

УДК 656.2.07

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ ГОРЛОВИН ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-РЕСУРСНИХ ФАКТОРІВ

Д-р техн. наук О. М. Огар, кандидати техн. наук С. М. Продащук, Г. С. Бауліна,
аспіранти М. В. Продащук, І. В. Кондратьєв

ADAPTIVE OPTIMIZATION MODEL OF RAILWAY STATION THROAT DESIGNS CONSIDERING OPERATIONAL AND RESOURCE FACTORS

Dr. Sc. (Tech.) O. Ohar, PhD (Tech) S. Prodashchuk, PhD (Tech) H. Baulina,
Ph.D. Student M. Prodashchuk, Ph.D. Student I. Kondratiev

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.216.2026.362836>



Анотація. У статті розглянуто проблему формування раціональних конструкцій горловин залізничних станцій у сучасних умовах як критично важливої ділянки, що визначає ефективність роботи станційного комплексу. Проаналізовано сучасні методи проектування (геометричних, імітаційних, алгоритмічних), їхні переваги та обмеження, зокрема недостатнє врахування залишкового технічного ресурсу, економічних факторів і сценаріїв кризового функціонування. Запропоновано модель адаптивної оптимізації з урахуванням експлуатаційно-ресурсних факторів (АО+ЕРФ), що дає змогу багатокритеріально оцінювати конфігурації горловин за технічними, експлуатаційними, економічними та ресурсними показниками, урахувати різні сценарії функціонування станції (мирний час, воєнні дії, відновлення) і підвищувати стійкість інфраструктури. Модель демонструє переваги оптимізованих варіантів горловини порівняно з класичними: зменшення кількості конфліктних точок, економія витрат, покращення технічного ресурсу та енергоефективності. Запропонований підхід можна застосовувати для планування, реконструкції і адаптивної оптимізації залізничної інфраструктури в Україні та інших країнах із критичною інфраструктурою.

Ключові слова: залізнична станція, горловина станції, адаптивна оптимізація, експлуатаційно-ресурсний фактор, багатокритеріальне оцінювання, стійкість інфраструктури, реконструкція.

Abstract. The article considers the problem of forming rational designs of railway station entrances in modern conditions as a critically important area that determines the efficiency of the station complex. An analysis of modern design methods (geometric, simulation and algorithmic), their advantages and limitations, in particular insufficient consideration of the residual technical resource, economic factors and crisis operation scenarios, is carried out. An adaptive optimization model is proposed taking into account operational and resource factors (AO + ERF), which allows for a multi-criteria assessment of entrance configurations according to technical, operational, economic and resource indicators. The assessment was carried out under three scenarios: peacetime - stable conditions, minimal resource constraints; military operations - increased risk of destruction, shortage of elements, reduced windows for restoration; reconstruction - limited budget, but long-

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

© Огар О. М., Продащук С. М., Бауліна Г. С., Продащук М. В., Кондратьєв І. В., 2026.

term sustainability and energy efficiency are the priority. The following criteria are evaluated for each scenario: geometric parameters, life cycle costs, average route travel time, energy costs, reliability coefficient (technical resource), stability index. The model demonstrates the advantages of optimized neck options over classic ones: reducing the number of conflict points, saving costs, improving technical resource and energy efficiency. Using the model will allow making informed decisions regarding the design, reconstruction and development of stations, taking into account possible delays in deliveries and the need for rapid restructuring of logistics routes. The proposed approach can be used for planning, reconstruction and adaptive optimization of railway infrastructure in Ukraine and other countries with critical infrastructure.

Keywords: railway station, station entrance, adaptive optimization, operational and resource factor, multi-criteria assessment, infrastructure sustainability, reconstruction.

Постановка проблеми. Горловина залізничної станції є критично важливою ділянкою, що визначає загальну ефективність роботи станційного комплексу. Її конфігурація безпосередньо впливає на пропускну спроможність, ефективність маневрових операцій і витрати на експлуатацію.

У світовій практиці проблему оптимізації станційних горловин розглядають у різних контекстах: у країнах ЄС акцент зроблено на цифровому моделюванні та інтеграції з високошвидкісними магістралями [1, 2], у США – на підвищенні пропускну спроможності залізничних вузлів [3, 4], в Азії – на мінімізації часу маневрових операцій [5-7]. Проте більшість методів базовані переважно на геометричній оптимізації та не враховують експлуатаційно-ресурсні фактори, що обмежує їхню ефективність у кризових умовах.

В умовах повномасштабної війни Україна зіткнулася з масовими руйнуваннями інфраструктури, і швидкість відновлення транспортних вузлів стає вирішальною. У цих умовах актуальним є розроблення нових підходів, які допомагають не лише проєктувати, а й адаптивно оптимізувати конфігурації горловин з урахуванням технічного стану елементів, логістичних сценаріїв (різні варіанти організації руху та обробки вантажів і поїздів на станції) і обмежених ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням проєктування конфігурацій горловин залізничних станцій присвячено чимало наукових робіт, зокрема дослідження [8, 9] окреслюють напрями удосконалення методів формування конструкцій і пропонують рамку техніко-технологічного оцінювання варіантів, тобто перехід від «кращої геометрії» до оцінювання впливу на процеси (пропускання, маневри, надійність). У роботі [9] розглянуто недоліки типових структур гіркових горловин і шляхи їх удосконалення. Автори дослідження [10] обґрунтували підходи щодо комплексного багатокритеріального оцінювання гіркових горловин з урахуванням економічних показників для вибору конструкцій. Для спеціальних випадків (сортувальні гірки малої потужності) пропонують методики оптимізації плану горловини, що демонструють практичність алгоритмічних підходів у реконструкціях [11]. Перевага цього напряму – багатофакторність і можливість урахування економіки. Обмеження – недостатність даних про фактичний стан елементів.

У світовій практиці активно використовують рекомендації Міжнародного союзу залізниць UIC 406 [12], цифрове планування на основі BIM-моделей [13], а також концепцію resilience engineering [14], яка спрямована на формування життєстійких транспортних систем, здатних до адаптації та відновлення. Такі ідеї інженерії життєстійкості, зокрема

концепції адаптації інфраструктури до зовнішніх загроз, довели свою доцільність у цивільному будівництві, а нині все активніше впроваджені в транспортній сфері. У науковій роботі [15] розглянуто концепції і техніки моделювання стійкості (resilience) у транспортних системах, аналіз індексів стійкості: redundancy, adaptability, rapidity та ін. У статті [16] проаналізовано літературу про стійкість транспортних систем із практичними напрямками розвитку. Дослідження [17] присвячено оцінюванню операційних процесів залізничної роботи з позицій здатності системи відновлюватися.

Більшість розглянутих підходів орієнтована на розвиток інфраструктури в мирний час, тоді як для України особливо актуальним є врахування кризових і відновлювальних сценаріїв. Аналіз літератури свідчить, що сучасні дослідження еволюціонують від геометричної раціоналізації плану до імітаційного аналізу експлуатаційних сценаріїв і алгоритмічної багатокритеріальної оптимізації. Найбільш перспективним є інтеграція цих підходів у єдину методологію, що поєднуватиме технічні, експлуатаційні та економічні фактори, а також враховуватиме життєвий цикл елементів колійного розвитку. Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію міжнародних практик (UIC, BIM, resilience engineering) до умов кризового функціонування та відновлення залізничної інфраструктури України.

Формулювання цілей. Метою дослідження є розроблення моделі адаптивної оптимізації конструкцій горловин залізничних станцій з урахуванням експлуатаційно-ресурсних факторів (АО+ЕРФ), яка забезпечує багатокритеріальне оцінювання варіантів конфігурацій горловин і адаптивність до умов різних сценаріїв функціонування – від мирного часу до воєнних і післявоєнних фаз відновлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні методи проектування горловин залізничних станцій (геометричні, імітаційні, алгоритмічні) і визначити їхні обмеження;

- сформулювати багатокритеріальну модель АО+ЕРФ, що поєднує технічні, експлуатаційні, економічні та ресурсні фактори;

- проаналізувати і порівняти класичний і оптимізований варіанти горловини.

Викладення основного матеріалу дослідження. Методи проектування горловин залізничних станцій умовно поділяють на три основні групи: геометричні, імітаційного моделювання та алгоритмічної оптимізації [8].

Геометричні методи орієнтовані на мінімізацію довжини стрілочних вулиць, кількості перехрещень і площі, яку займає горловина. Перевагою є простота і відповідність нормативній базі [18, 19], проте враховано переважно статичні критерії, без інтеграції з ресурсними факторами чи техніко-експлуатаційними ризиками.

Імітаційні підходи дають змогу оцінювати пропускну спроможність і затримки за різних сценаріїв роботи станції, моделювати конфлікти і черги в горловинах [20-23]. Їхня перевага – наближення до реальної експлуатації, урахування часових обмежень і динаміки процесів.

Алгоритмічні методи оптимізації включають лінійні та цілочислові постановки, багатокритеріальні задачі. Вони дають змогу враховувати не лише геометрію, а і вплив варіантів конструкції на пропускну спроможність, маневрову роботу і надійність.

Водночас усі ці методи мають недоліки: недостатньо враховують залишковий технічний ресурс стрілок і колійних елементів; орієнтовані переважно на умови стабільного функціонування, а не кризових чи відновлювальних сценаріїв; рідко враховують економічні фактори (вартість, час монтажу, доступність обладнання); слабо інтегровані з концепціями адаптивності та життєстійкості інфраструктури.

Запропоновано модель адаптивної оптимізації з урахуванням експлуатаційно-ресурсних факторів, що полягає у створенні багатокритеріальної функції оцінювання ефективності конструкції горловини з урахуванням не лише її довжини, складності, типу стрілочних переводів, але і таких параметрів, як інтенсивність використання, залишковий технічний ресурс, вартість монтажу та експлуатації, а також адаптивність до пошкоджень.

Модель АО+ЕРФ розглядає процес проектування та реконструкції горловини як задачу багатокритеріальної оптимізації, у якій одночасно враховано геометричні, технічні, експлуатаційні, економічні та ризик-орієнтовані фактори.

Основні принципи побудови моделі: геометрична компактність – мінімізація довжини стрілочних вулиць, оптимізація кутів розгалуження, групування колій; експлуатаційно-ресурсне оцінювання –

урахування залишкового ресурсу елементів, витрат на обслуговування та енергетичних характеристик протягом життєвого циклу; адаптивність – можливість змінювати вагові коефіцієнти залежно від сценарію функціонування станції (мирний час, воєнні дії, післявоєнна відбудова); стійкість до руйнувань – урахування здатності горловини продовжувати роботу навіть за пошкодження окремих елементів.

Математична постановка. Нехай $x = (x_1, \dots, x_n)$, де $x_i \in \{0, 1\}$ – змінна вибору і-го елемента (стрілки, ділянки чи іншого компонента), w_1, \dots, w_6 – вагові коефіцієнти, що визначають значущість кожного критерію. Для кожного сценарію $s \in \tilde{S}$ (з імовірністю π_s) оцінюють критерії: $G(x, s)$ – геометричні параметри у сценарії s ; $C(x, s)$ – витрати життєвого циклу; $T(x, s)$ – середній час проходження маршруту; $E(x, s)$ – енергетичні витрати; $A(x, s)$ – коефіцієнт надійності; $S(x, s)$ – індекс стійкості.

$$F(x) = \sum_{\{s \in \tilde{S}\}} \pi_s \left[w_1 G(x, s) + w_2 C(x, s) + w_3 T(x, s) + w_4 E(x, s) + w_5 (1 - A(x, s)) + w_6 S(x, s) \right] \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{за обмежень} \quad T(x, s) \leq \begin{cases} G(x, s) \leq G_{\max} - \text{геометричні обмеження;} \\ C(x, s) \leq C_{\max} - \text{бюджетні обмеження;} \\ T_{\max} - \text{допустимий час проходження;} \\ E(x, s) \leq E_{\max} - \text{допустимий рівень енергоспоживання;} \\ A(x, s) \geq A_{\min} - \text{мінімальний рівень надійності;} \\ S(x, s) \leq S_{\max} - \text{допустимий рівень втрати стійкості.} \end{cases} \quad (2)$$

Алгоритм застосування моделі. Визначають можливі сценарії функціонування станції (мирний час, воєнні дії, відбудова). Формують альтернативні варіанти конфігурацій горловини. Для кожного варіанта і кожного сценарію обчислюють значення критеріїв $G(x, s)$, $C(x, s)$, $T(x, s)$, $E(x, s)$, $A(x, s)$, $S(x, s)$. Розраховують функцію $F(x)$. Вибирають конфігурацію, що мінімізує $F(x)$ і задовольняє всі обмеження.

Розглянемо варіант А – класичний (традиційний проект без урахування

АО+ЕРФ і варіант Б – оптимізований за методом АО+ЕРФ (табл. 1). Оцінювали за трьома сценаріями: мирний час (s_1) – стабільні умови, обмеження ресурсів мінімальні; воєнні дії (s_2) – підвищений ризик руйнувань, дефіцит елементів, скорочені вікна для відновлення; відбудова (s_3) – обмежений бюджет, але в пріоритеті довгострокова стійкість і енергоефективність. Результати моделювання наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Тестування (початкове) моделі

ВАРІАНТ А класичний (традиційний) проєкт без урахування АО+ЕРФ	ВАРІАНТ Б оптимізований проєкт із застосуванням АО+ЕРФ
Побудована за типовою схемою горловини станції середнього класу	Сформована із застосуванням моделі – генеровані кілька альтернативних геометричних конфігурацій
Вихідні параметри на основі Державних будівельних норм України (ДБН), Правил технічної експлуатації залізниць України (ПТЕ), типових проєктів АТ «Укрзалізниця»	Для кожної альтернативи виконують імітаційне моделювання роботи горловини у трьох сценаріях
Значення адаптовані для кожного сценарію (мирний, воєнний, відбудова)	Моделює час, енерговитрати, стійкість, ресурс та інші показники
Не виконувана оптимізація – традиційний нормативний варіант	Для кожної конфігурації обчислюють цільову функцію $F(x)$
Відображає стандартний геометричний підхід і типові експлуатаційні параметри	Конфігурація Б – це варіант, що мінімізує $F(x)$ і забезпечує кращий баланс показників

Таблиця 2

Порівняння варіантів класичного та оптимізованого за різними критеріями у трьох сценаріях

Показник	Одиниця вимірювання	Варіант А (s ₁) Мирний	Варіант А (s ₂) Воєнний	Варіант А (s ₃) Відбудова	Варіант Б (s ₁) Мирний	Варіант Б (s ₂) Воєнний	Варіант Б (s ₃) Відбудова	Коментар
Кількість стрілок G	шт.	14	14	14	11	11	11	Менше точок відмов
Коефіцієнт надійності (технічний ресурс) А	%	76	65	70	83	75	80	Краще використання залишкового ресурсу
Вартість С	млн грн	6.2	5.5	5.8	4.8	4.3	4.5	Зниження на 20–25 %
Час проходження T	с	92	98	95	79	85	82	Прискорення руху
Енерговитрати E	кВт·год	100	115	108	87	95	90	Краще в умовах дефіциту електроенергії
Індекс стійкості S	–	0.35	0.50	0.40	0.20	0.30	0.25	Вища стійкість за руйнувань

У мирний час використання оптимізованого варіанта за сценарієм s_1 дасть змогу скоротити кількість стрілок на 21 %, знизити вартість на 22 %, скоротити енерговитрати на 13 %. У воєнних умовах (s_2) варіант Б показує значно кращу стійкість

($S = 0.30$ проти 0.50) і менші втрати часу/енергії. У сценарії відбудови (s_3) метод дає змогу поєднати економію бюджету з підвищеною надійністю і енергоефективністю. Результати моделювання наведено на рис. 1–3.

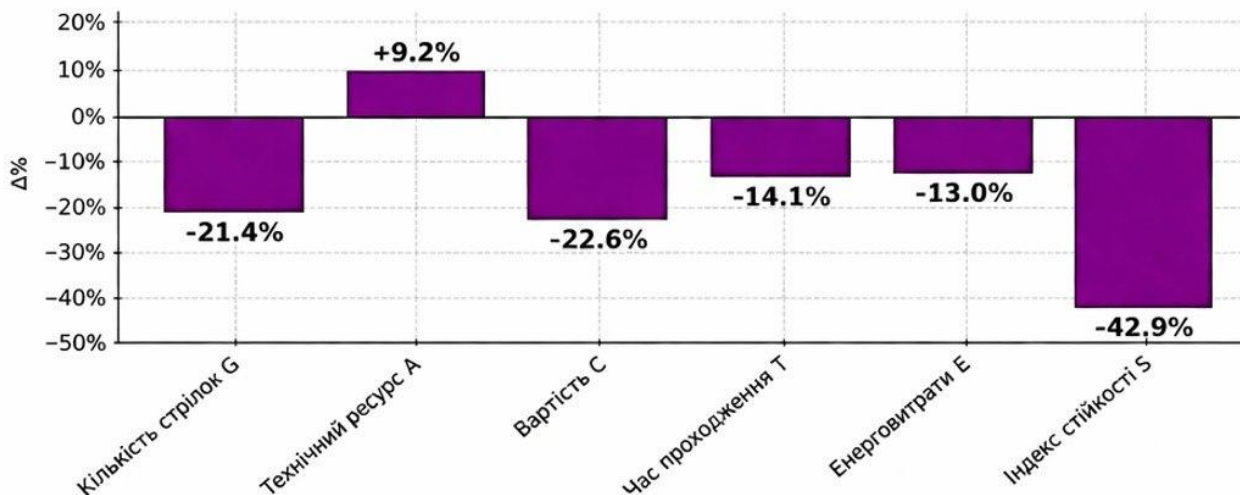


Рис. 1. Відсоткові зміни показників варіанта Б відносно варіанта А (сценарій s_1 – мирний)

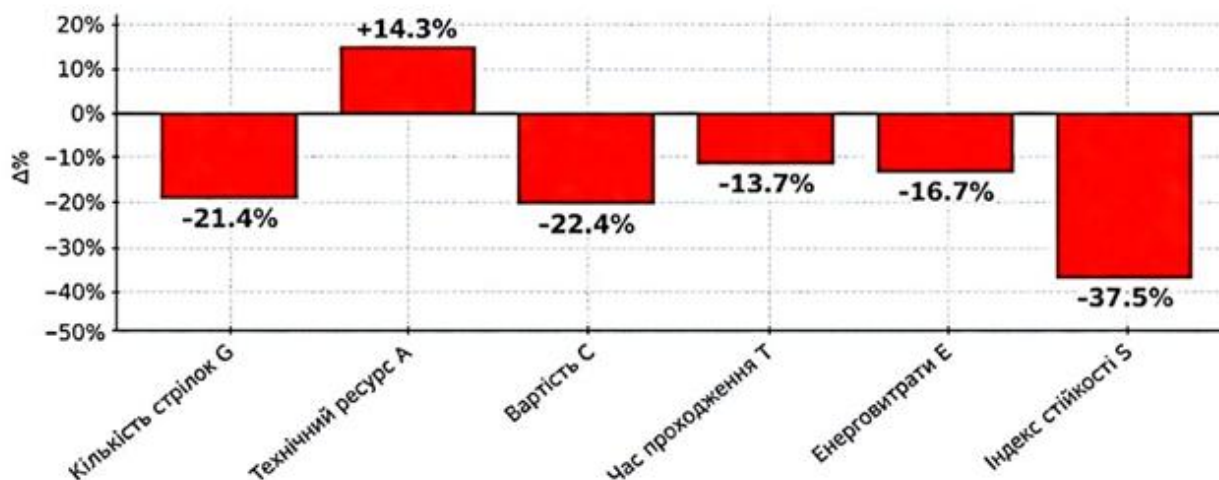


Рис. 2. Відсоткові зміни показників варіанта Б відносно варіанта А (сценарій s_2 – воєнний)

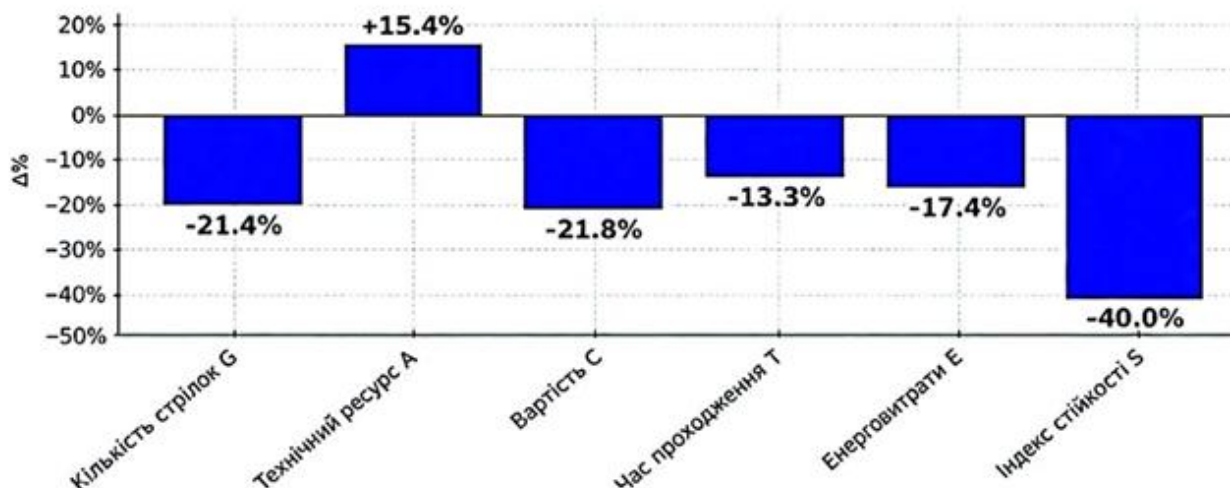


Рис. 3. Відсоткові зміни показників варіанта Б відносно варіанта А (сценарій S_3 – відбудова)

Отже, модель АО+ЕРФ з урахуванням множини сценаріїв розвитку подій (мирний, воєнний, відбудова) дає змогу оцінювати не лише середню ефективність проєктних рішень, але й їхню стійкість у кризових умовах, що робить її придатною для використання в умовах невизначеності та дефіциту ресурсів, а це особливо актуально для сучасної України. Використання моделі допоможе ухвалювати обґрунтовані рішення про проєктування, реконструкцію та розвиток станцій, враховувати можливі затримки в поставках і необхідність швидкої перебудови логістичних маршрутів.

Висновки. Під час дослідження було проаналізовано сучасні методи проєктування горловин залізничних станцій і обґрунтовано необхідність розроблення нових підходів щодо проєктування, оскільки існуючі методи (геометричні, імітаційні та алгоритмічні) мають обмеження – вони орієнтовані переважно на статичні критерії та рідко враховують залишковий ресурс елементів, економічні та експлуатаційні фактори.

Розроблена модель АО+ЕРФ дає змогу комплексно оцінювати варіанти конфігурацій горловин за сукупністю

показників (технічних, експлуатаційних, економічних і ресурсних), урахувати сценарії дефіциту ресурсів та інтегрувати багатофакторний підхід у процес проєктування і реконструкції залізничних станцій. Вагові коефіцієнти в моделі можна адаптувати до конкретного сценарію (мирний період, воєнні дії, фаза відновлення), що робить її придатною для використання не лише в Україні, а і в інших країнах, які мають справу з критичною інфраструктурою в умовах ризиків.

Порівняльний аналіз класичного та оптимізованого варіантів конфігурацій горловини підтвердив переваги запропонованого підходу: зменшення кількості конфліктних точок і витрат на обслуговування, а також кращу стійкість до різних сценаріїв функціонування – від стабільної експлуатації до відновлення після пошкоджень.

Отже, модель може стати універсальним інструментом для планування та оптимізації залізничної інфраструктури України, сприяючи інтеграції до європейського транспортного простору та підвищенню національної безпеки.

Список використаних джерел

1. Zhang, M., Chen, J., & Zheng, H. (2020). High-Speed Railway Train Diagram Optimization Model and Algorithm Considering Station Throat Capacity Constraints. *CICTP*. DOI:10.1061/9780784482933.271
2. Corman, F., D'Ariano, A., Hansen, I. A., & Pacciarelli, D. (2011). 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
3. Zhao, J., & Dick, C. T. (2023). Quantifying the Influence of Volume Variability on Railway Hump Classification Yard Performance. *Transportation Research Record*. DOI: <https://doi.org/10.1177/03611981231160178>
4. Dick, C. T. (2022). Influence of traffic complexity on railway gravity hump yard performance and capacity. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097221127064>
5. Zhang Q., Zhu X., & Wang L. (2019). Track Allocation Optimization in Multi-Direction High-Speed Railway Stations. *Symmetry*. 11 (4). 459. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym11040459>
6. Zhang, Q., Zhu, X., Wang, L., & Wang, S. (2021). Simultaneous Optimization of Train Timetabling and Platforming Problems for High-Speed Multiline Railway Network. *Journal of Advanced Transportation*. Article ID 6679008. 16 p. <https://doi.org/10.1155/2021/6679008>
7. Liao, Z., & Mu, C. (2023). Assessing the Compatibility of Railway Station Layouts and Mixed Heterogeneous Traffic Patterns by Optimization-Based Capacity Estimation. *Mathematics*. 11 (17). 3727. <https://doi.org/10.3390/math11173727>
8. Огар, О. М., Берестов, І. В., Бантюков, С. Є., Круглова, Н. С. (2021). Напрями удосконалення методів формування конструкцій колійного розвитку залізничних станцій та їх техніко-технологічної оцінки. *Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень»*. Дніпро, 21. 60-67. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2021/237664>
9. Огар, О. М., Розсоха, О. В. (2007). Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 5/2 (29). 54-58.
10. Данько, М. І., Огар, О. М., Розсоха, О. В. (2009). Розробка методу комплексної оцінки конструкцій гіркових горловин. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 6/3 (42). 30-33.
11. Колесник, А. І. (2014). Оптимізація конструкції колійного розвитку сортувальних гірок малої потужності. *Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр.*, 8. 74–79.
12. Landex, A., Schittenhelm, B., Kaas, A.H., & Schneider-Tilli, J. (2008). Capacity measurement with the UIC 406 capacity method. *WIT Transactions on The Built Environment. Computers in Railways XI*. 103. 55-64.
13. Продащук, М. В., Квасов, П. В. (2025). Модернізація станційних горловин із застосуванням цифрових технологій Scan-to-Bim. *Матеріали 21-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика»* (5-6 червня 2025 р., м. Харків, Український державний університет залізничного транспорту). Харків, 71–73.
14. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Text>

15. Ahmed, S., & Dey, K. (2020). Resilience modeling concepts in transportation systems: a comprehensive review based on mode, and modeling techniques. *J Infrastruct Preserv Resil.* 1. 8 DOI: <https://doi.org/10.1186/s43065-020-00008-9>
16. Wan, C., Yang, Z., & Zhang, D. (2018). Resilience in transportation systems: a systematic review and future directions. *Transport Reviews.* 38, 4. 479–498. DOI: 10.1080/01441647.2017.1383532
17. Restel, F. (Mar. 2021). The railway operation process evaluation method in terms of resilience analysis. *Archives of Transport.* 57. 1. 73–89. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.7485>
18. Правила технічної експлуатації залізниць України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text>
19. ДБН В.2.3-19:2018. *Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування*: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 28.09.2018 р. № 261. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074863391337088215?doc_type=2
20. Малашкін, В. В. (2015). Система автоматизованого синтезу колійного розвитку залізничних станцій. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 14 (1123). 107-113.
21. Козаченко, Д. Н., Вернигора, Р. В., Малашкин, В. В. (2015). Автоматизоване формування функціональних моделей залізничних станцій. *Транспортні системи та технології перевезень.* 8, 65–73. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2014/38089>
22. Бобровський, В. І., Козаченко, Д. М., Вернигора, Р. В. (2013). Дослідження функціонування залізничних станцій на підставі використання їх ергатичних моделей. *Транспортні системи та технології перевезень.* 5, 67-72. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2013/19282>
23. Бауліна, Г. С., Богомазова, Г. Є., Продашук, С. М., Ковальова, О. В. (2024). Формування оптимальної технології транспортного процесу перевезення вантажів у контейнерах. *Розвиток транспорту.* 4 (23), 66–76. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.06>

Reference

1. Zhang, M., Chen, J., & Zheng, H. (2020). High-Speed Railway Train Diagram Optimization Model and Algorithm Considering Station Throat Capacity Constraints. *СІСТР*. DOI:10.1061/9780784482933.271
2. Corman, F., D'Ariano, A., Hansen, I. A., & Pacciarelli, D. (2011). 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
3. Zhao, J., & Dick, C. T. (2023). Quantifying the Influence of Volume Variability on Railway Hump Classification Yard Performance. *Transportation Research Record.* DOI: <https://doi.org/10.1177/03611981231160178>
4. Dick, C. T. (2022). Influence of traffic complexity on railway gravity hump yard performance and capacity. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.* DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097221127064>
5. Zhang Q., Zhu X., & Wang L. (2019). Track Allocation Optimization in Multi-Direction High-Speed Railway Stations. *Symmetry.* 11 (4). 459. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym11040459>
6. Zhang, Q., Zhu, X., Wang, L., & Wang, S. (2021). Simultaneous Optimization of Train Timetabling and Platforming Problems for High-Speed Multiline Railway Network. *Journal of Advanced Transportation.* Article ID 6679008. 16 p. <https://doi.org/10.1155/2021/6679008>

7. Liao, Z., & Mu, C. (2023). Assessing the Compatibility of Railway Station Layouts and Mixed Heterogeneous Traffic Patterns by Optimization-Based Capacity Estimation. *Mathematics*. 11 (17). 3727. <https://doi.org/10.3390/math11173727>
8. Ogar, O. M., Berestov, I. V., Bantyukov, S. Ye., & Kruglova, N. S. (2021). Napryamy udoskonalennya metodiv formuvannya konstruktsiy kolyynoho rozvytku zaliznychnykh stantsiy ta yikh tekhniko-tekhnolohichnoyi otsinky [Directions for improving methods for forming structures for the track development of railway stations and their technical and technological assessment]. *Collection of scientific works of the Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Transport systems and transportation technologies"*. Dnipro, 21. 60-67. <https://doi.org/10.15802/tstt2021/237664> [in Ukrainian].
9. Ogar, O. M., & Rozsokha, O. V. (2007). Napryamky udoskonalennya konstruktsiy hirkovykh horlovykh sortoval'nykh prystroyiv z pozytsiyi resursozberezhennya [Directions for improving the designs of the sliding throats of sorting devices from the perspective of resource conservation]. *East European Journal of Advanced Technologies*. 5/2 (29). 54-58 [in Ukrainian].
10. Danko, M. I., Ogar, O. M., & Rozsokha, O. V. (2009). Rozrobka metodu kompleksnoyi otsinky konstruktsiy hirkovykh horlovykh [Development of a method for comprehensive assessment of slide neck structures]. *East European Journal of Advanced Technologies*. 6/3 (42). 30-33 [in Ukrainian].
11. Kolesnyk, A. I. (2014). Optyimizatsiya konstruktsiyi kolyynoho rozvytku sortoval'nykh hirok maloyi potuzhnosti [Optimization of the design of the track development of low-power sorting chutes]. *Transport systems and transportation technologies: collection of scientific papers*, 8. 74–79 [in Ukrainian].
12. Landex, A., Schittenhelm, B., Kaas, A.H., & Schneider-Tilli, J. (2008). Capacity measurement with the UIC 406 capacity method. *WIT Transactions on The Built Environment. Computers in Railways XI*. 103. 55-64.
13. Prodashchuk, M. V., & Kvasov, P. V. (2025). Modernizatsiya stantsiynykh horlovykh iz zastosuvannyam tsyfrovyykh tekhnolohiy Scan-to-Bim [Modernization of station entrances using digital Scan-to-Bim technologies]. *Materials of the 21st International Scientific and Practical Conference "International Transport Infrastructure, Industrial Centers and Corporate Logistics" (June 5-6, 2025, Kharkiv, Ukrainian State University of Railway Transport)*. Kharkiv, 71–73 [in Ukrainian].
14. National Transport Strategy of Ukraine for the period until 2030. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Text>
15. Ahmed, S., & Dey, K. (2020). Resilience modeling concepts in transportation systems: a comprehensive review based on mode, and modeling techniques. *J Infrastruct Preserv Resil*. 1. 8 DOI: <https://doi.org/10.1186/s43065-020-00008-9>
16. Wan, C., Yang, Z., & Zhang, D. (2018). Resilience in transportation systems: a systematic review and future directions. *Transport Reviews*. 38, 4. 479–498. DOI: 10.1080/01441647.2017.1383532
17. Restel, F. (Mar. 2021). The railway operation process evaluation method in terms of resilience analysis. *Archives of Transport*. 57. 1. 73–89. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.7485>
18. Rules for technical operation of Ukrainian railways. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text>
19. DBN V.2.3-19:2018. *Transport structures. Railways with a gauge of 1520 mm. Design standards*: Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine 28.09.2018, No 261. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074863391337088215?doc_type=2

20. Malashkin, V. V. (2015). System of automated synthesis of track development of railway stations. *Bulletin of NTU "KhPI"*. 14 (1123). 107-113 [in Ukrainian].

21. Kozachenko, D. N., Vernygora, R. V., & Malashkin, V. V. (2015). Avtomatyzovane formuvannya funktsional'nykh modeley zaliznychnykh stantsiy [Automated formation of functional models of railway stations]. *Transport systems and transportation technologies*. 8, 65–73. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2014/38089> [in Ukrainian].

22. Bobrovsky, V. I., Kozachenko, D. M., & Vernygora, R. V. (2013). Doslidzhennya funktsionuvannya zaliznychnykh stantsiy na pidstavi vykorystannya yikh erhatchnykh modeley [Research into the functioning of railway stations based on the use of their ergatic models]. *Transport systems and transportation technologies*. 5, 67-72. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2013/19282> [in Ukrainian].

23. Baulina, G. S., Bogomazova, G. E., Prodashchuk, S. M., & Kovaleva, O. V. (2024). Formuvannya optymal'noyi tekhnolohiyi transportnoho protsesu perevezennya vantazhiv u konteynerakh [Formation of optimal technology of the transport process of cargo transportation in containers]. *Transport development*. 4 (23), 66–76. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.06> [in Ukrainian].

Огар Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: ogar.07.12@kart.edu.ua. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1967-5828>.

Продащук Світлана Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: sp7728@ukr.net. ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-7673-3863>.

Бауліна Ганна Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: baulina.uvkr@kart.edu.ua. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8464-1507>.

Продащук Микола Вікторович, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: nick1nick3nick@gmail.com. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3355-7767>.

Кондратьєв Ігор Вікторович, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: oves.prod@gmail.com.

Ohar Oleksandr, Dr. Sc. (Tech.), Professor, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: ogar.07.12@kart.edu.ua. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1967-5828>.

Prodashchuk Svitlana, PhD (Tech), Associate Professor of the Department of Cargo and Commercial Work Management, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: sp7728@ukr.net. ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-7673-3863>.

Baulina Hanna, PhD (Tech), Associate Professor of the Department of Cargo and Commercial Work Management, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: baulina777@gmail.com. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-001-8464-1507>.

Prodashchuk Mykola, Ph.D. Student, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: nick1nick3nick@gmail.com. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3355-7767>.

Kondratiev Ihor, Ph.D. Student, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: oves.prod@gmail.com.

Дата надходження статті 25.03.2026 р.

Дата прийняття статті до друку 18.05.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті 29.05.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY
