

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ В
УМОВАХ НАЯВНОСТІ ЕФЕКТУ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ»

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи

ФТУВУ.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 212-ОПУТ-Д23
спеціальності 275 / 275.02 (роботу виконано
самостійно, відповідно до принципів
академічної доброчесності)



Дмитро ВОРОНЬКО

Керівник: доцент, канд. техн. наук
Ганна БОГОМАЗОВА

Рецензент: доцент, канд. техн. наук
Оксана ПЕСТРЕМЕНКО-СКРИПКА

2025

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 12 слайдів презентації, 79 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 18 рисунків, 2 таблиці, 52 літературних джерел.

Ключові слова: УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ, ОСТАННЯ МИЛЯ, ПРИКОРДОННА СТАНЦІЯ, ЗАТРИМКА ВАГОНІВ, ЧЕРГА З ВАГОНІВ, ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ЛОГІСТ.

Об'єктом дослідження є процес переміщення експортних вагонопотоків із зерновими вантажами.

Предметом дослідження є технологія управління вагонами в умовах наявності ефекту «останньої милі».

Метою роботи є підвищення ефективності перевезення зернових вантажів у напрямку західних кордонів України шляхом раціонального використання об'єктів транспорту, що сприятиме усуненню затримок у перевізному процесі, зокрема на «останній милі».

У роботі формалізовано технологію процесу переміщення експортних вагонопотоків із зерновими вантажами у вигляді оптимізаційної моделі, що враховує ефект «останньої милі». Застосування такої технології дозволяє визначити імовірнісний час затримки вагонів та величину додаткових витрат через знаходження вагонів у черзі.

Для покращення взаємодії суміжних залізниць, операторів, перевізників та вантажовідправників, а також якості надання послуг щодо організації перевезень, у тому числі з іноземним перевізником, 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 ефекту «останньої милі». Впровадження автоматизованого робочого місця логіста веде до зменшення простоїв вагонів на прикордонних станціях та на підходах до них.

ABSTRACT

This qualification work includes 12 presentation slides, 79 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 18 figures, 2 tables, and 52 literature references.

Keywords: TRAFFIC FLOW MANAGEMENT, LAST MILE, BORDER STATION, WAGON DELAY, QUEUE OF WAGONS, OPTIMIZATION MODEL, LOGIST.

The object of the study is the process of movement of export carloads with grain cargoes.

The subject of the study is the technology of controlling wagons in the presence of the "last mile" effect.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the transportation of grain cargoes in the direction of the western borders of Ukraine through the rational

use of transport facilities, which will contribute to the elimination of delays in the transportation process, in particular at the "last mile".

The paper formalizes the technology of the process of movement of export wagon flows with grain cargoes in the form of an optimization model that takes into account the "last mile" effect. The use of such technology allows determining the probable delay time of wagons and the amount of additional costs due to the presence of wagons in a queue.

In order to improve the interaction of neighboring railways, operators, carriers and consignors, as well as the quality of the provision of services related to the organization of transportation, including with a foreign carrier, the services of cargo transshipment or rearrangement of carts, it is proposed to introduce a new workplace of a logistician for the transportation of grain cargoes in the direction. Workplace automation involves making a timely and quick optimal decision in the transportation process to eliminate the "last mile" effect. The implementation of an automated logistician's workplace leads to a reduction in the downtime of wagons at border stations and on the approaches to them.

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

«30» вересня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Вороньку Дмитру Євгеновичу

1 Тема «Формування технології управління вагонопотоками в умовах наявності ефекту «останньої милі»

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

затверджені розпорядженням по факультету Управління процесами перевезень від 30 вересня 2024 року № 12/24

2 Строк подання студентом роботи 03 січня 2025 року



3 Вихідні дані. Технологічний процес роботи прикордонної станції. Статистичні показники перевезення зернових вантажів та їх аналіз. Організація взаємодії роботи станції з іноземними перевізниками. Аналіз процесу доставки вантажів до західних кордонів України.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Аналіз показників перевезення українського зерна. Організація роботи прикордонних станцій та визначення основних проблем їх роботи. Формування математичної моделі управління вагонами на прикордонній станції та на підходах до неї. Техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованого робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку.

5 Перелік графічного матеріалу. Мета і задачі дослідження. Об'єкт, предмет дослідження, наукова новизна. Динаміка обсягів перевезення зернових вантажів. Середньодобова передача вагонів в експортному сполученні на залізничних переходах з іноземними перевізниками. Причини виникнення ефекту «останньої милі». Дослідження часу знаходження вагонів на «останній милі». Математична модель технології процесу просування вагонопотоків з урахуванням їх можливих затримок на прикордонних станціях та на підходах

до них. Залежність загальних витрат на перевезення вантажу від часу затримок вагонів на прикордонних станціях та на підходах до них. Структурна схема взаємодії учасників перевізного процесу з логістом. Розрахунок економічного ефекту від впровадження АРМ логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку. Загальні висновки.

6 Консультанти окремих розділів


Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованого робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, канд. екон. наук		

7 Дата видачі завдання 30 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

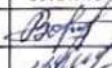
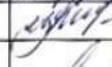


Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Аналіз основних показників роботи залізничного транспорту у напрямку західних кордонів України	18.10.2024	<i>виконано</i>
2 Організація роботи прикордонних станцій та визначення основних проблем їх роботи	08.11.2024	<i>виконано</i>
3 Формування математичної моделі управління вагонами на прикордонній станції та на підходах до неї	29.11.2024	<i>виконано</i>
4 Техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованого робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку	20.12.2024	<i>виконано</i>
Оформлення роботи	03.01.2025	<i>виконано</i>

Студент  Дмитро ВОРОНЬКО

Керівник  Ганна БОГОМАЗОВА

Зміст

Вступ	7
1 Аналіз показників перевезення українського зерна	10
1.1 Дослідження ринку вантажних перевезень	10
1.2 Дослідження обсягів перевезення вантажів, що слідують у напрямку західних кордонів України	17
1.3 Аналіз наукових досліджень в сфері організації взаємодії залізничного транспорту із різними перевізниками	22
2 Організація роботи прикордонних станцій та визначення основних проблем їх роботи	25
2.1 Аналіз вантажної роботи прикордонних станцій України	25
2.2 Дослідження ринку вантажних перевезень	29
2.3 Виявлення причин виникнення останньої милі	33
3 Формування математичної моделі управління вагонами на прикордонній станції та на підходах до неї	37
3.1 Визначення основних проблем при прямуванні вантажів на експорт	37
3.2 Формалізація технології процесу просування вагонопотоків з урахуванням їх можливих затримок на прикордонних станціях та на підходах до них	47
4 Техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованого робочого місця логіста на прикордонній станції	59
Висновки	71
Список використаних джерел	73

ФТУВУ.300.00.00.000 ПЗ									
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Формування технології управління вагонопотоками в умовах наявності ефекту «останньої милі»	Літ.	Арк.	Акрюців	
Розроб.		Воронько		03.01.25		i		4	79
Перевір.		Богомазова		03.01.25		УкрДУЗТ 6			
Н. контр.		Богомазова		03.01.25					
Затв.		Ковальов		03.01.25					

Вступ

Актуальність теми. За даними Європейської комісії на 2021 рік, на Україну припадало 10% світового ринку пшениці, 15% – кукурудзи, 13% – ячменю. Кукурудза та пшениця – найбільш поширені серед вирощуваних у світі зернових культур. Протягом останніх трьох сезонів до 2022 року Україна стабільно посідала 4 та 5 місця у рейтингу світових експортерів кукурудзи та пшениці. Зростання показників виробництва зерна і відповідно нарощування обсягів експорту свідчили про зростання значущості країни на світовій арені.

Однак у 2022 році постачання зерна було перервано через блокаду українських портів Росією. Це викликало побоювання виникнення продовольчої кризи у всьому світі та призвело до різкого зростання цін. До середини травня 2022 року експортні ціни на пшеницю та кукурудзу досягли небувалого досі рівня. За даними ООН, це загрожувало серйозними наслідками країнам Африки, Близького Сходу та Азії. Якщо з низки експортерів зникне Україна, це може мати серйозні наслідки для глобальної продовольчої безпеки.

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 ефективності перевезення зернових вантажів у напрямку західних кордонів України шляхом раціонального використання об'єктів транспорту, що сприятиме усуненню затримок у перевізному процесі, зокрема на «останній милі».

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких задач дослідження:

- провести аналіз статистичних даних перевезення зернових вантажів залізницею;
- виявити причини, що ведуть до затримки переміщення вагонів;
- формалізувати технологічний процес просування експортного вагонопотоку з урахуванням ефекту «останньої милі» у вигляді оптимізаційної математичної моделі;
- визначити економічну доцільність від впровадження автоматизованого робочого місця логіста по перевезенню зернових вантажів на напрямку.

Об’єкт дослідження – процес переміщення експортних вагонопотоків із зерновими вантажами.

Предмет дослідження – технологія управління вагонами в умовах наявності ефекту «останньої милі».

Методи дослідження. У роботі використано: метод математичної статистики для проведення аналізу основних експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту; метод кореляційної залежності між часом знаходження вагонів на підходах до прикордонної станції та часом знаходження вагонів на прикордонній станції; метод стохастичного програмування для формування процедури оптимального управління параметрами перевезення з найменшими експлуатаційними витратами залізниці; метод лінійної регресії у вигляді біваріатного нормального закону розподілу для визначення величини фінансового ризику у випадку знаходження вагонів у черзі.

Наукова новизна. У роботі формалізовано технологію процесу переміщення експортних вагонопотоків із зерновими вантажами у вигляді оптимізаційної моделі, що враховує ефект «останньої милі». Застосування такої технології дозволяє визначити імовірнісний час затримки вагонів та величину додаткових витрат через знаходження вагонів у черзі.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи полягають у формуванні процедури оптимального управління

параметрами перевезення зерна з урахуванням імовірності виникнення фінансових ризиків у випадку появи ефекту «останньої милі». 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 переліченню зернових вантажів на напрямку (АРМ логіста). Робота логіста веде до зменшення простоїв вагонів на підходах до прикордонних станцій та на самих таких станціях, що виникають у зв'язку із завантаженістю самої станції, в очікуванні вантажних операцій або неприйняттям вагонів іноземним перевізником тощо.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідались, обговорювались та схвалені на 37-ї Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», що проходила в Українському державному університеті залізничного транспорту 10-11 жовтня 2024 р. (м. Харків). Опубліковано тези доповіді та отримано сертифікат учасника конференції.

Висновки

У роботі вирішено задачу формування ефективної технології процесу просування експортних вагонопотоків із зерновими вантажами у вигляді оптимізаційної моделі, що враховує ефект «останньої милі». Застосування такої технології дозволяє визначити імовірнісний час затримки вагонів та величину додаткових витрат через знаходження вагонів у черзі. Основні результати та висновки полягають у наступному:

1. Аналіз статистичних даних перевезення зернових вантажів показав, що за останній час обсяги перевезення через прикордонні залізничні переходи до країн ЄС збільшилися майже у двічі. Однак як Україні, так і суміжним державам довелося зіткнутися з низкою проблем при зміні маршрутів перевезення, що привело до збільшення часу затримок вагонів на прикордонних станціях та на підходах до них.

2. Затримка вагонів на прикордонних станціях та на підходах до них веде до виникнення ефекту «останньої милі». Причинами виникнення ефекту «останньої милі» є проблеми, що виникають як на українській залізниці, так і проблеми іноземних перевізників. До них відносяться: 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. В роботі формалізовано технологію процесу просування вагонопотоків з урахуванням їх можливих затримок на прикордонних станціях та на підходах до них з урахуванням визначення імовірності виникнення затримки вагонів та величини додаткових витрат через знаходження вагонів у черзі. Час знаходження вагонів на прикордонній станції, а також час знаходження вагонів на підходах до неї, підпорядковані нормальному

розподілу. Крім того, між цими величинами спостерігається наявність кореляційної залежності. Наявність позитивної кореляції між цими двома величинами дає підстави розглянути їх в межах єдиного імовірнісного поля у вигляді біваріативного нормального закону розподілу. Такий підхід надасть можливість більш точно визначати імовірність несвоєчасного прибуття вагонів до кінцевого пункту призначення і відповідно величину фінансових втрат залізниці на «останній милі».

4. Для покращення взаємодії суміжних залізниць, операторів, перевізників та вантажовідправників, а також якості надання послуг щодо організації перевезень, у тому числі з іноземним перевізником, 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 ефекту «останньої милі». Впровадження АРМ логіста веде до зменшення простоїв вагонів на прикордонних станціях та на підходах до них. Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком від впровадження АРМ логіста надало можливість отримати 5112,56 млн грн на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології управління вагонопотоками. 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 Логістика та перевезення зерна в Україні // УкрАгроКонсалт. URL: <https://ukragroconsult.com/logistik/>.

3 Правила перевезення вантажів. URL: https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/terms_of_freight/.

4 Про затвердження Статуту залізниць України: Постанова Кабінету Міністрів України від 6 квітня 1998 р. № 457 / Кабінет Міністрів України. Офіційний вісник України. 1998. № 14. С. 150. Ст. 548. Код акта 5167/1998.

5 Время перемен. Как железная дорога пережила год и чего ждать в следующем. Главный информационно-аналитический центр. Rail Инсайдер. № 4 декабрь. Киев, 2018. 47 с.

6 Державна служба статистики України. Київ, 1998–2024. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

7 Вантажні залізничні перевезення: підсумки 2023 та плани на 2024 рік // Центр транспортних стратегій. URL: https://cfts.org.ua/infographics/vantazhni_zaloznichni_perevezennya_pidsumki_2023_ta_plani_na_2024_rik.

8 Кто и сколько покупает украинского зерна: инфографика // Ліга Бізнес. URL: <https://biz.liga.net/uaexport/prodovolstvie/novosti/kto-i-skolko-pokupaet-ukrainskogo-zerna-infografika>.

9 Вышли в плюс. Итоги 2018 года для украинских портов. Динамика перевалки, основные грузы и статистика работы крупнейших портов Украины

https://cfts.org.ua/articles/vyshli_v_plyus_itogi_2018_goda_dlya_ukrainskikh_portov_1502/106252.

10 Перевезення зерна залізницею через західні кордони значно скоротилося. URL: <https://agroportal.ua/ru/news/ukraina/perevezennya-zerna-zalizniceyu-cherez-zahidni-kordoni-znachno-skorotilosya>.

11 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.

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

13 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.

14 Нагорний Є.В., Огороков А.М., Переста Г.І. Дослідження розвитку системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах. *Вісник дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2011. № 38. С. 58–62.

15 Котенко А.М. Управління вантажною і комерційною роботою на залізничному транспорті: підручник. Харків, 2005. Ч. 1. 388 с.

16 Щербина О.В., Шибяев А.Г. Эвристический метод отбора судов для согласованной работы водного транспорта. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 1(73). С. 112–120.

17 Rakhmangulov A., Kolga A., Osintsev N., Stolpovskikh I., Sladkowski A. Mathematical model of optimal empty rail car distribution at railway transport nodes. *Transport Problems*. 2014. Vol. 9. Issue 3. P. 125–132.

18 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.

19 Aly M. H. F., Hemeda H., El-sayed M. A. Computer applications in railway operation. *Alexandria Engineering Journal*. 2016. № 55. P. 1573–1580.

20 Calado M., Barros J., Nobre E., Prata B. A mixed integer programming approach for freight railcar distribution. *Production*. 2017. № 27. DOI: 10.1590/0103-6513.203815.

21 Butko T., Prokhorov V., Chekhunov D. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1. Iss. 3 (85). P. 55–61.

22 Прохорченко А. В. Формування методів управління розподілом пропускної спроможності залізничної інфраструктури в умовах недискримінаційного доступу: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Харків, 2015. 412 с.

23 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>.

24 Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Обґрунтування доцільності удосконалення перевезень масових вантажів залізницями України. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 151. С. 148–149.

25 Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Наукові підходи до вдосконалення технології експлуатації вантажних вагонів всіх форм власності.

Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2015. № 4. С. 48–55.

26 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>.

27 Wang, Y., Zhang, D., Liu, Q., Shen, F., & Lee, L. H. Towards enhancing the last-mile delivery: An effective crowd-tasking model with scalable solutions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2016. 93, P. 279–293. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.06.002>.

28 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>.

29 Продащук С.М., Шаповал Г.В., Богомазова Г.Є., Продащук М.В. Дослідження розподілу навантажувально-розвантажувальних ресурсів при виконанні вантажних операцій. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 172. С. 13–20.

30 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.

31 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>.

32 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>.

33 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>.

34 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>.

35 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>.

36 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>.

37 Simić V., Lazarević D., Dobrodolac M. Picture fuzzy WASPAS method for selecting last-mile delivery mode: a case study of Belgrade Simić et al. *European Transport Research Review*. 2021. 13:43. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00501-6>.

38 Railway industrial track as the last mile in supply chain management - file:///D:/%D0%94%D0%9C/2023-2024/%D0%9B%D1%8E%D1%82%D0%B0/ICTTE_Belgrade_2014_Abramovic_FINAL.pdf

39 Šperka A., Vojtek M., Široký J., Čamaj J. *Improvement of the Last Mile-Specific Issues in Railway Freight Transport*. *Sustainability*. 2020. 12(23), 10154. URL: <https://doi.org/10.3390/su122310154>.

40 Практичні рекомендації з технологічно-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 Brunt B., Carter M. The Lebesgue-Stieltjes Integral: A Practical Introduction. Undergraduate Texts in Mathematics. *Springer-Verlag*. 2000. Т. 91. doi:10.1007/978-1-4612-1174-7. ISBN 978-0-387-95012-9.

44 Levy R. Probabilistic Models in the Study of Language. November 6, 2012. 264 p.

45 Draper N., Smith H. Applied regression analysis: third edition. New York, 1998. 736 p.

46 Rose C., Smith M. D. The Multivariate Normal Distribution. *Mathematica Journal*. 1996. № 6. P. 32–37.

47 Halmos, Paul R. Measure Theory. Berlin, New York: Springer-Verlag, 1974. ISBN 978-0-387-90088-9.

48 Taylor S. J. Introduction to measure and integration. Cambridge University Press, 1973. ISBN 9780521098045.

49 Bohomazova H., Liuta O. The importance of forecasting volumes of cargo transportation on the railway. *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика: тези доповідей дев'ятнадцятої науково-практичної міжнародної конференції (Харків, 1-2 червня 2023 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 44 – 45.

50 Верьовкіна Г.Є., Дроган С.П., Богомазова Г.Є. Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій шляхом раціонального розподілу вантажних ресурсів: тези 83 студентської наукової-технічної конференції. УкрДУЗТ. 2023 р. С. 232.

51 Богомазова Г.Є., Воронько Д.Є., Лисицький М.Ю. Підвищення ефективності використання залізничної інфраструктури шляхом

прогнозування обсягів перевезення вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників конференції 37 міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 10-11 жовтня 2024 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2024. №3 (додаток). С. 56 – 57.

52 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.