

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління експлуатаційною роботою

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

УОМПП.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 213-МКТ-Д24
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)


_____ Олег БОНДАРЕНКО
(підпис)

Керівник: ст. викладач, канд. техн. наук

Євгенія ХОДАКІВСЬКА

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

Катерина КРЯЧКО

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає 14 слайдів презентації, 83 аркуші пояснювальної записки формату А4, що містять 9 рисунків, 9 таблиць та 47 літературних джерел.

Ключові слова: МІЖНАРОДНІ ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ПРИКОРДОННЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ОПЕРАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, КУМУЛЯТИВНІ ЗАТРИМКИ, МЕРЕЖІ ПЕТРІ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

Метою дослідження є удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації.

Об'єктом дослідження є процес організації міжнародних пасажирських перевезень у залізничній транспортній системі.

Предметом дослідження є процеси прикордонного та технологічного обслуговування міжнародних пасажирських поїздів і їх вплив на формування та накопичення (кумуляцію) затримок у перевізному процесі.

Достовірність отриманих результатів забезпечена застосуванням методів аналізу, формалізації процесів із використанням мереж Петрі, а також методів імітаційного моделювання для кількісної оцінки часових параметрів обслуговування міжнародних пасажирських поїздів.

Наукова новизна роботи полягає у формалізованому поданні процесу обслуговування міжнародних пасажирських поїздів у вигляді мереж Петрі та використанні імітаційного моделювання для кількісного аналізу впливу відхилень від графіка руху на виникнення і кумуляцію затримок.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів моделювання для обґрунтування організаційних заходів і рішень оперативного регулювання, спрямованих на зменшення середнього часу обслуговування та рівня кумулятивних затримок без внесення змін до інфраструктури.

Апробацію здійснено на міжнародній науково – практичній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» та студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ.

ABSTRACT

This qualification work includes 14 presentation slides and 83 pages of explanatory notes in A4 format, containing 9 figures, 9 tables, and 47 literature sources.

Keywords: INTERNATIONAL PASSENGER TRANSPORTATION, BORDER SERVICE, OPERATIONAL CONTROL, CUMULATIVE DELAYS, PETRI NETS, SIMULATION MODELLING.

The aim of the research is to improve the organization of international passenger railway transportation under conditions of digitalization.

The object of the research is the process of organizing international passenger transportation within the railway transport system.

The subject of the research is the processes of border and technological servicing of international passenger trains and their influence on the formation and accumulation (cumulation) of delays in the transportation process.

The reliability of the obtained results is ensured by the application of analytical methods, process formalization using Petri nets, as well as simulation modelling methods for the quantitative assessment of time parameters of international passenger train servicing.

The scientific novelty of the research lies in the formalized representation of the international passenger train servicing process in the form of Petri nets and the use of simulation modelling for quantitative analysis of the impact of deviations from the timetable on the occurrence and cumulation of delays.

The practical significance of the research consists in the possibility of using the modelling results to substantiate organizational measures and operational control decisions aimed at reducing the average servicing time and the level of cumulative delays without changes to infrastructure parameters.

Dissemination of Research Results: The main results of the research were presented at the international scientific and practical conference "Intelligent Transport Technologies" and the student scientific and technical conference of UkrSURT.

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



Тетяна БУТЬКО

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бондаренка Олега Сергійовича

1 Тема роботи Удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації.

керівник Ходаківська Євгенія Володимирівна, канд. техн. наук, старший викладач затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень від 24 жовтня 2025 року №19/25.

2 Строк подання студентом роботи 20 грудня 2025р.

3 Вихідні дані до роботи Нормативні, експлуатаційні та економічні показники залізничного транспорту у сфері міжнародних пасажирських перевезень в період з 2018 по 2025 роки, технологія організації міжнародних пасажирських перевезень залізничним транспортом.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналіз існуючої організації, теоретичних розробок та практичного досвіду процесу пасажирських перевезень в залізничній транспортній системі. 2 Дослідження сучасних напрямків удосконалення, рівня виконання основних показників ефективності існуючої організації міжнародних пасажирських перевезень в залізничній транспортній системі. 3. Удосконалення процесу пасажирських перевезень в залізничній транспортній системі. 4. Визначення економічної ефективності запропонованого удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в залізничній транспортній системі. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу. 1. Мета та задачі дослідження. 2. Аналіз показників залізничного транспорту 3. Аналіз моделей взаємодії при організації міжнародних перевезень. 4. Вирішення науково – прикладного завдання з удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень. 5. Техніко-економічне обґрунтування запропонованого удосконалення.

6 Консультанти окремих розділів роботи

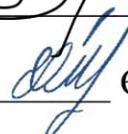
Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування запропонованого проектного рішення	Євгеній БАЛАКА, доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 30 вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

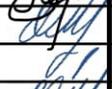
Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Вступ	30.10.2025	
1 Аналіз існуючої організації міжнародних пасажирських перевезень залізничним транспортом	10.11.2025	
2 Аналіз організації та інформаційного забезпечення міжнародних пасажирських перевезень	20.11.2025	
3 Удосконалення організації оперативного регулювання міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації	29.11.2025	
4 Визначення економічної ефективності запропонованого удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в залізничній транспортній системі	19.12.2025	
Висновки	20.12.2025	
Оформлення роботи	20.12.2025	

Студент  Олег БОНДАРЕНКО

Керівник  Євгенія ХОДАКІВСЬКА

Зміст

Вступ		8
1	Аналіз існуючої організації міжнародних пасажирських перевезень залізничним транспортом	11
1.1	Загальна характеристика міжнародних пасажирських перевезень залізничним транспортом	11
1.2	Особливості організації та виконання графіків руху міжнародних пасажирських поїздів	17
1.3	Аналіз причин та умов виникнення відхилень від графіка руху і їх впливу на перевізний процес	20
1.4	Аналіз наукових підходів до організації оперативного регулювання руху поїздів	23
2	Аналіз організації та інформаційного забезпечення міжнародних пасажирських перевезень	29
2.1	Аналіз показників виконання графіка руху та технологічної узгодженості роботи міжнародних пасажирських поїздів	29
2.2	Застосування інформаційних систем в організації та оперативному регулюванні міжнародних пасажирських перевезень	33
2.3.	Аналіз існуючих підходів до оперативного регулювання руху міжнародних пасажирських поїздів та виявлення проблемних аспектів	40
3	Удосконалення організації оперативного регулювання міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації	45
3.1	Формалізація процесу оперативного регулювання міжнародних пасажирських перевезень на основі часових мереж Петрі	45
3.2	Побудова дискретно-подієвої імітаційної моделі процесу міжнародних пасажирських перевезень	55

					УОМПП.300.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Бондаренко								
Перевір.		Ходаківська								
Н. Контр.		Ходаківська						УкрДУЗТ		
Затверд.		Бутько								

3.3 Аналіз результатів імітаційного моделювання та оцінка ефективності організаційно-технологічних рішень	59
4 Визначення економічної ефективності запропонованого удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в залізничній транспортній системі	67
4.1 Обґрунтування джерел економічного ефекту від удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень	67
4.2. Вихідні дані та розрахунок економічного ефекту від скорочення простоїв міжнародних пасажирських поїздів	68
4.3 Одноразові та щорічні витрати на впровадження цифрового удосконалення	70
4.4 Оцінка економічної доцільності інвестиції в інноваційний захід	73
Висновки	76
Список використаних джерел	78

					УОМПП.300.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Міжнародні пасажирські перевезення залізничним транспортом характеризуються підвищеними вимогами до пунктуальності руху поїздів та узгодженості роботи залізничних систем різних країн. У процесі експлуатації неминуче виникають відхилення від графіка руху, що потребує оперативного прийняття диспетчерських рішень з урахуванням наявних інфраструктурних і ресурсних обмежень.

В умовах цифровізації залізничного транспорту значна частина функцій з організації та управління перевізним процесом здійснюється із застосуванням інформаційних систем, які забезпечують накопичення та обробку експлуатаційних даних. Разом з тим ефективність використання таких даних значною мірою залежить від наявності формалізованих моделей, що дозволяють обґрунтовувати рішення з оперативного регулювання руху поїздів.

Аналіз наукових праць показує, що існуючі підходи до оперативного регулювання руху поїздів не завжди забезпечують комплексний облік технологічних операцій, часових параметрів та ресурсних обмежень перевізного процесу, особливо в умовах міжнародного пасажирського сполучення. У зв'язку з цим актуальним є удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації шляхом застосування формалізованих та імітаційних моделей, які можуть бути використані для підтримки прийняття рішень з оперативного регулювання руху поїздів.

Мета дослідження. Метою роботи є удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації.

Задачі дослідження. Проаналізувати існуючу організацію міжнародних пасажирських перевезень залізничним транспортом; дослідити організаційне та інформаційне забезпечення міжнародних пасажирських перевезень; розробити та обґрунтувати підхід до удосконалення організації оперативного регулювання міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації; визначити економічну ефективність запропонованого удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень у залізничній транспортній системі.

Об'єкт дослідження. Процес організації міжнародних пасажирських перевезень залізничним транспортом.

Предмет дослідження. Організація оперативного регулювання міжнародних пасажирських перевезень залізничним транспортом в умовах цифровізації.

Методи дослідження. Достовірність отриманих результатів і висновків забезпечена обраними методами дослідження. В роботі використано емпіричні та теоретичні методи дослідження, зокрема порівняння, заміри, опис, кількісний та якісний аналіз, аналіз і синтез, системний підхід, аналогію, формалізацію та моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- запропоновано формалізований опис процесу оперативного регулювання міжнародних пасажирських перевезень в умовах оперативних відхилень від графіка руху з використанням часових (стохастичних) мереж Петрі, що забезпечує відображення взаємозв'язку між технологічними операціями, ресурсними обмеженнями та управлінськими рішеннями у межах перевізного процесу;

- удосконалено використання дискретно-подієвого імітаційного моделювання для кількісної оцінки впливу цифрової підтримки оперативного регулювання на показники пунктуальності руху та узгодженості роботи поїздів у міжнародних пасажирських перевезеннях з урахуванням часових параметрів технологічних операцій і ресурсних обмежень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонований формалізований опис перевізного процесу та імітаційна модель можуть бути використані службами перевезень і диспетчерського управління під час аналізу та обґрунтування рішень з оперативного регулювання руху міжнародних пасажирських поїздів в умовах відхилень від графіка руху. Застосування імітаційної моделі дає змогу оцінювати вплив організаційно-технологічних рішень на показники пунктуальності руху та узгодженості роботи поїздів з урахуванням часових і ресурсних обмежень.

Публікації. Відповідно до теми кваліфікаційної роботи опубліковано дві наукові роботи.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

В ході підготовки та виконання роботи автором була використана інформація, у тому числі текст, алгоритми, методики проведення аналізу, досліджень, визначення певних характеристик, параметрів та вихідних даних, розрахунків тощо, які містяться у джерелах [1 - 47], наведених у списку використаних джерел, а також інформація, отримана в результаті консультування з керівником роботи, науковими, науково-педагогічними працівниками та іншими особами, яка є неопублікованими авторськими напрацюваннями (найсучасніша інформація дослідницького, інноваційного характеру), дозволеними для використання автору цієї роботи виключно при виконанні тільки цієї дипломної роботи.

Висновки

У розділі 1 узагальнено теоретичні, методологічні та нормативні засади організації міжнародних пасажирських перевезень у контексті цифровізації транспортних систем. Проаналізовано наукові підходи вітчизняних і зарубіжних дослідників та встановлено, що цифровізація розглядається як системна трансформація організаційно-технологічних процесів на основі формалізованих моделей і інтегрованого управління інформаційними потоками. Виявлено недостатній рівень кількісного обґрунтування впливу цифрових рішень на часові та ймовірнісні характеристики перевізних процесів, що зумовило доцільність застосування апарату імітаційного моделювання, зокрема мереж Петрі, як інструменту формалізації та аналізу складних дискретно-подієвих процесів.

У розділі 2 проаналізовано сучасний стан організації міжнародних пасажирських перевезень на прикладі прикордонних залізничних переходів з урахуванням технологічної структури процесу обслуговування поїздів. Установлено, що основні втрати ефективності зумовлені нестабільністю тривалості окремих операцій, нерівномірністю виконання прикордонно-митних процедур та фрагментарним застосуванням інформаційних технологій. Показано, що середня тривалість обслуговування міжнародного пасажирського поїзда становить 165,6 хв, коефіцієнт варіації тривалості окремих етапів сягає 0,35–0,40, а ймовірність відхилення від планового графіка руху дорівнює 0,169. Виявлений рівень варіативності обґрунтував необхідність побудови формалізованої моделі перевізного процесу з урахуванням взаємозв'язків між операціями та ресурсними обмеженнями.

У розділі 3 розроблено та реалізовано імітаційну модель організації міжнародних пасажирських перевезень на основі часової мережі Петрі, яка дозволяє формалізовано описати послідовність виконання операцій, паралельність процесів, черги та ресурсні обмеження. На основі побудованої мережі Петрі проведено серію імітаційних експериментів, за результатами яких встановлено, що впровадження цифрово орієнтованих організаційних рішень забезпечує скорочення середнього часу обслуговування міжнародного

пасажирського поїзда з 165,6 хв до 124,5 хв, зменшення середньоквадратичного відхилення тривалості процесу з 68,6 хв до 55,6 хв, а також зниження ймовірності перевищення допустимих часових меж з 0,169 до 0,058 без зміни інфраструктурних параметрів. Отримані результати підтвердили ефективність використання мереж Петрі як інструменту цифрового моделювання та підтримки прийняття управлінських рішень.

У розділі 4 обґрунтовано економічну ефективність удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень на основі результатів імітаційного моделювання, отриманих із застосуванням мережі Петрі. З використанням нормативних економічних показників АТ «Укрзалізниця» визначено річну економію експлуатаційних витрат у розмірі 25 393,1 тис. грн. З урахуванням одноразових капітальних вкладень 4 100 тис. грн, щорічних витрат 1 900 тис. грн та дисконтування грошових потоків приведений економічний ефект за розрахунковий період 2026–2030 рр. становить 76 715,3 тис. грн, що підтверджує економічну доцільність і практичну значущість запропонованих організаційно-цифрових заходів.

У цілому результати виконаної роботи свідчать, що застосування мереж Петрі у поєднанні з цифрово орієнтованими управлінськими рішеннями є ефективним інструментом удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень. Запропонований підхід забезпечує кількісне оцінювання часових, ймовірнісних та економічних ефектів цифровізації і може бути використаний у практиці планування та управління перевізними процесами на прикордонних залізничних переходах.

Список використаних джерел

- 1 Стратегія акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019 - 2023 роки: [схвалена Кабінетом Міністрів України 12 червня 2019р. №591-р]. URL: <https://zbk.org.ua/wp-content/uploads/2019/09/Стратегія-4-Typography.pdf>. (дата звернення: 08. 10. 2025).
- 2 Транспортна стратегія України на період до 2030 року: [схвалена Кабінетом Міністрів України 30 травня 2018 р. № 430-р]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku>. (дата звернення: 08. 10. 2025).
- 3 Mannino C., Mascis A., Pacciarelli D., Rizzo A. Real-time traffic control in railway systems // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2009. Vol. 43, No. 2. P. 246–260. DOI: 10.1016/j.trb.2008.06.003.
- 4 Corman F., D’Ariano A., Marra A., Pacciarelli D., Samà M. Integrating train scheduling and delay management in real-time railway traffic control // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2017. Vol. 105. P. 213–239. DOI: 10.1016/j.tre.2017.07.009.
- 5 Corman F., Meng L. A review of online dynamic models and algorithms for railway traffic management // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2015. Vol. 16, No. 3. P. 1274–1284. DOI: 10.1109/TITS.2014.2358997.
- 6 Corman F., D’Ariano A., Pacciarelli D., Pranzo M. A tabu search algorithm for rerouting trains during rail operations // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2010. Vol. 44, No. 1. P. 175–192. DOI: 10.1016/j.trb.2009.05.004.
- 7 Lindenmaier L., Lövétei I. F., Aradi S. Efficient real-time rail traffic optimization: Decomposition of rerouting, reordering and rescheduling problem // *arXiv preprint*. 2022. arXiv:2209.12689. URL: <https://arxiv.org/abs/2209.12689> (дата звернення: 24.10.2025).
- 8 Kubosawa S., Onishi T., Sakahara M., Tsuruoka Y. Railway operation rescheduling system via dynamic simulation and reinforcement learning // *arXiv preprint*. 2022. arXiv:2201.06276. URL: <https://arxiv.org/abs/2201.06276> (дата звернення: 24.10.2025).

9 Binder S., Maknoon Y., Bierlaire M. Delay management in regional railway transport // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, No. 1. Article 457. DOI: 10.3390/app12010457.

10 Goverde R. M. P., Meng L. Review of railway operations management models and approaches // Transportation Research Record. 2022. Vol. 2676, No. 9. P. 36–49. DOI: 10.1177/03611981221104810.

11 Панченко С. В. Диспетчерське керування рухом поїздів на залізничному транспорті : навч. посібник. Харків : УкрДУЗТ, 2016. 256 с. URL: <https://lib.kart.edu.ua> (дата звернення: 24.10.2025).

12 CFTS. Розбудова залізничної мережі України: перспективні проекти [Електронний ресурс]. URL: https://cfts.org.ua/articles/rozbudova_zaliznichno_merezhi_ukrani_perspektivni_proekti_2110. - (дата звернення: 10.11.2025).

13 Цього літа Укрзалізниця перевезла на міжнародних маршрутах на 48% більше пасажирів, ніж минулого. Пасажирів перевезла Укрзалізниця в міжнародному спрямуванні, а до України — 290 тис. URL: https://lb.ua/economics/2023/09/14/574789_tsogo_lita_ukrzaliznitsya_perevezla.html#:~:text=пасажирів%20перевезла%20Укрзалізниця%20в%20міжнародному,а%20Одо%20України%20—%20290%20тис., (дата звернення: 10.11.2025).

14 В ЄС розробили стратегію інтеграції залізничних систем України та Молдови в європейську, URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/07/12/702139/>. (дата звернення: 10.11.2025).

15 Інтеграція залізничних систем України та Молдови в європейську: Аналіз і стратегії // Науковий вісник Державного університету внутрішніх справ. – 2022. - №4. с. 355-361, URL: https://visnik.dduvs.in.ua/wp-content/uploads/2023/02/NV_4/NV_4-2022-355-361.pdf (дата звернення: 14.11.2025).

16 Залізна незмінність: чому за дев'ять років залізниця не зрушила в напрямку євроінтеграції. - URL:

<https://www.epravda.com.ua/columns/2023/07/3/701760/>. (дата звернення: 20.11.2025).

17 Україна-Польща: Як збільшити пропускну здатність залізниці для пасажирів URL: https://cfts.org.ua/articles/ukrana_polscha_yak_zbilshiti_propusknu_zdatnist_zaliznit_si_dlya_pasazhiriv_1928. (дата звернення: 20.11.2025).

18 Малахова, О. А. Удосконалення міжнародних пасажирських перевезень у транспортних вузлах / О. А. Малахова, Д. В. Черкаська // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : тези стендових доповідей та виступів учасників 35-ї міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Харків, 11 листопада, 2022 р.). – 2022. – Т. 27 № 3 (додаток). – С. 43-44., URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/12602>. (дата звернення: 20.11.2025).

19 Ломотько, Д. В. Формування узгодженого графіку руху для мультимодальних пасажирських перевезень за участю залізничного транспорту / Д. В. Ломотько, О. В. Філіпський, М. Д. Ломотько, О. М. Красноштан // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2019. - № 2. - С. 49-58. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/2199>. (дата звернення: 20.11.2025).

20 Шляхи удосконалення технології мультимодальних швидкісних пасажирських перевезень [Електронний ресурс] / Д. В. Ломотько, М. С. Листопад, Д. Г. Воскобойников, А. Д. Сірадчук // Транспортні системи та технології перевезень. – 2017. – № 13. – С. 59-66. – Режим доступу : DOI : 10.15802/tsst2017/110770. (дата звернення: 20.11.2025).

21 Нарижняк Л. А. Удосконалення безпеки руху при організації залізничних пасажирських перевезень у транскордонному сполученні Україна- Європа: дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 273- Залізничний транспорт / наук. керівник О. В. Орловська; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2021. 123 с. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/45a1544d-c976-4f81-ad50-9d2cb141f071/content>. (дата звернення: 20.11.2025).

- 22 Changing gauge without missing a beat - F. Jiménez, José Ignacio Sánchez (квітень, 2021). - доступно за посиланням: <https://www.revistaitransporte.com/changing-gauge-without-missing-a-beat/>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 23 Innovative Solutions for Rail Operations - Addressing the Problem of Australia's Different Track Gauges (2023). - URL: <https://www.networkrailconsulting.com/news-and-publications-2/news/innovative-solutions-for-rail-operations-addressing-the-problem-of-australias-different-track-gauges/>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 24 The mixed-gauge mess of Thailand's railways. - URL: <https://futuresoutheastasia.com/the-mixed-gauge-mess-of-thailands-railways/>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 25 Sharma, B., Pellegrini, P., Rodriguez, J. et al. A review of passenger-oriented railway rescheduling approaches. Eur. Transp. Res. Rev. 15, 14 (2023). URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00587-0>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 26 Ghaemi, N., Cats, O. & Goverde, R.M.P. Railway disruption management challenges and possible solution directions. Public Transp 9, 343–364 (2017). URL: <https://doi.org/10.1007/s12469-017-0157-z>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 27 Відбудова залізничного транспорту повоєнної України. - URL: https://ti-ukraine.org/wp-content/uploads/2023/08/UZ_reform_ti_ukraine_ukr.pdf. (дата звернення: 20.11.2025).
- 28 З 24 лютого Укрзалізниця евакуювала чотири мільйони осіб та перевезла 314 тисяч тонн гуманітарки (01 січня 2023). - URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3644532-z-24-lutogo-ukrzeliznic>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 29 Від початку повномасштабного вторгнення РФ загинуло 303 працівники Укрзалізниці (26 грудня 2022) - URL: <https://espresso.tv/vid-pochatku-povnomasshtabnogo-vtorgnennya-rf-zaginu>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 30 Укрзалізниця презентувала новий графік руху поїздів на 2024 рік. - URL: <https://www.pz.gov.ua/podrobno/7765>. (дата звернення: 20.11.2025).

- 31 Євроінтеграція залізниці: чому на Варшаву і далі не вистачатиме квитків.
- URL: <https://www.unian.ua/economics/transport/yevrointegraciya-zalznici-chomu-na-varshavu-i-dali-ne-vistachatime-kvitkiv-12327936.html>. (дата звернення: 20.11.2025).
- 32 Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій / В. Б. Неруш, В. В. Курдеча. – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с. - URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15598/1/Konspekt_lekciy_Imit_modelyr_syst_process%28CHANGED%29.pdf. (дата звернення: 29.11.2025).
- 33 Малецька, О. М. (2020). Система моделювання поведінки натовпу [Бакалаврська робота, Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського]. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41024/1/Maletska_bakalavr.pdf. (дата звернення: 29.11.2025).
- 34 Gasnikov, A. V., Dorn, Yu. V., Nesterov, Yu. E., Shpirko, S. V. (2014). O trekhstadiynoy versii modeli stacionarnoy dinamiki transportnykh potokov . - *Matematicheskoe modelirovanie*, 26(6), 34–70.
- 35 Beckmann M., McGuire C. B., Winsten C. B. *Studies in the economics of transportation*. Santa Monica : RAND Corporation, 1955. 210 p.
- 36 Sandholm W. H. Evolutionary implementation and congestion pricing // *Review of Economic Studies*. 2002. Vol. 69. P. 81–108.
- 37 Ortúzar J. D., Willumsen L. G. *Modelling transport*. 4th ed. Chichester : John Wiley & Sons, 2011. 586 p.
- 38 Murata T. Petri nets: Properties, analysis and applications // *Proceedings of the IEEE*. 1989. Vol. 77, No. 4. P. 541–580. DOI: 10.1109/5.24143.
- 39 Babicheva T.S., Gasnikov A.V., Gasnikova E.V., Dvurechensky P.E., Lagunovskaya A.A. Efficient calculation of stochastic equilibriums in the Beckmann's and stable dynamic models. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2016. arXiv:1505.07492 17.

- 40 Sheffi Y. Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods. N.J.: Prentice–Hall Inc., Englewood Cliffs, 1985.
- 41 Nesterov Yu. Universal gradient methods for convex optimization problems. CORE Discussion Paper 2013/63. 2013.
- 42 Гаврильченко, О. Удосконалення організації пасажирських перевезень у міжнародному сполученні на основі інтеперабельності // Тези доповіді 83-ї студентської науково-технічної конференції, 12-14 грудня 2023 року, УкрДУЗТ, URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/programa_sntk-83-.pdf дата звернення: 29.11.2025).
- 43 Грабовська Я. В. Удосконалення організації міжнародних залізничних пасажирських перевезень в умовах інформатизації: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня магістр – Х.: УкрДУЗТ, 2019.
- 44 Бондаренко О. Удосконалення організації міжнародних пасажирських перевезень в умовах цифровізації // Матеріали 85-ї студентської науково-технічної конференції. Харків : УкрДУЗТ, 2025. URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/tezi-sntk-85_2025.pdf. (дата звернення: 13.12.2025).
- 45 Бондаренко О. Удосконалення інтеперабельності при організації пасажирських перевезень у міжнародному сполученні // Збірник тез доповідей (ИТТ 2025). Харків : УкрДУЗТ, 2025. URL: <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/zbirnik-tez-dopovidej-itt2025-vipr-1-1.pdf>. (дата звернення: 13.12.2025).
- 46 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.
- 47 Методичні рекомендації щодо розробки економічної частини випускної роботи магістрів за спеціальністю Транспортні технології (на залізничному транспорті). – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 11 с. URL: <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/02/metodichka-po-jeknom-chasti-dp-2023.pdf>. (дата звернення 13.12. 2025).