

УДК 656.2:658.26

**УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ГРУПНИХ
ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ НА УМОВАХ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Кандидати техн. наук П. В. Долгополов, В. В. Кулешов, асп. П. Р. Пелех

**IMPROVEMENT OF THE MODEL OF GROUP FREIGHT TRAINS TRANSPORTATION
TECHNOLOGY**

PhD (Cand. Tech. Sciences) P. V. Dolgoplov,
PhD (Cand. Tech. Sciences) V. V. Kuleshov, PhD student P. R. Pelekh

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.217.2026.371676>



***Анотація.** У статті розроблено багатокритеріальну математичну модель удосконалення технології перевезень групних вантажних поїздів на умовах ресурсозбереження. Запропонований підхід передбачає інтеграцію енергетичного, часово-експлуатаційного, маневрового та інфраструктурного критеріїв у єдину цільову функцію оптимізації з урахуванням обмежень пропускної та переробної спроможності залізничної*

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

© Долгополов П. В. Кулешов В. В., Пелех П. Р., 2026.

мережі. Модель формалізовано у вигляді задачі змішаного цілочисельного нелінійного програмування з подальшою лінеаризацією енергетичної складової. Ураховано обмеження маси та довжини поїздів, балансу вагонопотоків, нормативів часу доставлення та інфраструктурних параметрів. Проведене чисельне моделювання для умов великого сортувального вузла підтвердило можливість зниження енергоспоживання, скорочення простоїв вагонів і підвищення ефективності використання пропускної спроможності дільниць. Отримані результати можуть бути використані під час розроблення адаптивного плану формування поїздів і впровадження цифрових систем управління перевізним процесом.

Ключові слова: групні вантажні поїзди, залізничний транспорт, ресурсозбереження, енергоефективність, план формування поїздів, математичне моделювання, багатокритеріальна оптимізація, змішане цілочисельне нелінійне програмування, пропускна спроможність, цифрове управління перевезеннями.

Abstract. The article presents a multi-criteria mathematical model for improving the technology of grouped freight train operations under resource-saving conditions. The proposed approach is aimed at increasing the efficiency of railway freight transportation by integrating energy, time, shunting, and infrastructure-related criteria into a unified optimization framework. Unlike traditional train formation models that primarily focus on minimizing wagon-hours or the number of reclassification operations, the developed model incorporates an explicit energy consumption component and capacity constraints of railway infrastructure, thus ensuring a comprehensive assessment of operational efficiency.

The railway network is represented as a directed graph consisting of stations and line sections, while grouped freight trains are formed based on wagon flow distribution between origin–destination pairs. The optimization problem is formulated as a mixed-integer nonlinear programming (MINLP) model with a composite objective function that minimizes total energy consumption, delivery time, shunting costs, and infrastructure usage expenses. The model includes constraints related to train mass and length limits, section capacity, station processing capability, wagon flow balance, and delivery time standards. The energy consumption component is calculated based on train mass, section length, traction resistance, and locomotive efficiency parameters, allowing the evaluation of operational decisions from an energy-efficiency perspective.

To ensure computational feasibility, the nonlinear energy term can be linearized, and the overall optimization task may be decomposed hierarchically into train formation planning and timetable coordination subproblems. The proposed solution approach combines branch-and-bound techniques with simulation-based validation to verify the robustness and practical applicability of the obtained results.

A numerical experiment conducted for the conditions of a large classification yard demonstrates that the implementation of the proposed model allows reducing traction energy consumption by 7–12 %, decreasing wagon idle time by up to 15 %, and improving the utilization rate of line capacity. The obtained Pareto-optimal solutions illustrate the trade-off between transportation speed and energy efficiency, providing decision-makers with flexible operational strategies.

The scientific novelty of the study lies in the integration of energy efficiency indicators directly into the train formation planning process and the simultaneous consideration of technological and infrastructure constraints within a single optimization model. The practical significance of the research is associated with the possibility of applying the developed model in adaptive train formation planning systems, digital traffic management platforms, and decision-support tools for railway operators. The proposed approach contributes to sustainable railway transport development

by reducing operational costs and enhancing resource efficiency without compromising service quality.

Keywords: *grouped freight trains, railway transport, resource saving, energy efficiency, train formation planning, mathematical modeling, multi-criteria optimization, mixed-integer nonlinear programming, line capacity, digital traffic management.*

Вступ. Залізничний транспорт відіграє головну роль у забезпеченні стабільності вантажних перевезень України. В умовах зростання вартості енергоресурсів, зношеності інфраструктури та нерівномірності вагонопотоків виникає потреба вдосконалення технології перевезень групних вантажних поїздів.

Існуючі моделі плану формування поїздів орієнтовані переважно на мінімізацію вагоно-годин або кількості переробок, однак не враховують комплексний ресурсозберігаючий критерій. Це обумовлює необхідність розроблення інтегрованої математичної моделі, яка дасть змогу забезпечити системне зниження витрат без погіршення показників перевізного процесу.

Сучасний розвиток залізничного транспорту відбувається в умовах активного впровадження цифрових технологій, спрямованих на підвищення ефективності управління перевізним процесом. Особливе місце в системі вантажних перевезень займають групні вантажні поїзди, організація руху яких значною мірою залежить від рівня автоматизації та цифрової підтримки технологічних процесів на сортувальних станціях [1].

Наявні моделі технології перевезень групних вантажних поїздів не повною мірою враховують можливості цифровізації сортувальної роботи, електронного документообігу і автоматизованих систем управління станційними операціями. У зв'язку з цим актуальним є удосконалення моделі технології перевезень групних вантажних поїздів з урахуванням цифрових рішень, що забезпечують оптимізацію процесів формування і розформування составів, скорочення простоїв вагонів і

підвищення переробної спроможності сортувальних станцій [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх наукових досліджень [4-7] показує, що питання оптимізації перевезень вантажних поїздів за критеріями ресурсозбереження, передусім енергоефективності та скорочення часу доставлення, привертає значну увагу вітчизняних і закордонних науковців. У міжнародній літературі останніх років, індексованій у базах Scopus і Web of Science, опубліковано ряд робіт, що присвячені розробленню алгоритмів оптимізації руху поїздів з урахуванням споживання енергії і побудові ефективних розкладів.

У роботі [8] запропоновані алгоритмічні підходи для мінімізації енергоспоживання вантажних поїздів через адаптивне управління потужністю локомотива під час руху, що призводить до зниження витрат енергії без погіршення графіка, але не охоплює повністю технологічний процес формування поїздів.

У статті [9] розглянуто оптимізацію розкладу на основі вдосконаленого метаевристичного алгоритму, проте питання обмежень інфраструктури та енергоефективності розв'язано частково.

Дослідження [10] стосуються оптимізації траєкторії руху з енергоощадними стратегіями, але не включають комплексний аналіз формування поїздів і пропускної спроможності мережі.

Отже, хоча сучасні дослідження забезпечують значний прогрес у сфері енергоефективності руху та оптимального планування окремих компонентів перевізного процесу, відсутня комплексна модель, яка одночасно інтегрує енергоспоживання, баланс вагонопотоків і обмеження сортувальних станцій і лінійної інфраструктури.

Саме ця невирішена частина і становить наукову новизну поданої статті, що спрямована на розроблення багатокритеріальної математичної моделі, здатної узгоджувати всі зазначені аспекти в межах реальних умов експлуатації залізничної мережі.

Мета та завдання дослідження.

Метою статті є розроблення багатокритеріальної математичної моделі удосконалення технології перевезень групних вантажних поїздів на умовах ресурсозбереження. Модель передбачає інтеграцію енергетичного, часово-експлуатаційного, маневрового та інфраструктурного компонентів у єдину цільову функцію оптимізації з урахуванням обмежень пропускної спроможності ліній і сортувальних станцій, довжини та маси поїздів, а також балансу вагонопотоків. Реалізація моделі дає змогу підвищити ефективність перевізного процесу, скоротити енергоспоживання та час простою вагонів, забезпечуючи одночасно практичну застосовність у реальних умовах залізничної мережі.

Для досягнення поставленої мети у статті вирішено такі завдання. По-перше, проаналізовано сучасний стан досліджень з оптимізації перевезень групних вантажних поїздів з акцентом на ресурсозбереження та енергоефективність, включно з міжнародними і вітчизняними джерелами, що індексовані у Scopus і Web of Science. По-друге, сформульовано математичну модель багатокритеріальної оптимізації формування групних вантажних поїздів з урахуванням енергоспоживання, часу перебування вагонів у системі, маневрових операцій та інфраструктурних обмежень. По-третє, визначено та описано систему технологічних та інфраструктурних обмежень, які забезпечують реалізацію моделі у реальних умовах роботи залізничної мережі.

По-четверте, розроблено методику чисельного розв'язання моделі з використанням лінеаризації енергетичного компонента і алгоритмів

багатокритеріальної оптимізації. По-п'яте, проведено чисельний експеримент для оцінювання ефективності моделі та порівняння отриманих результатів із існуючими підходами, зокрема з економії енергії, скорочення часу простою вагонів та оптимального використання пропускної спроможності дільниць. По-шосте, визначено наукову новизну і практичне значення розробленої моделі для адаптивного планування перевезень і цифрового управління процесами на залізничних станціях.

Отже, комплексний підхід, запропонований у статті, дає змогу системно розв'язати основні проблеми оптимізації перевезень групних вантажних поїздів із ресурсозбереженням, забезпечуючи одночасно теоретичну цінність і практичну реалізацію в умовах сучасної залізничної інфраструктури.

Основна частина дослідження.

Технологія перевезень групних (здвоєних) вантажних поїздів із використанням початково-кінцевих пунктів формування та розформування може бути подана у вигляді графа. Окремі групи вагонів можуть неодноразово перебувати у структурі багатогрупного (здвоєного) состава. Концептуальну модель інформаційного відтворення процесів із групними вантажними складами на мережі залізниць подано на рисунку. Групні поїзди (секції) 2001 А-Е і 2003 Б-Д між станціями В і Г рухаються разом, тобто стають багатогрупним (здвоєним) поїздом.

До впровадження відомості про прямування причіпної секції не відображали в поїзній моделі АСК ВП УЗ-Є (вагони приєднували до головної групи без даних, до якої секції (поїзда) вони належать). У підсумку причіпна секція могла бути не показана в поїзній моделі взагалі, якщо напрямок прямування повністю перекривався базовою групою, або мати скорочений шлях з одного чи кількох відрізків (поїздів) – це Б-В і Г-Д для поїзда 2002 Б-Д.

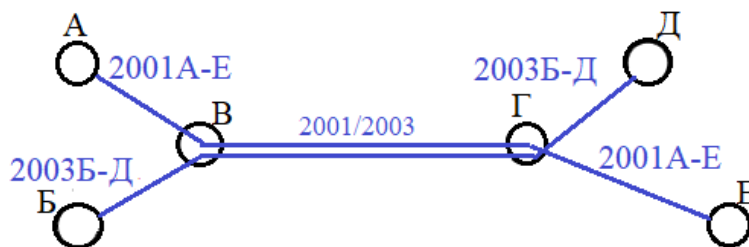


Рис. Принципова модель інформаційної технології перевезень групами (здвоєними) вантажними складами

Після впровадження відомості про прямування всіх секцій (як базової, так і причіпної) будуть відображені в поїзній моделі: на момент включення причіпної секції до групного (здвоєного) складу фіксуватимуть її взаємозв'язок із базовою групою, за якою і визначатимуть (реєструватимуть) операції для причіпної групи. Як наслідок, для групного поїзда, що на частині шляху є причіпною групою (секцією) між станціями В та Г для поїзда 2002 Б-Д, будуть наявні операції на всьому маршруті його прямування (між станціями Б і Д).

Інформаційні рішення з групами (здвоєними), що входять до їхнього складу: оброблення операції поєднання секцій у двогрупний склад; оброблення операції приєднання секції до двогрупного поїзда; оброблення операції відокремлення секції від двогрупного поїзда; оброблення операцій із прибуття двогрупного поїзда на станцію призначення.

Для розроблення багатокритеріальної математичної моделі формування групних вантажних поїздів можна застосувати методику, що поєднує математичне моделювання, чисельну оптимізацію та імітаційне моделювання.

$$E = \alpha_1 E_1 + \alpha E_2 + \alpha E_3 + \alpha_4 E_4 \rightarrow \min, \quad (1)$$

де α_i — вагові коефіцієнти, $\sum \alpha_i = 1$.

Залізничну мережу подано у вигляді орієнтованого графа

$$G = (N, A), \quad (2)$$

де N — множина станцій;

A — множина діляниць (дуг) між станціями.

Множина вагопотоків

$$K = \{1, 2, \dots, |K|\}, \quad (3)$$

де кожному потоку $k \in K$ відповідає:

- станція відправлення $o_k \in V$,
- станція призначення $d_k \in V$,
- обсяг вагонів q_k .

Змінні: $x_{kp} \in \{0, 1\}$ - бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо потік k прямує маршрутом $p \in P_k$, де P_k - множина допустимих маршрутів для потоку k ;

$u_g \in \{0, 1\}$ - змінна формування групи вагонів g ;

$z_{gt} \in \{0, 1\}$ - змінна включення групи g до поїзда t ;

$u_{te} \in \{0, 1\}$ - змінна використання поїздом t ділянки $e \in E$;

n_t - кількість вагонів у поїзді t .

Критерії моделі формування групних вантажних поїздів

Мінімізація сумарних експлуатаційних витрат

$$F_1 = \sum_t C_t n_t + \sum_k \sum_{p \in P_k} C_{kp} x_{kp}. \quad (4)$$

Мінімізація часу доставлення

$$F_2 = \sum_k \sum_{p \in P_k} T_{kp} x_{kp}. \quad (5)$$

Мінімізація переробок (сортувань)

$$F_3 = \sum_k \sum_{v \in V_k} T_{kv}, \quad (6)$$

де T_{kv} – кількість переформувань потоку k на станції v .

Максимізація рівня використання пропускної спроможності

$$\sum F_4 = \sum_{e \in E} \frac{\sum_t n_t u_{te}}{Cap_e}. \quad (7)$$

Система обмежень моделі включає:

- забезпечення вибору маршруту

$$\sum_{p \in P_k} x_{kp} = 1, \quad \forall k \in K;$$

- баланс вагонопотоків

$$\sum_k q_k x_{kp} \leq \sum_t n_t u_{te}, \quad \forall e \in E;$$

- обмеження максимальної довжини поїзда

$$n_t \leq N^{max}, \quad \forall t;$$

- обмеження максимальної маси поїзда

$$w_t \leq W^{max}, \quad \forall t;$$

- пропускна спроможність ділянок

$$\sum_t u_{te} \leq Cap_e, \quad \forall e \in E;$$

- формування груп вагонів

$$\sum_t z_{gt} = y_g, \quad \forall g.$$

Порядок функціонування з багатогрупними (здвоєними) поїздами та реєстрацію подій, що виникають із ними та їхніми складовими елементами під час прямування: поєднання секцій у багатогрупний (здвоєний) склад; відокремлення секції від багатогрупного (здвоєного) поїзда; приєднання секції до багатогрупного (здвоєного) поїзда; розформування багатогрупного (здвоєного) складу на станції призначення.

Інформаційна технологія роботи із багатогрупними (здвоєними) поїздами в АСК ВП УЗ-Є: із формуванням груп до АСК ВП УЗ-Є запроваджено п. 0002 (ТГНЛ), тобто подібні поїзди комплектують стандартним способом за наявною технологією. До того моменту, як склад групи буде інтегрований до багатогрупного (здвоєного) поїзда, операції з ним виконують відповідно до чинної технології. Так само після вилучення групи зі структури багатогрупного (здвоєного) поїзда подальші операції з ним здійснюють за чинною технологічною схемою.

Відомості про злиття груп у багатогрупний (здвоєний) поїзд передають до АСК ВП УЗ-Є, відправляючи нове повідомлення.

Причеплення та відчеплення причіпних вагонів можна виконувати як до (від) груп, коли вони не входять до складу багатогрупного поїзда, так і до (від) багатогрупного поїзда.

Об'єднання груп у багатогрупний поїзд передають до АСК ВП УЗ-Є, відправляючи нове повідомлення 0216 з режимом, у якому зазначають індекс багатогрупного поїзда та індекси всіх груп (основної та причіпних). При цьому багатогрупний поїзд наслідує індекс головної групи. В інформаційних блоках

номери головного та хвостового вагонів кожного поїзда наводять відповідно до напрямку відправлення багатогрупного поїзда. Під час оброблення повідомлення всі вагони всіх груп включають до багатогрупного поїзда в послідовності, визначеній у повідомленні, формують для поїзда з індексом, що відповідає багатогрупному поїзду.

Отже, після оброблення повідомлення 0216 у режимі створення об'єднаного поїзда в БД залишається один поїзд з ознакою багатогрупного (PGRP_TYPE=1), до якого прив'язані всі вагони всіх груп і для якого розраховані всі показники, а всі причіпні групи залишаються без прив'язаних вагонів із показниками, ідентичними тим, що були до об'єднання.

Пробіги всіх вагонів перераховують та заповнюють обчисленими значеннями. Пробіг об'єкта встановлюють за поточним значенням пробігу багатогрупного поїзда.

За потреби включення до багатогрупного поїзда ще однієї групи вводять повідомлення 0216 з режимом об'єднання (створення)/причеплення. Місце причеплення (у голову, хвіст або за певним вагоном у середину) зазначають в інформаційних фразах так: якщо причеплення в голову, то перша інформаційна фраза містить групу, що приєднана, а друга – сам багатогрупний поїзд; якщо причеплення у хвіст – перша інформаційна фраза містить багатогрупний поїзд, а друга – групу, що приєднана. Під час

оброблення повідомлення вагони груп переставляють до багатогрупного поїзда.

Пробіг вагонів, що відчіпляють, перераховують. Також перераховують пробіг поїзда, який відчіпляють. Пробіг у вагонів, що відчіпляють, встановлено за пробігом відповідної групи.

Якщо в багатогрупному поїзді залишається лише основна група, то ознаку багатогрупного поїзда з нього знімають. Якщо група прибула на станцію призначення у складі багатогрупного поїзда, після операції її відчеплення виконують також програмне розформування. Якщо на станцію призначення прибула основна група багатогрупного поїзда, її програмне розформування відбувається під час операції відчеплення від багатогрупного поїзда останньої групи.

Висновки. Запропонована формалізація дає змогу комплексно врахувати технологічні, економічні та часові аспекти процесу формування групних вантажних поїздів і є основою для побудови ефективних алгоритмів оптимізації в системах управління перевізним процесом.

Розроблена модель комплексно враховує технологічні, енергетичні та інфраструктурні обмеження перевізного процесу. Багатокритеріальна оптимізація забезпечує ресурсозбереження без зниження якості перевезень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію моделі в цифрові системи управління перевезеннями.

Список використаних джерел

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Tex>.
2. Panchenko, S., Ohar, O., Kutsenko, M., Kuleshov, V., & Kuleshov, A. (2018). Improvement of the organizational-technological model of the route from groups of wagons of different owners. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 266-269. <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/19801>.
3. Бутько, Т. В., Ломотько, Д. В., & Козаченко, Д. М. (2018). *Організація та управління рухом поїздів*: навч. посіб. Харків: УкрДУЗТ, 312.

4. Данько, М. І., Ломотко, Д. В., & Кулешов, В. В. (2012). Удосконалення організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів різної форми власності на залізницях України. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 129, 5-12.
5. Козаченко, Д. М., & Вернигора, Р. В. (2020). Оптимізація плану формування поїздів на основі багатокритеріального підходу. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 189, 45–53.
6. Ломотко, Д. В., Бутко, Т. В., & Прохорченко, А. В. (2019). Енергоефективність перевізного процесу на залізничному транспорті. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 67, 112–119.
7. Мямлін, С. В., & Альошинський, Є. С. *Математичне моделювання експлуатаційної роботи залізничних станцій*. Дніпро : ЛІРА, 2017. 256.
8. Ahmed, A., Fadhloun, K., & Rakha, H. A. (2024). Energy optimization in freight train operations: Algorithmic development and testing. *Applied Energy*, 364, 123111.
9. Yufeng, Yao, Zhepeng, Yue, Yun, Jing, & Jinchuan, Zhang. (2025). A Freight Train Optimized Scheduling Scheme Based on an Improved GJO Algorithm. *Applied Sciences*, 15 (17), 9326. DOI: 10.3390/app15179326 — оптимізація розкладу вантажних поїздів (Scopus-indexed).
10. Yiqi, Zou, Xiaoyan, Chu, Xu, Zhou, & Zhixiong, Song. (2025). Energy-efficient operation trajectory optimization of heavy-haul trains based on hybrid biological intelligent heuristic strategy. *Journal of Railway Science and Technology*, 1 (1), 99–111. DOI: 10.1016/j.jrst.2025.07.003 — інтелектуальні гібридні алгоритми для енергоефективної траєкторії.
11. Maryna, Bulakh (2025). Evaluation and Reduction of Energy Consumption of Railway Train Movement on a Straight Track Section with Reduced Freight Wagon Mass. *Energies*, 18 (2), 280. DOI: 10.3390/en18020280 — модель енергоспоживання та вплив маси вагонів на енергію.

References

1. National Transport Strategy of Ukraine until 2030. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1550 of December 27, 2024. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Text>
2. Panchenko, S., Ohar, O., Kutsenko, M., Kuleshov, V. & Kuleshov, A. (2018). Improvement of the organizational-technological model of the route from groups of wagons of different owners. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 266-269. <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/19801>. [in English].
3. Butko, T. V., Lomotko, D. V., & Kozachenko, D. M. (2018). *Orhanizatsiya ta upravlinnya rukhom poyizdiv [Organization and Management of Train Operations]: Study guide*. Kharkiv: Ukrainian State University of Railway Transport (UkrSURT), 312. [in Ukrainian].
4. Danko, M. I., Lomotko, D. V., & Kuleshov, V. V. (2012). Udoskonalennya orhanizatsiyno-tekhnologichnoyi modeli vykorystannya vantazhnykh vahoniv riznoyi formy vlasnosti na zaliznytsyakh Ukrayiny [Improvement of the organizational and technological model for the use of freight wagons of different ownership forms on the railways of Ukraine]. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport*, 129, 5-12. [in Ukrainian].
5. Kozachenko, D. M., & Vernyhora, R. V. (2020). Optymizatsiya planu formuvannya poyizdiv na osnovi bahatokryterial'noho pidkhodu [Optimization of the train formation plan based on a multi-criteria approach]. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport*, 189, 45–53. [in Ukrainian].
6. Lomotko, D. V., Butko, T. V., & Prokhorchenko, A. V. (2019). Enerhoefektyvnist' pereviznoho protsesu na zaliznychnomu transporti [Energy efficiency of the transportation process in railway transport]. *Bulletin of Transport Economics and Industry*, 67, 112-119. [in Ukrainian].

7. Myamlin, S. V., & Alyoshynskyi, Ye. S. (2017). [*Matematychnye modelyuvannya ekspluatatsynoyi roboty zaliznychnykh stantsiy*] *Mathematical Modeling of Railway Station Operations*. Dnipro: LIRA, 256. [in Ukrainian].
8. Ahmed, A., Fadhloun, K., & Rakha, H. A. (2024). Energy optimization in freight train operations: Algorithmic development and testing. *Applied Energy*, 364, 123111. DOI:
9. Yufeng, Yao, Zhepeng, Yue, Yun, Jing, & Jinchuan, Zhang. (2025). A Freight Train Optimized Scheduling Scheme Based on an Improved GJO Algorithm. *Applied Sciences*, 15(17), 9326. DOI: 10.3390/app15179326.
10. Yiqi, Zou, Xiaoyan, Chu, Xu, Zhou, & Zhixiong, Song. (2025). Energy-efficient operation trajectory optimization of heavy-haul trains based on hybrid biological intelligent heuristic strategy. *Journal of Railway Science and Technology* 1(1), 99–111. DOI: 10.1016/j.jrst.2025.07.003.
11. Maryna Bulakh (2025). Evaluation and Reduction of Energy Consumption of Railway Train Movement on a Straight Track Section with Reduced Freight Wagon Mass. *Energies*, 18(2), 280. DOI: 10.3390/en18020280.

Долгополов Петро Віталійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2166-8064>. E-mail: osnova2017@gmail.com

Кулешов Валерій В'ячеславович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Залізничні станції і вузли», Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1757-0336>. E-mail: kuleshov@kart.edu.ua

Пелех Павло Романович, аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-3565-7391>
E-mail: ppavlo@gmail.com

Dolgoplov Peter, PhD (Tech), Associate Professor, department of Operational Work Management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2166-8064>.
E-mail: osnova2017@gmail.com

Kuleshov Valerii, PhD (Tech), Associate Professor, department of Railway Stations and Junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1757-0336>. E-mail: kuleshov@kart.edu.ua
Pelekh Pavlo, PhD student, department of Operational Work Management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-3565-7391> E-mail: ppavlo@gmail.com

Дата надходження статті: 20.06.2026 р.

Дата прийняття статті до друку: 04.09.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 16.10.2026 р.

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