transport systems.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доцент, канд. техн. наук

 Антон КОВАЛЬОВ

« 27 » жовтня _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Чиж Софії Романівні

1 Тема «Підвищення ефективності взаємодії транспортних систем»

керівник Богомазова Ганна Євгенівна, канд. техн. наук, доцент

затверджені розпорядженням по факультету Управління процесами перевезень
від 24 жовтня 2025 року № 19/25

2 Строк подання студентом роботи 02 січня 2026 року

3 Вихідні дані. Технологічний процес роботи вантажної станції. Технологічний процес роботи припортової станції. Статистичні показники перевезення вантажів при взаємодії різних видів транспорту та їх аналіз. Організація взаємодії залізниці з автомобільним транспортом. Організація взаємодії роботи станції з морським транспортом. Аналіз процесу доставки вантажів різними транспортними системами.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Дослідження техніко-економічних показників перевезення вантажів в Україні та за кордоном. Аналіз наукових досліджень в сфері організації взаємодії залізничного транспорту із різними перевізниками. Оцінка стану та тенденцій в сегменті перевезень останньої милі. Формування математичної моделі управління вантажними перевезеннями при взаємодії транспортних систем. Техніко-економічне обґрунтування впровадження інноваційного проекту.

5 Перелік графічного матеріалу. Мета і задачі дослідження. Об'єкт, предмет дослідження, наукова новизна. Обсяги перевезення вантажів залізницями України за видами сполучення. Загальний залізничний вантажообіг України за видами сполучення. Країни – імпортери зернових культур. Динаміка обсягів

перевезення зернових вантажів. Схема взаємодії транспортних систем. Причини затримки вагонів на «першій милі». Основні проблеми «останньої милі». Дослідження часу простою місцевих вагонів на прикордонних та припортових станціях. Математична модель технології управління вагонопотоками на стику різних транспортних систем з урахуванням можливих затримок на «першій та останній милі». Графічна інтерпретація результату моделювання. Структурна схема взаємодії учасників перевізного процесу з логістом. Розрахунок економічного ефекту від впровадження АРМ логіста на напрямку перевезення. Загальні висновки.

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування впровадження інноваційного проєкту	Євгеній БАЛАКА, доцент, канд. екон. наук		

7 Дата видачі завдання 27 жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

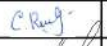
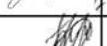
Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Дослідження техніко-економічних показників перевезення вантажів в Україні та за кордоном	14.11.2025	виконано
2 Аналіз наукових досліджень та виявлення перешкод при взаємодії різних транспортних систем	28.11.2025	виконано
3 Формування математичної моделі управління вантажними перевезеннями при взаємодії транспортних систем	12.12.2025	виконано
4 Техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованого робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку	22.12.2025	виконано
Оформлення роботи	16.01.2026	виконано

Студент  Софія ЧИЖ

Керівник  Ганна БОГОМАЗОВА

Зміст

Вступ	7
1 Дослідження техніко-економічних показників перевезення вантажів в Україні та за кордоном	10
1.1 Загальна характеристика ринку вантажних перевезень	10
1.2 Дослідження обсягів перевезення зернових вантажів	19
1.3 Міжнародний досвід організації перевезень зернових вантажів	24
2 Аналіз наукових досліджень та виявлення перешкод при взаємодії різних транспортних систем	29
2.1 Аналіз наукових досліджень в сфері організації взаємодії залізничного транспорту із різними перевізниками	29
2.2 Дослідження функціонування різних транспортних систем	33
2.3 Оцінка стану та тенденцій в сегменті перевезень останньої милі	43
3 Формування математичної моделі управління вантажними перевезеннями при взаємодії транспортних систем	49
3.1 Дослідження часових показників вагонопотоку в пунктах інтеграції транспортних елементів	49
3.2 Формалізація технології управління вагонопотоками на стику різних транспортних систем	57
4 Техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованого робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку	66
Висновки	79
Список використаних джерел	81

					ПЕВТС.300.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чиж				Підвищення ефективності взаємодії транспортних систем	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Богомазова					i	4	86
Н. контр.	Богомазова					УкрДУЗТ 6		
Затв.	Ковальов							

Вступ

Актуальність теми. Підвищення ефективності взаємодії транспортних систем у процесі експорту зернових вантажів є надзвичайно актуальним завданням для сучасної логістики України. Зерновий сектор формує значну частку валютної виручки країни, а його експортні потоки орієнтовані як на морські порти, так і на переходи через західні кордони. В умовах зростання попиту на українську аграрну продукцію, зміни напрямів логістичних маршрутів, коливання пропускної спроможності інфраструктури, а також нестабільності зовнішніх ринків, ефективна інтеграція автомобільного, залізничного та портового (або прикордонного) сегментів транспортних систем набуває стратегічного значення.

Оптимізація цих процесів передбачає вирішення ряду комплексних завдань: удосконалення технологій маршрутного перевезення зерна, використання цифрових інструментів планування та моніторингу, підвищення пропускної спроможності залізничних та портових потужностей, а також запровадження узгодженої тарифної та організаційної політики між суб'єктами транспортного ринку.

Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення ефективності взаємодії транспортних систем під час експорту зернових вантажів, є своєчасними, науково значущими та мають вагомий практичний цінність для забезпечення стійкості логістичних ланцюгів, зростання обсягів експорту та підвищення економічної ефективності транспортно-логістичного комплексу України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота виконувалась відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з

атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони (Угоду ратифіковано із заявою Законом від 16.09.2014 р. № 1678-VII), Програми розвитку залізничних станцій та переходів, що межують з країнами ЄС та Молдовою на 2022–2025 рр.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення технології взаємодії різних транспортних систем на основі формування автоматизованої системи управління перевізним процесом, яка дасть можливість логісту з перевезення експортних вантажів в оперативному режимі приймати обґрунтовані рішення щодо раціонального використання об'єктів транспорту та сприятиме усуненню затримок на першій та останній милі.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких задач дослідження:

- провести аналіз статистичних даних щодо перевезення вантажів залізницею;
- визначити основні причини затримок на першій та останній милі при взаємодії різних транспортних систем;
- формалізувати технологічний процес управління вагонопотоками на стику різних транспортних систем з урахуванням затримок на першій та останній милі у вигляді оптимізаційної математичної моделі;
- визначити економічну доцільність від впровадження посади логіста по перевезенню зернових вантажів на експорт.

Об'єкт дослідження – процес перевезення зернових вантажів на експорт на стику різних транспортних комплексів.

Предмет дослідження – технологія управління перевезеннями при взаємодії різних транспортних систем.

Методи дослідження. У роботі використано: метод математичної статистики для проведення аналізу основних експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту; аналіз Парето для визначення найрозповсюдженіших причин затримки вагонів на «першій милі»; метод стохастичного програмування для формування процедури оптимального управління параметрами перевезення

з найменшими експлуатаційними витратами залізниці; інтеграл Лебега-Стільтєса для відтворення природи невизначеності часу перебування вагонів на «першій та останній милі».

Наукова новизна. У роботі формалізовано технологію управління експортних вантажів у вигляді оптимізаційної моделі, що враховує затримки на «першій та останній милі». Застосування такої технології дозволяє логісту по перевезенню зернових вантажів визначити оптимальну партію вагонів за мінімальний час транспортування при найменших експлуатаційних витратах у залежності від транспортної системи доставки вантажів, що сприятиме усуненню затримок на всьому шляху просування вагонопотоків.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи полягають у формуванні процедури оптимального управління параметрами перевезення зерна з урахуванням імовірності виникнення затримок на «першій та останній милі» із можливими фінансовими витратами залізниці разі виплати штрафу за прострочення терміну доставки вантажів. Запропонована технологія на основі оптимізаційної моделі надає можливість в автоматизованому режимі управляти вагонопотоками завдяки її впровадженню до системи підтримки прийняття рішень на автоматизованому робочому місці логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку (АРМ логіста). Робота логіста веде до зменшення простоїв вагонів на стиках різних транспортних систем.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідались, обговорювались та схвалені на 85 студентській науково-технічній конференції, що проводилась в Українському державному університеті залізничного транспорту 10-11 грудня 2025 р. (м. Харків). Опубліковано тези доповіді.

Висновки

У роботі вирішено задачу формування ефективної автоматизованої технології взаємодії транспортних систем на залізничних напрямках перевезення зерна на експорт, яка дає можливість визначити оптимальну партію відправлення вагонів у поїзді за мінімальний час знаходження таких вагонів на «першій та останній милі» при найменших експлуатаційних витратах у залежності від транспортної системи доставки вантажів. Основні результати та висновки полягають у наступному:

1. Проведені дослідження показали, що основним видом сполучення за обсягами перевезення є внутрішнє, на другому місці – експорт. При цьому максимальний вантажообіг припадає на експортні вантажі. Найбільш стабільними та наймасовішими є експортні перевезення, які слідують в напрямку порту або західного кордону України. Такі напрямки є переважно завантаженими, на яких найчастіше виникають труднощі із пропуском поїздів. Тому доцільно досліджувати особливості організації вагонопотоків саме на напрямку перевезення експортних вантажів.

2. Аналіз доставки експортних вантажів показав, що найбільший час витрачається на знаходження вагонів на «першій та останній милі». У роботі досліджено основні причини затримки вагонів на цих етапах перевезення. Причинами виникнення затримок на «першій милі», як правило, є великий час на накопичення вагонів для формування маршрутної відправки із початкової станції слідування поїзда. Причинами виникнення затримок на «останній милі» є: технічні проблеми, такі як обмежена пропускна здатність залізничних ліній та прикордонних переходів; технологічні (недосконалий процес переміщення вагонопотоків); організаційні, до яких можна віднести наявність «бюрократичних» дублюючих процедур контролюючими органами різних країн; та управлінські, такі як, тривале погодження планів перевезень.

3. Для усунення затримок у перевізному процесі формалізовано технологічний процес управління вагонопотоками на стику різних транспортних систем з урахуванням величини додаткових витрат при можливості виникнення фінансових ризиків у вигляді оптимізаційної математичної моделі. Цільова функція моделі представляє сукупні експлуатаційні витрати при функціонуванні суміжних видів транспорту та враховує стохастичність часу знаходження вагонів на станції передачі вагонів до іноземної залізниці або морського порту. Сформована математична модель дозволяє управляти часом перебування вагонів «на першій та останній милі» із визначенням оптимальної партії вагонів у поїзді при отриманні найменших експлуатаційних витрат.

4. Для покращення взаємодії транспортних систем, операторів, перевізників та вантажовідправників, а також якості надання послуг щодо організації перевезень, у тому числі з іноземним перевізником, портом, послуг перевантаження вантажів або перестановки візків пропонується впровадження нового робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку. Автоматизація робочого місця передбачає прийняття своєчасного та швидкого оптимального рішення у перевізному процесі щодо усунення затримок на «першій та останній милі». Впровадження АРМ логіста веде до зменшення простоїв вагонів на станціях навантаження, прикордонних та припортових станціях. Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком від впровадження АРМ логіста надало можливість отримати 4725,07млн грн на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології управління транспортними системами. Позитивний ефект від впровадження автоматизованої технології отримуємо на перший рік експлуатації за рахунок зменшення часу простою вагонів.

Список використаних джерел

- 1 Богомазова Г.Є. Удосконалення технології перевезення масових вантажів залізницями України в умовах ринку транспортних послуг. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України*: тези доповідей на 4-й міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (сmt Коктебель, 2–7 червня 2008 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 22. Спеціальний випуск. С. 48.
- 2 Державна служба статистики України. Київ, 1998–2024. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
- 3 Вантажні перевезення "Укрзалізниці" в 2024 році // Центр транспортних стратегій. URL: https://cfts.org.ua/infographics/vantazhni_perevezennya_ukrzhaliznitsi_v_2024_rotsi.
- 4 Butko T., Kostiennikov O., Parkhomenko L., Prohorov V., Bogomazova G. Formation of an automated technology of cargo transportation control on the direction. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 1, № 3(97). P. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098.
- 5 Lomotko D.V., Alyoshinsky E.S., Zambrybor G.G. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 2762–2766.
- 6 Bohomazova H, Liuta O. The importance of forecasting volumes of cargo transportation on the railway. Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика: 19-а науково-практична міжнародна конференція. (Харків, 1-2 червня 2023 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 44 – 45.
- 7 Логістика та перевезення зерна в Україні // УкрАгроКонсалт. URL: <https://ukragroconsult.com/logistik/>.
- 8 Перевезення зерна залізницею через західні кордони значно скоротилося. URL: <https://agroportal.ua/ru/news/ukraina/perevezennya-zerna-zalizniceyu-cherez-zahidni-kordoni-znachno-skorotilosya>.

9 Аналіз вартості перевезення зернових вантажів залізничним транспортом в 2019 – 2023 рр. // Rail.insider. URL: <https://www.railinsider.com.ua/analiz-vartosti-perevezennya-zernovyh-vantazhiv-zaliznychnym-transportom-v-2019-2023-rropen/>.

10 "Укрзалізниця" зменшила перевезення зерна на 27% в 2025 році. Центр транспортних стратегій. URL: https://cfts.org.ua/news/2026/01/08/ukrzaliznitsya_zmenshila_perevezennya_zerna_na_27_v_2025_rotsi_85499.

11 Fourie C.J., Zhuwaki N.T. A modelling framework for railway infrastructure reliability analysis. *South African Journal of Industrial Engineering*. 2017. Dec. Vol 28(4). P. 150–160.

12 Ковальов А.О., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є., Керницький І.В., Мигалатій Є.А. Удосконалення процесу перевезення вантажів маршрутами у напрямку західних кордонів України. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2023. Вип. 206. С. 139–152. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.206.2023.296786>.

13 Експорт лише чотирьох ключових аграрних товарів з України щорічно становить близько 60 млн тонн. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/news/1526701>.

14 Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р / Кабінет міністрів України. Офіційний вісник України. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848. Код акта 90720/2018.

15 UNCTAD. Review of Maritime Transport 2019 // United Nations Conference on Trade and Development. 2020. URL: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2020>.

16 UNCTAD. Review of Maritime Transport 2022: Navigating stormy waters // United Nations Conference on Trade and Development, 2022. URL: <https://unctad.org/rmt2022>.

17 Khomenko Yu., Matsiuk V., Okorokov A., Gorobchenko O. Development of a simulation model of grain delivery in global supply chains. *Scientific Reports of*

the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 2024. 20(5). P. 21-35. doi: 10.31548/dopovidi/5.2024.21.

18 Naumov V., Nagornyi Iev., Litvinova Y. Model of multimodal transport node functioning. *Archives of Transport*. 2015. Vol. 36, iss.4. P. 43–54.

19 Wang E., Yang L., Li P., Zhang C, Gao Z. Joint optimization of train scheduling and routing in a coupled multi-resolution space–time railway network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vol. 147, 103994. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103994>.

20 Murali P., Ordóñez F., Dessouky M. Modeling strategies for effectively routing freight trains through complex networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vol. 70. P. 197-213. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.022>.

21 Lin B., Zhao Y., Lin R., Liu C. Integrating traffic routing optimization and train formation plan using simulated annealing algorithm. *Applied Mathematical Modelling*. Vol. 93, 2021. P. 811-830. DOI:10.1016/j.apm.2020.12.031.

22 Ломотько Д.В., Балака Є. І., Резуненко М. Є. Логістичні підходи щодо оптимізації складу маршрутних поїздів в системі «вантажовласник – залізниця». *Залізничний транспорт України*. 2020. № 4. С. 4-14. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/13270>.

23 Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є, Мішков В.С. Розробка моделі формування ступінчастих маршрутів із зерновими вантажами на залізницях України. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 187. С. 42-52. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/1799>.

24 Бутько Т.В., Харланова С.В., Шахраюк В.А. Підходи до удосконалення контейнерних інтермодальних перевезень в умовах впровадження приватної локомотивної тяги. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. № 1, 2021. С. 16-23. URL: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v26i1.229018>.

25 Pineda-Jaramillo J., Viti F. Identifying the rail operating features associated to intermodal freight rail operation delays. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 147, 103993. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103993>.

26 Wagener N., Aritua B., Zhu T., 2020. The New Silk Road: Opportunities for Global Supply Chains and Challenges for Further Development. *LogForum. Scientific Journal of Logistics*. 2020. Vol. 16 (2). P. 193-207. URL: <http://doi.org/10.17270/J.LOG.2020.403>.

27 Krauth M., Haalboom D. An Economic View on Rerouting Railway Wagons in a Single Wagonload Network to Avoid Congestion. *European Transport Research Review*. 2022. Iss. 14:48. 9 p. URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00573-y>.

28 Karam A., Reinau K. H., Østergaard C.R. Horizontal Collaboration in the Freight Transport Sector: Barrier and Decision-Making Frameworks. *European Transport Research Review*. 2021. Iss. 13(1):53. 22 p. URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00512-3>.

29 Svetashev A. , Kamaletdinov S., Svetasheva N., Mustaeva G. Formation of the Freight Trains With a Fixed Train Schedule. E3S Web of Conferences. CONMECHYDRO – 2021. 2021. Iss. 264, 05040. 8 p. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405040>.

30 Xiao J., Lin B., Wang J. Solving the train formation plan network problem of the single-block train and two-block train using a hybrid algorithm of genetic algorithm and tabu search. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2018. Vol. 86. P. 124–146. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.10.006>.

31 У 2025 році залізницею перевезено майже 29 млн т зернових вантажів // Rail.insider. URL: <https://www.railinsider.com.ua/u-2025-roczy-zaliznyczeyu-perevezeno-majzhe-29-mln-t-zernovyh-vantazhiv/>.

32 Aurambout J. P., Gkoumas K., Ciuffo B. Last mile delivery by drones: An estimation of viable market potential and access to citizens across European cities. *European Transport Research Review*. 2019. 11(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0368-2>.

33 Arnold F., Cardenas I., Sörensen K., Dewulf W. Simulation of B2C e-commerce distribution in Antwerp using cargo bikes and delivery points. *European Transport Research Review*. 2018. 10(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0272-6>.

- 34 Moshref-Javadi, M., Lee, S., & Winkenbach, M. Design and evaluation of a multi-trip delivery model with truck and drones. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2020. 136, 101887. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101887>.
- 35 Jovčić S., Simić V., Průša P., Dobrodolac M. Picture fuzzy ARAS method for freight distribution concept selection. *Symmetry*. 2020. 12(7), 1062. <https://doi.org/10.3390/sym12071062>.
- 36 Karagöz S., Deveci M., Simic V., Aydin N. Interval type-2 fuzzy ARAS method for recycling facility location problems. *Applied Soft Computing*. 2021. 102, 107107. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107107>.
- 37 Liang W., Dai B., Zhao G., Wu H. Performance evaluation of green mine using a combined multi-criteria decision making method with picture fuzzy information. *IEEE Access*. 2019. 7, P. 174139–174154. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2957012>.
- 38 Janjevic M., Winkenbach M., Merchán D. Integrating collection-and-delivery points in the strategic design of urban last-mile e-commerce distribution networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2019. 131, P. 37–67. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.09.001>.
- 39 Wang L., Peng J. J., Wang J. Q. A multi-criteria decision-making framework for risk ranking of energy performance contracting project under picture fuzzy environment. *Journal of Cleaner Production*. 2018. 191, P. 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.169>.
- 40 Практичні рекомендації з технологічного-економічного управління експлуатаційною роботою залізниць. Київ: Державна адміністрація залізничного транспорту України. Головне управління перевезень, 2006. 54 с.
- 41 Merkle M., Marinescu D., Merkle M. Lebesgue-Stieltjes integral and Young's inequality. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*. 2014. № 8(1). P. 60–72.
- 42 Merkle M., Marinescu D., Merkle M. Lebesgue-Stieltjes integral and Young's inequality. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*. 2014. № 8(1). P. 60–72.

43 Чих С., Богомазова Г. Підвищення ефективності взаємодії видів транспорту: тези 85 студентської наукової-технічної конференції. УкрДУЗТ. 2025 р. С. 357.

44 Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.