

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління експлуатаційною роботою

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ НА
ОСНОВІ ОЦІНКИ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ
ДІЛЬНИЦЬ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

УЕПВО.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 216 –ОМП – Д23
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)

Марія ЄРЬОМЕНКО



(підпис)

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Галина ПРОХОРЧЕНКО

Рецензент: професор, докт. техн. наук

Олександр ЛАВРУХІН

2025

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 15 слайдів презентації, 74 аркуші пояснювальної записки формату А4, що включає 15 рисунків, 7 таблиць, 39 літературних джерел.

Ключові слова: ЕКСПОРТНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ, ЗАЛІЗНИЧНА ДІЛЬНИЦЯ.

Об'єктом дослідження є процес організації експортних перевезень вантажів на залізничному транспорті.

Метою дослідження є підвищення надійності просування поїздопотоків з експортними вантажами в напрямі сухопутних переходів або морських портів на основі удосконалення процедури оцінки раціональних меж завантаження дільниць, що на відміну від існуючих підходів дозволяє врахувати експлуатаційну надійність системи перевезень та досягти максимальної безперебійності та точності у русі поїздів на дільницях.

В межах даної кваліфікаційної роботи наведено теоретичного обґрунтування процесу розподілу пропускної спроможності на залізничних напрямках руху поїздів з експортними вантажами. Для обґрунтування даного процесу було удосконалено процедуру аналізу надійності експлуатаційної роботи на основі моделювання різних варіантів затримок поїздів з експортними вантажами на дільниці, яка на відміну від існуючих, дозволяє врахувати затримки двох видів: первинні та вторинні затримки. Також удосконалено процедуру розрахунку пропускної спроможності залізничної дільниці для більш точного розподілу пропускної спроможності залізничних дільниць, яка дозволяє врахувати експлуатаційну надійність системи перевезень та підвищити точність оцінки раціональних меж завантаження дільниці.

ABSTRACT

This qualification work includes 15 presentation slides, 74 A4 pages of explanatory notes, featuring 15 figures, 7 tables, and 39 references.

Keywords: EXPORT TRANSPORTATION, THROUGHPUT CAPACITY, RAILWAY SECTION.

The object of the study is the process of organizing the export transportation of goods by rail.

The purpose of the study is to improve the reliability of train flow movement with export cargoes toward land crossings or seaports by enhancing the procedure for assessing the rational limits of section load, which, unlike existing approaches, allows considering the operational reliability of the transportation system and achieving maximum uninterrupted and precise train movement on sections.

As part of this qualification work, the theoretical substantiation of the process of distributing throughput capacity on railway routes for export cargo trains was provided. To substantiate this process, the procedure for analyzing the reliability of operational performance was improved based on modeling various scenarios of train delays with export cargo on the section. This approach, unlike existing ones, allows accounting for two types of delays: primary and secondary delays. Additionally, the procedure for calculating the throughput capacity of a railway section was refined for a more accurate distribution of railway section capacity, which makes it possible to consider the operational reliability of the transportation system and improve the accuracy of assessing the rational limits of section loading.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління експлуатаційною роботою

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

професор, д-р техн. наук

_____  Бутько Т.В.

« 30 » грудня _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Єрмоменко Марії Віталіївні

1 Тема роботи «Удосконалення експортних перевезень вантажів на основі оцінки пропускної спроможності залізничних дільниць» керівник Прохорченко Галина Олегівна, доцент, кандидат техн. наук затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень від від «30» всесня 2024 р. № 12/24.

2 Строк подання студентом роботи 30 грудня 2024 року.



3 Вихідні дані до роботи: Техніко-експлуатаційні показники роботи залізничного транспорту України в цілому, статистичні дані щодо обсягів перевезень вантажів, дані щодо виконання нормативного графіку руху поїздів на АТ «Укрзалізниця».

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускною спроможністю на дільницях, де здійснюються експортні перевезення вантажів 2 Основи дослідження пропускної спроможності на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків. 3. Аналіз проблем розрахунку пропускної спроможності залізничної інфраструктури на залізницях України. 4 Розробка методу розрахунку практичної пропускної спроможності залізничної інфраструктури. 5. Формалізація процедури оцінки ризиків перевантаження залізничних дільниць на напрямку, де здійснюються експортні перевезення вантажів 6 Формування системи підтримки прийняття рішень для розрахунку практичної пропускної спроможності на залізничних напрямках з урахуванням ризиків перевантаження. 7 Економічне обґрунтування від

підвищення надійності просування поїздопотоків з експортними вантажами в напрямі сухопутних переходів або морських портів на основі розподілу пропускної спроможності залізничних дільниць на залізницях України.
Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу. Динаміка обсягів перевезень вантажів за 2023-2024 роки, діаграми розподілу обсягів перевезень різними видами транспорту України за 2021 та 2023 рр, Залежність між теоретичною, практичною пропускними спроможностями та надійністю, Залежність інтенсивності поїздопотоків від його щільності на дільниці та порівняння значень наявної пропускної спроможності на дільниці $N_{наявн}$ і нормативів обсягів перевезень за графіком руху поїздів $N_{гр}$ у царному та нецарному напрямках.

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Оцінка економічної ефективності проектного рішення	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, к.е.н		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Вступ. 1 Аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускною спроможністю на дільницях, де здійснюються експортні перевезення вантажів	07.09.2024	
2 Основи дослідження пропускної спроможності на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків	14.10.2024	
3 Аналіз проблем розрахунку пропускної спроможності залізничної інфраструктури на залізницях України.	04.11.2024	

4 Розробка методу розрахунку практичної пропускної спроможності залізничної інфраструктури.	30.11.2024	
5 Формалізація процедури оцінки ризиків перевантаження залізничних дільниць на напрямку, де здійснюються експортні перевезення вантажів	16.12.2024	
6 Формування системи підтримки прийняття рішень для розрахунку практичної пропускної спроможності на залізничних напрямках з урахуванням ризиків перевантаження.	23.12.2024	
7 Економічне обґрунтування від підвищення надійності просування поїздотоків з експортними вантажами в напрямі сухопутних переходів або морських портів на основі розподілу пропускної спроможності залізничних дільниць на залізницях України. Висновки. Оформлення роботи	30.12.2024	

Студент





Марія ЄРЬОМЕНКО

Керівник

Галина ПРОХОРЧЕНКО

Зміст

Вступ	9
1 Аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускнуою спроможністю на дільницях, де здійснюються експортні перевезення вантажів	12
2 Основи дослідження пропускнуої спроможності на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків	17
3 Аналіз проблем розрахунку пропускнуої спроможності залізничної інфраструктури на залізницях України	24
4 Розробка методу розрахунку практичної пропускнуої спроможності залізничної інфраструктури	34
4.1 Процедура визначення практичної пропускнуої спроможності інфраструктури залізниць на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків	34
4.2 Моделювання різних варіантів побудови графіку руху поїздів всіх категорій на залізничному напрямку для визначення параметрів функціонування в різних умовах його завантаження	37
4.3 Порівняльний аналіз визначеної наявної пропускнуої з реальними даними максимальної кількості пропущених поїздів та розробка методу розрахунку практичної пропускнуої спроможності	39
5 Формалізація процедури оцінки ризиків перевантаження залізничних дільниць на напрямку, де здійснюються експортні перевезення вантажів	43

					УЕПВО.300.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення експортних перевезень вантажів на основі оцінки пропускнуої спроможності залізничних дільниць	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Єрмоєнко М						
Перевір.		Прохорченко Г					7	74
Реценз.						УкрДУЗТ		
Н. Контр.		Прохорченко Г.						
Затверд.		Буцько Т.В.						

5.1 Постановка задачі оцінки ризиків перевантаження залізничних дільниць	43
5.2 Експериментальний розв'язок задачі вибору пріоритету руху поїздів різних категорій	49
6 Формування системи підтримки прийняття рішень для розрахунку практичної пропускної спроможності на залізничних напрямках	59
7 Економічне обґрунтування від підвищення надійності просування поїздопотоків з експортними вантажами в напрямі сухопутних переходів або морських портів на основі розподілу пропускної спроможності залізничних дільниць на залізницях України	65
Висновки	70
Література	71

					УЕЛВО.300.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Вступ

Удосконалення процесів експортних перевезень вантажів залізничним транспортом є однією з ключових складових розвитку транспортної інфраструктури України в умовах інтеграції до світового ринку та нарощування експортного потенціалу. Залізничний транспорт забезпечує значний обсяг вантажоперевезень, зокрема експортних, що робить його стратегічно важливим для економіки країни. Проте сучасні виклики, такі як збільшення обсягів перевезень, необхідність адаптації до змін логістичних маршрутів, а також підвищення вимог до надійності та безперебійності роботи транспортної системи, потребують пошуку нових підходів до оптимізації її функціонування.

Однією з ключових проблем є раціональний розподіл пропускної спроможності залізничних дільниць, що дозволяє забезпечити ефективне просування поїздопотоків з експортними вантажами до сухопутних переходів або морських портів. Існуючі методики оцінки пропускної спроможності не завжди враховують складні експлуатаційні умови та ризики, пов'язані із затримками руху поїздів, що знижує точність прогнозування та ефективність роботи системи перевезень.

Таким чином, вдосконалення процедури оцінки пропускної спроможності залізничних дільниць, з урахуванням первинних та вторинних затримок, а також експлуатаційної надійності системи перевезень, є актуальним завданням. Це дозволить не лише підвищити ефективність організації експортних перевезень, але й сприяти економічному зростанню країни шляхом створення більш стабільної та адаптованої до сучасних викликів транспортної системи.

Метою дослідження є підвищення надійності просування поїздопотоків з експортними вантажами в напрямі сухопутних переходів або морських портів на основі удосконалення процедури оцінки раціональних

меж завантаження дільниць, що на відміну від існуючих підходів дозволяє врахувати експлуатаційну надійність системи перевезень та досягти максимальної безперебійності та точності у русі поїздів на дільницях.

Основні завдання:

провести аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускною спроможністю на дільницях, де здійснюються експортні перевезення вантажів;

- провести аналіз досліджень пропускної спроможності на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків;

- розробити процедуру визначення практичної пропускної спроможності залізничної інфраструктури на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків;

- сформулювати вимоги до автоматизованої системи розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць для підвищення надійності просування вугільних поїздопотоків;

- обґрунтувати економічну доцільність від підвищення надійності просування поїздопотоків з експортними вантажами в напрямі сухопутних переходів або морських портів на основі розподілу пропускної спроможності залізничних дільниць на залізницях України.

Об'єктом дослідження є процес організації експортних перевезень вантажів на залізничному транспорті

Предметом дослідження є процедура розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць при слідуванні поїздів в експортному сполученні на основі обліку експлуатаційної надійності системи перевезень.

Елементи наукової новизни: В межах даної кваліфікаційної роботи надано теоретичного обґрунтування процесу розподілу пропускної спроможності на залізничних напрямках руху поїздів з експортними вантажами з урахуванням більш якісної оцінки раціональних меж

завантаження дільниці на основі обліку експлуатаційної надійності системи перевезень. Для обґрунтування даного процесу було удосконалено:

- процедуру аналізу надійності експлуатаційної роботи на основі моделювання різних варіантів затримок поїздів з експортними вантажами на дільниці, яка на відміну від існуючих, дозволяє врахувати затримки двох видів: первинні затримки, які викликані випадковими факторами через збої в роботі підсистем дільниці (контактна мережа, колія, рухомий склад); вторинні затримки, які виникають з причин первинної затримки першого поїзда та послідовного порушення розкладу руху інших поїздів, які опинилися в зоні слідування затриманого поїзда;

- процедуру розрахунку пропускної спроможності залізничної дільниці для більш точного розподілу пропускної спроможності залізничних дільниць, яка на відміну від існуючих, дозволяє врахувати експлуатаційну надійність системи перевезень та підвищити точність оцінки раціональних меж завантаження дільниці;

- комплекс функціональних задач системи АСК ВП УЗ-Є з можливістю формування автоматизованої системи розрахунку пропускної спроможності залізничної інфраструктури на базі системи підтримки прийняття рішень (СППР) для реалізації процедури планування на рівні Центру управління рухом та регіональних РЦУП та всіх причетних підрозділів.

Матеріали кваліфікаційної магістерської роботи опубліковані у фаховому виданні МОН України [39].

Висновки

Згідно аналізу умов функціонування залізничного транспорту України встановлено, що близько 90% доходів АТ «Укрзалізниця» отримує від транспортування вантажів. Спостерігаються складна ситуація у зв'язку з війною, обсяги перевезень впали, у 2023 році спостерігався тренд зростаючості, але у 2024 році спостерігається тренд падіння. В умовах повномасштабного вторгнення та проведення структурної реформи залізничного транспорту України, важливим є визначення реальних технічних і технологічних можливостей залізничної інфраструктури.

Проведеним аналізом досліджень пропускної спроможності на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків встановлено, що доцільно цілеспрямовано підійти до розробки моделей аналізу використання пропускної спроможності дільниці та напрямків в цілому та коригувати направлення поїздопотоків з використанням інформації про їх поточне положення і забезпечити прогнозування зміни експлуатаційної роботи в реальному масштабі часу.

Сформовано процедуру аналізу надійності експлуатаційної роботи на основі моделювання різних варіантів затримок поїздів на дільниці, яка на відмінність від існуючих, дозволяє врахувати первинні та вторинні затримки.

Удосконалено процедуру розрахунку пропускної спроможності залізничної дільниці для більш точного розподілу пропускної спроможності залізничних дільниць, яка на відміну від існуючих, дозволяє врахувати експлуатаційну надійність системи перевезень та підвищити точність оцінки раціональних меж завантаження дільниці.

Економічна ефективність з паростаючим підсумком від впровадження запропонованої системи за період п'яти років складе 12,2 млн грн, дільнична швидкість збільшиться на 11,3 %, час затримок поїздів біля світлофорів скоротиться у 3,5 рази.

Список використаних джерел

1. Прохорченко А. В., Пучков І. О., Погорілий В. С., Соловійова І. І. Вибір способу розділення залізничної галузі України на основі світового досвіду . *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2018. №177. С. 125.
2. Verwaltungsrichtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes und der Bundesnetzagentur zum „Überlasteten Schienenweg“ gemäß § 55 Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG) Gültig ab 22.06.2015. Gesetzliche Grundlage ist jetzt das Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG), nicht mehr wie noch 2015 die Eisenbahninfrastruktur-Benutzungsverordnung (EIBV). Zuletzt geändert am 14.11.2016. – 6 с.
3. Адміністративна директива Федерального залізничного бюро та Федерального мережевого агентства. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Eisenbahn/Unternehmen_Institutionen/Schienenwege/Ueberlastung/VRil_Ueberlastung.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (дата звернення 01.09.2024)
4. ÜLS (нім., Überlastete Schienenwege, укр., Перевантажені залізничі) 14.11.2016 р. Verwaltungsrichtlinie des EBA und der Bundesnetzagentur. URL: https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/nutzungsbedingungen/ueberlastete_schiene nwege-1369242 (дата звернення 01.09.2024)
5. PEK (нім., Plans zur Erhöhung der Schienenwegkapazität, укр., План збільшення ємності залізниць). 01.08.2005. Verwaltungsrichtlinie des EBA. URL: <https://www.buzer.de/gesetz/3102/a43756.htm> (дата звернення 01.09.2024)
6. Закон України "Про залізничний транспорт" 13 вересня 1996 року. URL: <https://dnaop.com/html/3684/doc-zakon-ukrajini-pro-zaliznichnij-transport> (дата звернення 01.10.2024)
7. DIRECTIVE 2001/14/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 26 February 2001 on the allocation of railway

- infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification. Official Journal of the European Communities (OJ L 75/29), 2001. 18 p.
8. Kontaxi E., Ricci S. Railway capacity analysis: methodological framework and harmonization perspectives. 12th WCTR, July 11-15, 2010 Lisbon, Portugal. 21 p.
 9. UIC leaflet 406 R, Capacity. UIC International Union of Railways, France, 2e édition. – Version traduite. List of recent publications, 2013. – 60 p.
 10. Вергун О. Ф., Липовець Н. В., Боголій В. М. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України: ЦД-0036, затверджена наказом Укрзалізниці від 14 березня 2001 р. № 143/Ц; навч.-метод. посіб. – К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.
 11. Вергун О. Ф., Липовець Н. В. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України: ЦД-0040, затверджена наказом Укрзалізниці від 05.04.2002 № 170-Ц; навч.-метод. посіб. – К.: Транспорт України, 2003. – 146 с.
 12. Грунтов П. С. Эксплуатационная надежность станций. М.: Транспорт, 1986. 247 с.
 13. Каретников А. Д., Воробьев Н. А. График движения поездов. – М.: Транспорт, 1979. – 301 с.
 14. Kraft E. R. Jam Capacity of Single Track Rail Lines // Proceedings of the Transportation Research Forum, 1982. – 23 (1). – P. 461-671.
 15. IEEE Std 493-1990: IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems.
 16. Abril M., Barber F., Ingolotti L., Salido M. A., Tormos P., Lova A. An assessment of railway capacity // Transportation Research Part, 2008. – Vol. 44. – P. 774-806.
 17. Vromans M. J. C. M. Reliability of Railway Systems. The Erasmus Research Institute of Management (ERIM), 2005. – 245 p.

18. Nyström B. Punctuality and Railway Maintenance. LICENTIATE THESIS. Luleå: University of Technology Department of Applied Physics and Mechanical Engineering Division of Machine Elements, 2005. – 76 p.
19. Kaas A. H., Allan J., Hill R. J., Brebbia C. A., Sciutto G., Sone S. Punctuality model for railways .Proc. of the 7th International conference on Computers in Railways, 2000. P. 853-860.
20. Delorme X., Gandibleux X., Rodriguez J. Stability evaluation of a railway timetable at station level. *European Journal of Operational Research*. 2009. Vol. 195 (Issue 3). P. 780-790.
21. Landex A., Kaas A. H., Schittenhelm B., Schneider-Tilli J. Evaluation of railway capacity // *Trafikdage på Aalborg Universitet*. 2006. 22 p.
22. Landex A. Network effects in railway systems. Association for European Transport and contributors. 2007. P. 16.
23. Левин Д. Ю. Оптимизация потоков поездов. М.: Транспорт, 1988. 175 с.
24. Lai Y.-C., Barkan C. P. L. Enhanced Parametric Railway Capacity Evaluation Tool. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2009. №2117. P. 33-40.
25. Krueger H. Parametric Modeling in Rail Capacity Planning. *Proceedings of Winter Simulation Conference*, Phoenix, AZ, 1999.
26. Бланк М. Л. Точный анализ динамических систем, возникающих в моделировании транспортных потоков. *Успехи математических наук*. 2000. Т. 55. №3 (333). С. 167-168.
27. Daganzo C. F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transportation Research*. 1994. V. 28. N. 4. P. 269-287.
28. Куржанский А. Б., Куржанский А. А., Варайя П. Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью. 2010. Т. 2. № 4. С. 73-81.

29. Кленов А. С. Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке – новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий 2010. Т. 2. № 4. С. 75-89.
30. Kerner B. S. Experimental features of self-organization in traffic flow. *Physical Review Letters*. 1998. V. 81. N. 17.
31. Kerner B. S. *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control*. Berlin: Springer, 2009. 278 p.
32. Shvetsov V., Helbing D. Macroscopic dynamics of multilane traffic. *Phys. Rev. E*. 1999. Vol. 59. P. 6328-6339.
33. Левин Д. Ю. Оптимизация потоков поездов. *Транспорт*, 1988. 175 с.
34. Shvetsov V., Helbing D. Macroscopic dynamics of multilane traffic. *Phys. Rev. E*. 1999. Vol. 59. P. 6328-6339.
35. Greenberg H. An Analysis of Traffic Flows. *Oper. Res.* 1959. V. 7. P. 79-85.
36. Кленов А. С. Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке – новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий– 2010. Т. 2. № 4. С. 75-89.
37. Kerner B. S. *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control*. Berlin: Springer, 2009. – 278 p.
38. Прохорченко А. В. Capacity management або чому залізничникам слід навчитися відмовляти. URL: https://cfts.org.ua/blogs/capacity_management_abo_chomu_zalozhnychnykam_slid_navchytysya_vidmovlyati_364 (дата звернення 11.11.2024).
39. Прохорченко Г.О., С.О.Шкуркін, М.О.Єрмоменко Удосконалення міжнародних залізничних перевезень вантажів тютюнової промисловості на основі бронювання вагонних відправок у вантажному поїзді. Тези доповідей 5-тої міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології», Україна. Харків. УкрДУЗТ. С 112-114.