

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління експлуатаційною роботою

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ З
ВИКОРИСТАННЯМ КОЕФІЦІЄНТІВ ЗНЯТТЯ

Пояснювальна записка та розрахунки

до кваліфікаційної роботи

ВПСЗЛ.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 132 – ОПУТ – Д22
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)

 Дмитро ЛУЦЬКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Олена МАЛАХОВА
(ім'я та прізвище)

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

Ганна ШАПОВАЛ
(ім'я та прізвище)

2025 р.

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління експлуатаційною роботою

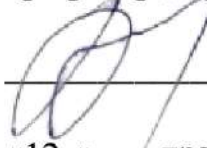
Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

 Тетяна БУТЬКО
«12» травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Луцько Дмитру Сергійовичу

1. Тема (роботи) Визначення пропускнуої спроможності залізничних ліній з використанням коефіцієнтів зняття

керівник Малахова Олена Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент
затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень
від 12 травня 2025 року №06/25

2 Строк подання студентом роботи 09 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Техніко-експлуатаційна характеристика перегонів, динаміка перевезення вантажів на особливо інтенсивних напрямках, час на розгін і уповільнення, станційні і міжпоїзні інтервали.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Світовий досвід порівняння методів розрахунку пропускнуої спроможності залізничних ліній. 2 Оцінка перевізної спроможності залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця». 3 Аналіз стану вантажних перевезень між Україною і Польщею. 4 Розрахунок коефіцієнтів зняття вантажних поїздів на одноколійних ділянках. Висновки.

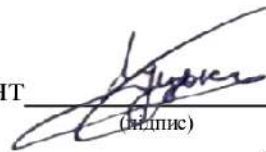
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень та їх кількості) 1 Мета та задачі дослідження. 2 Аналіз чинників, що впливають на пропускну спроможність. 3 Аналіз динаміки перевезення вантажів на особливо інтенсивних напрямках. 4 Порівняння методи визначення коефіцієнтів зняття. 5 Визначення коефіцієнтів зняття в різних експлуатаційних умовах при русі по ділянці поїздів різни швидкісних категорій. 6 Висновки

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	16.04.2025	виконано
1 Світовий досвід порівняння методів розрахунку пропускної спроможності залізничних ліній	30.04.2025	виконано
2 Оцінка перевізної спроможності залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця».	10.05.2025	виконано
3 Аналіз стану вантажних перевезень між Україною і Польщею.	20.05.2025	виконано
3 Аналіз стану вантажних перевезень між Україною і Польщею.	31.05.2025	виконано
Висновки	05.06.2025	виконано
Оформлення роботи	09.06.2025	виконано

Студент



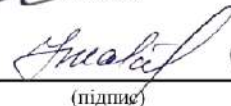
(підпис)

Дмитро ЛУЦЬКО

...

(ім'я та прізвище)

Керівник



(підпис)

Олена МАЛАХОВА...

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 14 слайдів презентації, 71 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 10 рисунків, 3 таблиць, 44 літературних джерела.

Ключові слова: пропускна спроможність, коефіцієнт зняття, графік руху поїздів, пакетне прокладання, поїзди різних швидкісних категорій

Об'єктом дослідження - коефіцієнт зняття вантажних поїздів поїздами різних швидкісних категорій на змішаних дільницях.

Метою дослідження є розробка багатфакторних методів розрахунку коефіцієнтів зняття вантажних поїздів на одноколійних залізничних дільницях.

Точна оцінка пропускної спроможності залізничних напрямків є критично важливою для вирішення ключових завдань експлуатації та розвитку інфраструктури. Існує багато методів розрахунку, але кожен має свої переваги й недоліки.

Для одноколійних дільниць коефіцієнт зняття вантажних поїздів залежить від швидкості інших поїздів відносно вантажних і від способу прокладання поїздів у графіку (з обгоном або без). Поїзди поділяють на такі, що мають вищу або нижчу швидкість, і для кожної групи розраховують окремі коефіцієнти зняття. В роботі запропоновано визначення коефіцієнтів зняття вантажних поїздів поїздами з вищою швидкістю для різних типів графіків (пакетних і непакетних) з урахуванням різного часу перебування на дільниці та невідповідність станційних і міжпоїзних інтервалів.

Враховано, що при пропуску поїздів з обгонами зняття впливає не лише на зустрічні потоки, але й на поїзди того самого напрямку. Компенсація зняття можлива через пропуск поїздів у зворотному напрямку.

Для точного визначення коефіцієнта на одноколійних дільницях попоновано будувати графік руху і знаходити зсув ниток вантажних поїздів графо-аналітичним методом.

ANNOTATION.

This qualification work includes 14 presentation slides, 71 sheets of A4 explanatory note, including 10 figures, 3 tables, 44 references.

Keywords: railway line capacity, coefficients of elimination, train schedule, batch laying of trains, trains of different speed categories.

The object of the study is the coefficients of elimination by freight trains of different speed categories on mixed sections.

The aim of the study is to develop multifactorial methods for calculating the coefficients of elimination by freight trains on single-track railway sections.

An accurate assessment of the capacity of railway lines is critical for solving key tasks of infrastructure operation and development. There are many calculation methods, but each has its advantages and disadvantages.

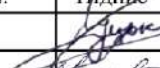
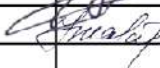
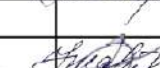
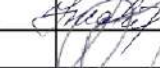
For single-track sections, the freight train coefficients of elimination depends on the speed of other trains relative to freight trains and the way trains are routed in the schedule (with or without overtaking). Trains are divided into those with higher or lower speeds, and separate derailment factors are calculated for each group. The paper proposes to determine the coefficients of freight train elimination by trains with higher speed for different types of schedules (batch and non-batch), taking into account different dwell times on the section and the mismatch of station and inter-train intervals.

It is taken into account that when passing overtaking trains, the knowledge affects not only oncoming traffic, but also trains of the same direction. The elimination can be compensated for by passing trains in the opposite direction.

To accurately determine the coefficient on single-track sections, it is proposed to build a traffic schedule and find the shift of freight trains lines using the graphical-analytical method.

Зміст

Вступ	7
1 Світовий досвід порівняння методів розрахунку пропускної спроможності залізничних ліній	9
1.1 Загальні визначення пропускної спроможності	9
1.2 Методи аналізу пропускної спроможності залізниць	11
1.3 Порівняння трьох підходів до пропускної спроможності	22
1.4 Висновки та напрямки досліджень	23
2 Оцінка перевізної спроможності залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця»	26
3 Аналіз стану вантажних перевезень між Україною і Польщею	37
4 Розрахунок коефіцієнтів зняття вантажних поїздів на одноколійних ділянках	42
4.1 Методика визначення коефіцієнтів зняття вантажних поїздів поїздами більш швидкісних категорій за умови безобгонного прокладання	42
4.2 Методика визначення коефіцієнтів зняття вантажних поїздів нижчих швидкісних категорій під час безобгонного прокладання	49
4.3 Методика визначення коефіцієнтів зняття вантажних поїздів поїздами більш високих швидкісних категорій і поїздами з меншою швидкістю під час їхнього руху з обгонами	52
Висновки	63
Список використаних джерел	66

					ВПСЗЛ.300.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення пропускної спроможності залізничних ліній з використанням коефіцієнтів зняття	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Луцько		09.06		i		
Перевір.		Малахова		09.06			6	72
Н. Контр.		Малахова		09.06		УкрДУЗТ		
Затв.		Бутько		09.06				

В умовах триваючого реформування залізничного транспорту АТ «Укразалізиця» позиціонується на ринку транспортних послуг, насамперед, як інфраструктурна компанія, що надає свої основні фонди для різних користувачів, які здійснюють перевізну діяльність.

Найважливішою характеристикою інфраструктурного комплексу, що безпосередньо впливає на якісні показники перевізного процесу, величину доходів і прибутків компанії, є пропускна та провізна спроможність найважливіших елементів інфраструктури: залізничних дільниць і станцій.

При визначенні наявної пропускної спроможності залізничних дільниць для вантажного руху або сумарної приведеної потрібної пропускної спроможності користуються коефіцієнтами зняття для приведення поїздів різних категорій до вантажних поїздів. Пропоновані в чинній Інструкції з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць формули з визначення коефіцієнтів зняття отримані емпіричним шляхом і містять деякі неточності.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка аналітичних методів розрахунку коефіцієнтів зняття, які дають змогу максимально точно оцінювати можливості залізничних ділянок щодо пропуску поїздопотоків.

Величина коефіцієнта зняття вантажних поїздів для конкретної одноколіїної залізничної дільниці, в основному, визначається двома факторами:

- режимом руху поїзда будь-якої категорії по відношенню до вантажних поїздів;
- обраним способом прокладки поїздів.

На підставі вищевикладеного *метою* цієї кваліфікаційної роботи є розробка багатofакторних методів розрахунку коефіцієнтів зняття вантажних поїздів на одноколіїних залізничних дільницях.

Як *об'єкт дослідження* розглядаються коефіцієнт зняття вантажних поїздів поїздами різних швидкісних категорій на змішаних дільницях.

Предмет дослідження: одноколіїні залізничні дільниці, обладнані автоблокуванням (диспетчерською централізацією) і напівавтоматичним блокуванням, що функціонують в умовах різних режимів пропуску поїздів

До основних завдань дослідження належать:

- аналіз теорії та методів розрахунку коефіцієнтів зняття вантажних поїздів поїздами інших категорій;
- розробка методів розрахунку коефіцієнтів зняття вантажних поїздів більш високих швидкісних категорій на одноколіїних залізничних дільницях, обладнаних автоблокуванням і напівавтоматичним блокуванням, у разі безобгінного прокладення на графіку та під час руху з обгонами;
- розроблення методів розрахунку коефіцієнтів зняття вантажних поїздів з меншою дільничною швидкістю на одноколіїних залізничних дільницях, обладнаних автоблокуванням і напівавтоматичним блокуванням, у разі безобгінного прокладання на графіку та під час руху з обгонами.

Методи дослідження включають у себе:

- комплексний підхід до вирішення поставленої проблеми;
- статистичні методи обробки даних;
- графо-аналітичне моделювання процесу пропуску поїздів по одноколіїних залізничних дільницях і перегонах.

Практична цінність кваліфікаційної роботи полягає у тому, що запропоновані аналітичні залежності визначення коефіцієнтів зняття вантажних поїздів на одноколіїних залізничних дільницях з використанням методів математичного аналізу.

Практична реалізація роботи дає змогу підвищити точність оцінювання рівня завантаженості залізничних дільниць і напрямів для розв'язання оперативних і стратегічних завдань з керування експлуатаційною роботою.

Висновки

На підставі виконаних досліджень можна сформулювати такі основні висновки та пропозиції.

1 Достовірна оцінка рівня використання наявної пропускної спроможності залізничних дільниць і напрямків є фундаментальною основою для розв'язання найважливіших експлуатаційних завдань оперативного і стратегічного характеру, пов'язаних із розвитком і використанням інфраструктурного комплексу залізничного транспорту. Як показали світові дослідження, методів розрахунку пропускної спроможності чимало і всі вони мають свої переваги і недоліки.

При виконанні оцінки пропускної спроможності залізничних ліній доцільно використовувати коефіцієнти зняття вантажних поїздів поїздами інших категорій з метою приведення їх до звичайних вантажних. Аналіз запропонованих у чинній Інструкції з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць формул з визначення коефіцієнтів зняття показав, що вони містять низку логічних помилок і не враховують як особливостей функціонування конкретних залізничних дільниць, так і окремих загальноприйнятих параметрів графіка руху поїздів.

2 Величина коефіцієнта зняття вантажних поїздів для кожної конкретної одноколіїної залізничної дільниці в основному визначається двома факторами: режимом руху поїзда будь-якої категорії щодо вантажних поїздів і обраним способом прокладання поїздів на графіку руху (безобгонна або з обгонами поїздів одних категорій поїздами інших категорій). Перший фактор дає змогу декомпонувати всі поїзди стосовно вантажних на дві відмінні групи, для яких і мають розроблятися формули розрахунку коефіцієнтів зняття: поїзди з більш високими швидкісними характеристиками і поїзди з меншими швидкостями руху ніж звичайні вантажні.

Комплексність методології передбачає також розроблення методів розрахунку коефіцієнтів зняття вантажних поїздів на одноколійних ділянках, обладнаних автоблокуванням і напівавтоматичним блокуванням, а також врахування пакетності (пачечності) графіка руху поїздів.

3 Удосконалено формули для визначення величин коефіцієнтів зняття вантажних поїздів поїздами більш високих швидкісних характеристик під час їхнього безперешкодного прокладання на одноколійних залізничних ділянках, обладнаних автоблокуванням та напівавтоматичним блокуванням, для непакетного (непачкового), частково-пакетного (частково-пачкового) та пакетного (пачкового) графіка руху. Формули враховують основне і додаткове зняття. Якщо перший викликаний різним часом перебування поїздів на ділянці, то другий - зумовлений невідповідністю інтервалів між поїздами з більш високими швидкісними характеристиками періоду графіка вантажного руху. Формули враховують також можливий пакетний (пачечний) пропуск частини таких поїздів.

Крім того, формули розрахунку коефіцієнтів зняття для пакетного (пачечного) графіків руху враховують як однакову кількість вантажних поїздів, які пропускають у пакетах (пачках), так і різне число вантажних поїздів, об'єднаних у пакети (пачки).

4 У кваліфікаційній роботі розроблено формули для визначення величин коефіцієнтів зняття вантажних поїздів поїздами з меншими швидкостями руху в разі їхнього безперешкодного прокладання на одноколійних залізничних ділянках, обладнаних автоблокуванням і напівавтоматичним блокуванням, для непакетного (непачечного), частково-пакетного (частково-пачечного) та пакетного (пачкового) графіка руху. Як і для поїздів з більш високими швидкісними характеристиками, формули враховують основне і додаткове зняття, а також можливий пакетний (пачечний) пропуск частини «поїздів-тихоходів». Встановлено, що величини коефіцієнтів зняття в основному залежать від різниці часу перебування на ділянці «поїздів-тихоходів» і вантажних поїздів, а також періоду графіка руху вантажних поїздів.

5 Розглядаючи процедуру визначення коефіцієнта зняття на одноколіній залізничній дільниці під час пропуску поїздів з обгонами, можна обмежитися реалізацією їхнього руху в одному напрямку (парному або непарному). Пропуск поїзда з більш високою або меншою швидкісною характеристикою впливає на потік не тільки вантажних поїздів, що прямують в одному з ними напрямків, а й на потік вантажних поїздів зустрічного напрямку. Компенсація такого зняття полягає в пропуску поїзда з більш високою або меншою швидкісною характеристикою у зворотному напрямку.

6 У загальному випадку величина коефіцієнта зняття вантажних поїздів поїзда з більш високою або меншою швидкісною характеристикою під час руху з обгонами на одноколійних залізничних дільницях, обладнаних автоблокуванням або напіваавтоматичним блокуванням, дорівнює відношенню максимального руху нитки вантажного поїзда до періоду графіка. Величина такого руху повністю визначається характеристикою залізничної дільниці (співвідношенням швидкості руху поїздів по окремих перегонах). Тому для отримання абсолютно точного значення коефіцієнта зняття необхідно по кожній одноколіній залізничній дільниці, обладнаній автоблокуванням, будувати фрагмент графіка і визначати це зрушення прямим порядком (графо-аналітичним способом). При цьому досить установити величину зсуву для непакетного (непачечного) графіка руху вантажних поїздів, тому що за пакетного (пачкового) і частково-пакетного (частково-пачкового) графіків величина зсуву ниток вантажних поїздів не змінюється.

7 На величину зсуву ниток графіка вантажних поїздів впливає пакетний (пачковий) пропуск поїздів з більш високою або меншою швидкісною характеристикою. За наявності на залізничній дільниці різних варіантів пропуску поїзда з більш високою або меншою швидкісною характеристикою (нелакетний, пакетний з двома, трьома тощо поїздами в пакеті) для кожного з них розробляють фрагмент графіка руху і визначають величину зсув ниток вантажних поїздів, а результуюче значення зсуву розраховується як середнє значення.

Список використаних джерел

- 1 Sameni M.K., Moradi A. Railway capacity: A review of analysis methods. // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. Volume 24. December 2022. 100357. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2022.100357>.
- 2 Lindfeldt A. Railway capacity analysis: Methods for simulation and evaluation of timetables, delays and infrastructure. URL[^]: <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1741126&dswid=7729>
- 3 UIC leaflet 406, Capacity, 2004, UIC International Union of Railways, France. URL: <https://ru.scribd.com/document/252305898/Capacity-UIC-406>.
- 4 Jamil A. Computation of practical capacity in single-track railway lines based on computing the minimum buffer times. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. Volume 8. Issue 2. September 2018. P. 91-102/
- 5 Dingler, M.H., Lai, Y.-C., Barkan, C.P.L. Effect of train-type heterogeneity on single-track heavy haul railway line capacity. *Proc. Inst. Mech. Eng. - Part F J. Rail Rapid Transit* 228, 845–856. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0954409713496762>.
- 6 Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M.A., Tormos, P., Lova, A.. An assessment of railway capacity. *Transport. Res. E Logist. Transport*. 2008. Rev. 44, 774–806.
- 7 Pachl, J.. Spacing trains. *Railway Operation & Control*. 2002. P/ 38–90. URL: https://www.researchgate.net/publication/299570542_Railway_operation_and_control.
8. Lai, Y.-C., Barkan, C.P.L. Comprehensive decision support framework for strategic railway capacity planning *J. Transport*. 2011. Eng. 137, 738–749. URL: <https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Lai-and-Barkan-2011.pdf>.
- 9 Boysen H. E. General model of railway transportation capacity. *Computers in Railways XIII* 335. WIT Transactions on The Built Environment, Vol 127, 2012

WIT Press. URL: <https://scispace.com/pdf/general-model-of-railway-transportation-capacity-4rip8etgqa.pdf>.

10 Valentinovic L, Sivilevicius H. Railway line capacity methods analysis and their application in “Lithuanian Railways” justification. *The 9th International Conference "Environmental Engineering 2014"*. January 2014. DOI:10.3846/enviro.2014.174. URL:

https://www.researchgate.net/publication/269224642_Railway_line_capacity_methods_analysis_and_their_application_in_Lithuanian_Railways_justification.

11 Rotoli F, Malavasi G. and etc. Capacity analysis of suburban rail networks. *COMPRAIL* 2016. DOI:10.2495/CR160111. URL: https://www.researchgate.net/publication/306387420_Capacity_analysis_of_suburban_rail_networks.

12. Riejós, F.a.O., Barrena, E., Ortiz, J.D.C., Laporte, G. Analyzing the theoretical capacity of railway networks with a radial-backbone topology. *Transport. Res. Pol. Pract.* 2016. 84, 83–92.

13 Gašparík, J., Abramovič, B., Halás, M., 2015. New graphical approach to railway infrastructure capacity analysis. *Promet-Traffic & Transportation*. October 2015. 27(4):283-29027, 283–290. DOI:10.7307/ptt.v27i4.1701, URL: https://www.researchgate.net/publication/281405995_New_Graphical_Approach_to_Railway_Infrastructure_Capacity_Analysis.

14 Jensen, L.W., Landex, A., Nielsen, O.A., Kroon, L.G., Schmidt, M. Strategic assessment of capacity consumption in railway networks: framework and model. *Transport. Res. C Emerg. Technol.* 2017. 74, 126–149. URL: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/strategic-assessment-of-capacity-consumption-in-railway-networks->.

15 Bešinović, N., Goverde, R.M. Capacity assessment in railway networks. In: Borndorfer, R., Klug, T., Lamorgese, L., Mannino, C., Reuther, M., Schlechte, T. (Eds.), *Handbook of Optimization in the Railway Industry*. Springer. Boysen, H.E.. *General Model of Railway Transportation Capacity*, , 2018. pp. 335–347. URL:

https://www.researchgate.net/publication/323524119_Capacity_Assessment_in_Railway_Networks.

16 Li, Y., Xu, R., Ji, C., Wang, H., Wu, D., 2019. Tactical Capacity Assessment of a High-Speed Railway Corridor with High Heterogeneity. *Linkoping University Electronic Press*. 2019. pp. 740–751. URL: <https://ep.liu.se/ecp/069/048/ecp19069048.pdf>.

17 Wu, J., Zhang, C. Research on calculation method of passing capacity of high speed railway station and design of simulation process. *Electrical Engineering and Computer Science (EECS)* 2019. 1, 39–44. URL: https://iecsce.org/uploads/ppapers/2019021411ADCONS2019/ADCONS_A06.pdf.

18 Landex A. et all. Capacity measurement with the UIC 406 capacity method. *Computers in Railways XI* 55. Vol 103. 2008. WIT Press. doi:10.2495/CR080061. URL: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/CR08/CR08006FU1.pdf>.

19 Rais, N.M., Jaafar, H.S., Samsudin, M.R.H., Rahman, H.A., Towel, R.M., Burhanuddin, S.N.Z.A. Measuring railway track capacity and utilization for KERETAPI tanah melayu berhad (ktmb). *Advances in Transportation and Logistics Research*. 2020. 3, 908–916. URL: <https://proceedings.itltrisakti.ac.id/index.php/ATLR/article/view/356>.

20 Weik N., Nießen N. Quantifying the effects of running time variability on the capacity of rail corridors. *J. Rail Transport Planning & Manage.*, 15. 2020. Article 100203. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210970619300915>.

21 Wang, R., Nie, L., Tan, Y. Evaluating line capacity with an analytical UIC code 406 compression method and blocking time stairway. *Energies* 2020/ 13, 1853. URL: https://www.researchgate.net/publication/340612153_Evaluating_Line_Capacity_with_an_Analytical_UIC_Code_406_Compression_Method_and_Blocking_Time_Stairway.

- 22 Liao, Z., Li, H., Miao, J., Corman, F. Railway capacity estimation considering vehicle circulation: integrated timetable and vehicles scheduling on hybrid timespace networks. *Transport. Res. C Emerg. Technol.* 2021.124, 102961. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/0968090X>.
- 23 [Corman](#) F. Et al. Optimal multi-class rescheduling of railway traffic. *Journal of Rail Transport Planning & Management* 1(1):14–24. DOI:[10.1016/j.jrtpm.2011.06.001](https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2011.06.001). URL: https://www.researchgate.net/publication/257740694_Optimal_multi-class_rescheduling_of_railway_traffic.
- 24 Burdett R. L., Kozan Er. Techniques for inserting additional trains into existing timetables. *Transportation Research Part B Methodological* 43(8-9):821-836. 2009. DOI:[10.1016/j.trb.2009.02.005](https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.02.005). URL: https://www.researchgate.net/publication/46495358_Techniques_for_inserting_additional_trains_into_existing_timetables.
- 25 Mussone L., Calvo R.W. An analytical approach to calculate the capacity of a railway system. *European Journal of Operational Research* 228(1):11–23. 2013. DOI:[10.1016/j.ejor.2012.12.027](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.027). URL: https://www.researchgate.net/publication/257196396_An_analytical_approach_to_calculate_the_capacity_of_a_railway_system.
- 26 Yaghini, M., Sarmadi, M., Nikoo, N., Momeni, M. Capacity consumption analysis using heuristic solution method for under construction railway routes. *Network. Spatial Econ.* 2014. 14, 317–333. DOI:[10.1007/s11067-014-9223-0](https://doi.org/10.1007/s11067-014-9223-0). URL: https://www.researchgate.net/publication/271919993_Capacity_Consumption_Analysis_Using_Heuristic_Solution_Method_for_Under_Construction_Railway_Routes.
- 27 Guo, B., Zhou, L., Yue, Y., Tang, J. A study on the practical carrying capacity of large high-speed railway stations considering train set utilization. *Math. Probl Eng.* 2016. 2, 1–11. DOI:[10.1155/2016/2741479](https://doi.org/10.1155/2016/2741479). URL: https://www.researchgate.net/publication/311975549_A_Study_on_the_Practical

Carrying Capacity of Large High-Speed Railway Stations considering Train Set Utilization.

28 Azadi M., Arani, A., Jolai, F., Nasiri, M.M. A multi-commodity network flow model for railway capacity optimization in case of line blockage. *Int. J. Real. Ther.* 2019. 7, 297–320. DOI:10.1080/23248378.2019.1571450. URL: https://www.researchgate.net/publication/330693268_A_multi-commodity_network_flow_model_for_railway_capacity_optimization_in_case_of_line_blockage.

29 Medeossi G., Coviello N. Integrated Ant Colony Optimization and Mixed Integer Linear Programming for Multi-objective Railway Timetabling. *IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2023. DOI:10.1109/ITSC57777.2023.10421843. https://www.researchgate.net/publication/378192839_Integrated_Ant_Colony_Optimization_and_Mixed_Integer_Linear_Programming_for_Multi-objective_Railway_Timetabling.

30 Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M.A., Tormos, P., Lova, A. An assessment of railway capacity. *Transport. Res. E Logist. Transport. Rev.* 2008. 44, 774–806. DOI:10.1016/j.tre.2007.04.001. URL: https://www.researchgate.net/publication/222673865_An_assessment_of_railway_capacity.

31 Dingler, M.H., Lai, Y.-C., Barkan, C.P.L. Effect of train-type heterogeneity on single-track heavy haul railway line capacity. *Proc. Inst. Mech. Eng. - Part F J. Rail Rapid Transit.* 2014. 228, 845–856. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0954409713496762>.

32 Pouryousef H., Lautala Pasi T. Evaluating Two Capacity Simulation Tools on Shared-Use U.S. Rail Corridor. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting At: Washington, DC 20001 USA* 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/303374202_Evaluating_Two_Capacity_Simulation_Tools_on_Shared-Use_US_Rail_Corridor.

- 33 Han, J., Yue, Y., Zhou, L., 2016. A Microscopic Simulation Method to Calculate the Capacity of Railway Station. Hansen, I. Pachl, J., *Railway Timetabling and Operations: Analysis, Modelling, Optimisation, Simulation, Performance, Evaluation.* Eurail press. 2016. DOI:10.2991/ifmeita-16.2016.8. https://www.researchgate.net/publication/315563764_A_Microscopic_Simulation_Method_to_Calculate_the_Capacity_of_Railway_Station.
- 34 Navarro, L.M., Fernandez-Cardador, A., Cucala, A.P. Fuzzy maximum capacity and occupancy time rate measurements in urban railway lines. *European Transport Research Review.* 2018. 10, 1–14. DOI:10.1186/s12544-018-0335-3. URL: https://www.researchgate.net/publication/329869029_Fuzzy_maximum_capacity_and_occupancy_time_rate_measurements_in_urban_railway_lines.
- 35 Ljubaj, I., Mlinarić, T.J. The possibility of utilising maximum capacity of the double-track railway by using innovative traffic organisation. *Transport. Res. Procedia.* 2019. 40, 346–353. DOI:10.1016/j.trpro.2019.07.051. https://www.researchgate.net/publication/334778804_The_Possibility_of_Utilising_Maximum_Capacity_of_the_Double-Track_Railway_By_Using_Innovative_Traffic_Organisation.
- 36 Jia, F., Jiang, X., Li, H., Yu, X., Xu, X., Jiang, M. Passenger-oriented subway network capacity calculation and analysis based on simulation. *Transportation Letters The International Journal of Transportation Research.* 2020. 13(3):1-13. DOI:10.1080/19427867.2020.1741778. URL: https://www.researchgate.net/publication/339950800_Passenger-oriented_subway_network_capacity_calculation_and_analysis_based_on_simulation.
- 37 . Lin, T.-Y., Lin, Y.-C., Lai, Y.-C.R. Base train equivalents for multiple train types based on delay-based capacity analysis. *J Journal of Transportation Engineering Part A Systems/* 2020. 146(5):04020023. DOI:10.1061/JTEPBS.0000339. URL: https://www.researchgate.net/publication/341082564_Base_Train_Equivalents_for_Multiple_Train_Types_Based_on_Delay-Based_Capacity_Analysis.

- 38 . Kim, K.M., Oh, S.-M., Ko, S.-J., Park, B.H., 2020. New headway-based analytical capacity model considering heterogeneous train traffic. *Journal of Transportation Engineering Part A Systems*. 2020. 146(12):04020135. DOI:10.1061/JTEPBS.0000461. URL: https://www.researchgate.net/publication/346549302_New_Headway-Based_Analytical_Capacity_Model_Considering_Heterogeneous_Train_Traffic.
- 39 Luteberget, B., Claessen, K., Johansen, C., Steffen, M., 2021. SAT modulo discrete event simulation applied to railway design capacity analysis. *Formal Methods Syst. Des.* 2021. 57, 211–245. URL: https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/90670/Luteberget_2021_SAT.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- 40 Harrod, S. Capacity factors of a mixed speed railway network. *Transport. Res. E Logist. Transport. Rev.* 2009 45, 830–841. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554509000349>.
- 41 Ford-Fulkerson Algorithm for Maximum Flow Problem. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/ford-fulkerson-algorithm-for-maximum-flow-problem/>.
- 42 Grigorenko Yu. Railway gateway to the world: what is the state of freight transportation between Ukraine and Poland. URL: <https://gmk.center/en/posts/railway-gateway-to-the-world-what-is-the-state-of-freight-transportation-between-ukraine-and-poland/>. (Date of application 28.04.2025)/
- 43 Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України. ЦД-0036. Завт. Наказом Укрзалізниці від 14 березня 2001 р. №143/Ц. Київ, 2002. 375 с.
- 44 ДБН В.2.3-19-2018 "Залізниця колії 1520 мм. Норми проектування". URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074863391337088215?doc_type=2.