

Український державний університет залізничного транспорту

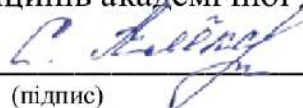
Кафедра управління експлуатаційною роботою

РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ДІЛЬНИЦІ НА ОСНОВІ
ПОБУДОВИ ПАРАМЕТРИЧНИХ ФУНКЦІЙ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ
ВІД ЩІЛЬНОСТІ ПОЇЗДОПОТОКІВ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

РПСДО.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 132-ОПУТ-322
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)

 Сергій СТРИБКОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник: доцент, канд. техн. наук
(посада, науковий ступінь)

Галина ПРОХОРЧЕНКО
(ім'я та прізвище)

Рецензент: доцент, канд. техн. наук
(посада, науковий ступінь)

Ярослав ЗАПАРА
(ім'я та прізвище)

2025 р.

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління експлуатаційною роботою

Освітній рівень: бакалавр

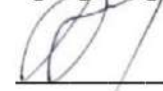
Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

професор, д-р техн. наук



Тетяна БУТЬКО

« 19 » травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Стрибкову Сергію Олександровичу

1. Тема (роботи) Розрахунок пропускної спроможності дільниці на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків
керівник Прохорченко Галина Олегівна, канд. техн. наук, доц.
затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень від 19 травня 2025 року №07/25
- 2 Строк подання студентом роботи 19 червня 2025 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Техніко-експлуатаційна характеристика полігону, основні показники роботи залізничного транспорту, нормативні документи щодо порядку розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускною спроможністю. 2 Сучасні підходи до управління пропускною спроможністю на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків. 3 Побудова параметричних функцій залежності щільності від інтенсивності поїздопотоків. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень та їх кількості)

6. Дата видачі завдання 19 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	29.04.2025	вик
1 Аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускнуою спроможністю.	10.05.2025	вик
2 Сучасні підходи до управління пропускнуою спроможністю на залізничних ділянках та напрямках з позиції теорії транспортних потоків.	20.05.2025	вик
3 Побудова параметричних функцій залежності щільності від інтенсивності поїздопотоків.	31.05.2025	вик
Висновки	09.06.2025	вик
Оформлення роботи	12.06.2025	вик

Студент  Сергій СТРИБКОВ ...
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник  Галина ПРОХОРЧЕНКО...
(підпис) (ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 13 слайдів презентації, 50 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 10 рисунків, 35 літературних джерел.

Ключові слова: ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ, ЩІЛЬНІСТЬ ПОЇЗДОПОТОКУ, ІНТЕНСИВНІСТЬ ПОЇЗДОПОТОКУ.

Об'єктом дослідження є процес перевезень на залізничному транспорті України.

Метою роботи є удосконалення процедури розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць, що дозволяє підвищити точність визначення пропускної спроможності та раціонально перерозподілити поїздопотоки на залізничній мережі для більш ефективної стратегії управління активами залізничного транспорту.

В межах даної кваліфікаційної роботи застосовано процедуру розрахунку пропускної спроможності залізничної дільниці на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків для проведення аналізу використання наявної пропускної спроможності. На основі проведених розрахунків виявлені наступні прикладні результати:

- для підвищення ефективності перевезень та використання залізничної інфраструктури України на основі виявлення реальних параметрів завантаженості залізничної дільниці К – О в роботі проведено розрахунки параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків. Запропонована процедура розрахунку дозволяє врахувати властивість кооперативної динаміки в потоці поїздів, а результати залежності дозволяють визначити область максимальної практичної пропускної спроможності дільниці.

- доведена прикладна значущість запропонованого розрахунку пропускної спроможності для виявлення реальних практичних можливостей дільниці К – О.

ANNOTATION

This qualification work includes 13 presentation slides, 50 sheets of explanatory notes in A4 format, including 10 figures, 35 literary sources.

Keywords: CAPACITY, TRAIN FLOW DENSITY, TRAIN FLOW INTENSITY.

The object of the study is the process of transportation on the railway transport of Ukraine.

The purpose of the work is to improve the procedure for calculating the capacity of railway sections, which allows to increase the accuracy of determining the capacity and rationally redistribute train flows on the railway network for a more effective strategy for managing railway transport assets.

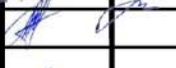
Within the framework of this qualification work, a procedure for calculating the capacity of a railway section based on the construction of parametric functions of the dependence of intensity on the density of train flows was applied to analyze the use of available capacity. Based on the calculations, the following applied results were identified:

- to increase the efficiency of transportation and the use of the railway infrastructure of Ukraine based on identifying the real parameters of the load on the railway section K - O, the work carried out calculations of parametric functions of the dependence of intensity on the density of train flows. The proposed calculation procedure allows you to take into account the property of cooperative dynamics in the train flow, and the results of the dependence allow you to determine the area of maximum practical throughput of the section.

- the applied significance of the proposed calculation of throughput for identifying real practical capabilities of the section K - O is proven.

Зміст

Вступ	7
1 Аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускнуою спроможністю	10
2 Сучасні підходи до управління пропускнуою спроможністю на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків	17
3 Побудова параметричних функцій залежності щільності від інтенсивності поїздопотоків	33
3.1 Процедура визначення практичної пропускнуої спроможності інфраструктури залізниць на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків	33
3.2 Розрахунок залежності інтенсивності від щільності поїздів для обох напрямків дільниці К – О	35
3.3 Розрахунок залежності інтенсивності від щільності поїздів на дільниці К-О	37
3.4 Розрахунок практичної пропускнуої спроможності залізничної дільниці К-О	41
Висновки	44
Список використаних джерел	46

					РПСДО.300.00.00 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок пропускнуої спроможності дільниці на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Стрибков С.						
Перевір.		Прохорченко Г.О.					6	50
Реценз.						УкрДУЗТ		
Н. Контр.		Прохорченко						
Затверд.		Буцько Т.В.						

Вступ

Сучасні умови функціонування залізничного транспорту в Україні характеризуються підвищеним навантаженням на окремі ділянки мережі, особливо у напрямках експортно-імпортних перевезень та в зонах інтенсивного руху маршрутних поїздів. Обмежена пропускна спроможність залізничної інфраструктури є одним із ключових чинників, що стримує ефективність перевезень, спричиняє затримки у русі поїздів, зниження рівня обслуговування клієнтів та втрати у вантажообігу.

У цьому контексті надзвичайно актуальним є пошук і впровадження науково обґрунтованих методів оцінки наявної пропускної спроможності, що враховують реальні умови експлуатації, насамперед щільність та інтенсивність поїздопотоків. Побудова параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності дозволяє моделювати транспортні потоки з урахуванням їхньої динаміки, ідентифікувати критичні режими навантаження та визначати потенціал для підвищення ефективності використання інфраструктури.

Таким чином, розробка і практичне застосування методів розрахунку пропускної спроможності на основі параметричних залежностей є важливим кроком до підвищення адаптивності залізничної системи, прийняття обґрунтованих управлінських рішень, планування інвестицій та забезпечення надійного транспортного сполучення в умовах зростаючого попиту на перевезення.

Мета і задачі дослідження: удосконалення процедури розрахунку пропускної спроможності залізничних ділянок, що дозволяє підвищити точність визначення пропускної спроможності та раціонально перерозподілити поїздопоток на залізничній мережі для більш ефективної стратегії управління активами залізничного транспорту.

Реалізація цієї мети потребує постановки та *вирішення наступних задач дослідження:*

- провести аналіз функціонування залізниць України в діючих умовах управління пропускною спроможністю;

- провести аналіз досліджень пропускної спроможності на залізничних дільницях та напрямках з позиції теорії транспортних потоків;
- розробити процедуру визначення практичної пропускної спроможності інфраструктури залізниць на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків;
- провести розрахунок пропускної спроможності на дільниці К – О на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків та зробити висновки.

Об'єкт дослідження – процес перевезень на залізничному транспорті України.

Предмет дослідження – процедура розрахунку пропускної спроможності залізничної дільниці України на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків.

Цінність і прикладна значущість результатів: В межах даної кваліфікаційної роботи застосовано процедуру розрахунку пропускної спроможності залізничної дільниці на основі побудови параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків для проведення аналізу використання наявної пропускної спроможності. На основі проведених розрахунків виявлені наступні прикладні результати:

- для підвищення ефективності перевезень та використання залізничної інфраструктури України на основі виявлення реальних параметрів завантаженості залізничної дільниці К – О в роботі проведено розрахунки параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків. Запропонована процедура розрахунку дозволяє врахувати властивість кооперативної динаміки в потоці поїздів, а результати залежності дозволяють визначити область максимальної практичної пропускної спроможності дільниці. Встановлено, що завантаженість (критична інтенсивність) на дільниці К – О складає: для непарного напрямку 0,92 год-1 при щільності поїздів на кілометр 0,59, що відповідає добовим розмірам руху 19 поїздів; для парного напрямку 1,17 год-1 при щільності поїздів на кілометр – 0,83, що відповідає добовим розмірам руху 27 поїздів;

- доведена прикладна значущість запропонованого розрахунку пропускної спроможності для виявлення реальних практичних можливостей

дільниці К – О. Це дозволило із достатньою для практичних цілей точністю визначити рівень використання наявної пропускної спроможності в реальних умовах експлуатації дільниці.

Висновки

На основі порівняльного аналізу динаміки зміни експлуатаційної довжини залізничної мережі України та тарифного вантажообігу у період з 2005 по 2020 рік, виявлено поступове скорочення довжини залізничної інфраструктури з близько 21 700 км у 2005 році до 19 811,5 км у 2020 році, що становить загальне зменшення приблизно на 8,7 %. Це відображає структурне звуження мережі на тлі тривалого економічного спаду, зменшення інвестицій у підтримку колійного господарства та втрат мережі на тимчасово окупованих територіях. Натомість тарифний вантажообіг демонструє складнішу траєкторію. Зростання спостерігається до 2007 року, далі відбувається різке падіння у 2009 році, ймовірно пов'язане з глобальною економічною кризою. Після часткового відновлення до 2011 року починається довготривалий спад, який стає особливо вираженим після 2014 року. У 2020 році обсяг тарифного вантажообігу знижується до 175,6 млрд ткм, що є одним з найнижчих показників за розглянутий період. Це підтверджує необхідність запровадження адаптивних моделей оцінки пропускної спроможності, які враховують як поточну експлуатаційну довжину колій, так і змінну інтенсивність перевезень.

За 2015 – 2023 рр. обсяги залізничних вантажних перевезень мають тенденцію зменшення та скоротилися на 57,6%. Початок зниження обсягів залізничних перевезень був спричинений наслідками світової фінансово-економічної кризи. З 2015 року спостерігалось подальше зменшення обсягів через російську окупацію Криму і частини Донеччини та перехід вантажів на автотранспорт. Через російське повномасштабне вторгнення, що спричинило блокування морських портів та суттєвих руйнувань транспортної інфраструктури, у 2022 році спостерігається значний спад, що на 52,1 % менше від минулого, а у 2023 – знизився ще на 1,5 % від торішнього показника.

Для підвищення ефективності перевезень та використання залізничної інфраструктури України на основі виявлення реальних параметрів завантаженості залізничної ділянки К – О в роботі проведено розрахунки параметричних функцій залежності інтенсивності від щільності поїздопотоків. Запропонована процедура розрахунку дозволяє врахувати властивість кооперативної динаміки в

потоці поїздів, а результати залежності дозволяють визначити область максимальної практичної пропускної спроможності дільниці. Встановлено, що завантаженість (критична інтенсивність) на дільниці К – О складає: для непарного напрямку 0,92 год-1 при щільності поїздів на кілометр 0,59, що відповідає добовим розмірам руху 19 поїздів; для парного напрямку 1,17 год-1 при щільності поїздів на кілометр – 0,83, що відповідає добовим розмірам руху 27 поїздів.

Доведена прикладна значущість запропонованого розрахунку пропускної спроможності для виявлення реальних практичних можливостей дільниці К – О. Це дозволило із достатньою для практичних цілей точністю визначити рівень використання наявної пропускної спроможності в реальних умовах експлуатації дільниці.

Список використаної літератури

1. General model of railway transportation capacity // SciSpace. URL: <https://scispace.com/pdf/general-model-of-railway-transportation-capacity-4rip8etgqa.pdf> (дата звернення: 02 червня 2025 р.).
2. Macroscopic Traffic Flow in Railway Systems – A Discussion of the Applicability of Fundamental Diagrams // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/356411933_Macroscopic_Traffic_Flow_in_Railway_Systems_-_A_Discussion_of_the_Applicability_of_Fundamental_Diagrams (дата звернення: 02 червня 2025 р.).
3. Railway Capacity Model and Decision Support Process for Strategic Capacity Planning // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/241809252_Railway_Capacity_Model_and_Decision_Support_Process_for_Strategic_Capacity_Planning (дата звернення: 02 червня 2025 р.).
4. Аналіз методів розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/67427> (дата звернення: 27 травня 2025 р.).
5. Investigation of Railway Network Capacity by Means of Dynamic Flows // MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/18/8233> (дата звернення: 03 червня 2025 р.).
6. Methods for calculating and analyzing the capacity of a railway line with mixed traffic // Semantic Scholar. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/7911/e7d21064654c896550dd81b7c8511e248ab2.pdf> (дата звернення: 03 червня 2025 р.).
7. Development of the method for modeling the propagation of delays in non-cyclic train scheduling // Semantic Scholar. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/5ca8/0100a3f98b9fb9e54034a0c7760a6cc3674b.pdf> (дата звернення: 27 травня 2025 р.).
8. Enhanced Parametric Railway Capacity Evaluation Tool // RailTEC. URL: <https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Lai-&-Barkan-2009->

Enhanced-Parametric-Railway-Capacity-Evaluation-Tool.pdf (дата звернення: 03 червня 2025 р.).

9. LDCE Guide - Traffic / Operating: Section Capacity and Throughput. URL: <https://ldceguidetraffic.blogspot.com/2014/09/section-capacity-and-throughput.html> (дата звернення: 03 червня 2025 р.).

10. Centralized Traffic Control // jonroma.net. URL: <https://www.jonroma.net/media/signaling/railway-signaling/1932/Centralized%20Traffic%20Control.pdf> (дата звернення: 27 травня 2025 р.).

11. Untitled // CRUST. URL: <https://crust.ust.edu.ua/bitstreams/e656d05b-d078-48bf-8d5e-391480837dd7/download> (дата звернення: 27 травня 2025 р.).

12. Centralized Traffic Control System // Thales Group. URL: <https://www.thalesgroup.com/en/centralized-traffic-control-system> (дата звернення: 27 травня 2025 р.).

13. Fundamental Speed-Flow-Density Relationships // Austroads. URL: https://austroads.gov.au/__data/assets/pdf_file/0019/392050/Module_2-2_Fundamental_Speed-Flow-Density_Relationships.pdf (дата звернення: 03 червня 2025 р.).

14. Traffic flow // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_flow (дата звернення: 03 червня 2025 р.).

15. Railway Traffic Flow Modelling Using Bond ... // CiteSeerX. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8d46c6f364d6b6180d1ea5a0816c718293945d6a> (дата звернення: 04 червня 2025 р.).

16. Train Traffic Density Statistics // Open Government Data (OGD). URL: <https://www.data.gov.in/catalog/train-traffic-density-statistics> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

17. Railway Traffic Flow Modelling Using Bond ... // CiteSeerX. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8d46c6f364d6b6180d1ea5a0816c718293945d6a> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

18. Railroad Traffic Densities and Patterns. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-8306.1958.tb01585.x> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

19. Train density // Transportation Reference and Training Manuals. URL: <https://armytransportation.tpub.com/TR0603/Train-Density-84.htm> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

20. Fundamental diagram of traffic flow // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_diagram_of_traffic_flow (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

21. Traffic flow theory and modelling. URL: https://www.victorknoop.eu/research/papers/chapter_vanwee.pdf (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

22. Description and control of railway traffic flow under a moving block system // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/370925560_Description_and_control_of_railway_traffic_flow_under_a_moving_block_system (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

23. Macroscopic traffic flow in railway systems – A discussion of the ... // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/361856476_Macroscopic_traffic_flow_in_railway_systems_-_A_discussion_of_the_applicability_of_fundamental_diagrams (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

24. Fundamental diagram for railway traffic // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/figure/Fundamental-diagram-for-railway-traffic_fig3_318334707 (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

25. Fundamental diagram of urban rail transit considering train–passenger interaction // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/360125078_Fundamental_diagram_of_urban_rail_transit_considering_train-passenger_interaction (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

26. Fundamental diagram of urban rail transit ... // researchmap. URL: https://researchmap.jp/wadaken/published_papers/36525686/attachment_file.pdf (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

27. Fundamental Diagram of Urban Rail Transit: An Empirical Investigation by Boston's Subway Data // ResearchGate. URL:

https://www.researchgate.net/publication/335705252_Fundamental_Diagram_of_Urban_Rail_Transit_An_Empirical_Investigation_by_Boston's_Subway_Data (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

28. • Quantifying periodic railway network capacity using petri nets and ... // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/377054039_Quantifying_periodic_railway_network_capacity_using_petri_nets_and_macroscopic_fundamental_diagram (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

29. Macroscopic traffic flow models // TU Delft OpenCourseWare. URL: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Chapter-9.-Macroscopic-traffic-flow-models.pdf> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

30. Macroscopic Dynamic Traffic flow Models // TU Delft OpenCourseWare. URL: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Chapter-9-Macroscopic-Dynamic.pdf> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

31. Macroscopic Traffic Flow Modelling. URL: https://www.victorknoop.eu/teaching/macroscopic_traffic_modelling.pdf (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

32. A simulation model for estimating train and passenger delays in ... // Journal of Central South University. URL: <https://journal.hep.com.cn/jocsu/EN/10.1007/s11771-012-1448-9> (дата звернення: 27 травня 2025 р.).

33. Parametric Analysis of Railway Line Capacity // ROSA P. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/75801/dot_75801_DS1.pdf (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

34. Parametric Matrix Models // arXiv. URL: <https://arxiv.org/html/2401.11694v1> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).

35. Parametric Models in ML: Theory, Advantages, and Comparisons. URL: <https://plat.ai/blog/parametric-modeling/> (дата звернення: 11 червня 2025 р.).