

УДК 656.212:519.87

DOI: 10.34029/2311-4061-2026-158-1-04-18



Д-р техн. наук Ломотко Д.В.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ
ВАНТАЖНИХ ФРОНТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПІД'ЇЗНИХ КОЛІЙ**
MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMIZATION OF THE OPERATION
OF CARGO FRONTS OF RAILWAY ACCESS TRACKS

Ключові слова: залізнична під'їзна колія, вантажний фронт, оптимізація, теорія масового обслуговування, багатокритеріальна оптимізація, транспортна логістика.

Вступ

Ефективна робота під'їзних колій промислових підприємств є важливою складовою функціонування логістичних ланцюгів за участю залізничного транспорту. Критичною проблемою функціонування цих ланцюгів є екстремальна невизначеність та стохастичність усіх технологічних параметрів: тривалості виконання операцій, часу обслуговування під'їзної колії й доставки тощо, яка спричинена не лише стандартними логістичними факторами, але й військовими ризиками, затримками на станції примикання та нерівномірним навантаженням вантажів. Оптимізація параметрів роботи вантажних фронтів дозволяє скоротити час обігу вагонів, зменшити експлуатаційні витрати та покращити якість транспортного обслуговування. Традиційні методи часто орієнтовані на оптимізацію з позиції одного суб'єкта, що призводить до конфліктів інтересів між залізницею та вантажовласником [1].

Фундаментальні дослідження в сфері взаємодії підприємств-вантажовласників із магістральними залізницями підкреслюють, що під'їзна колія є складним вузлом, де перетинаються технологічні інтереси різних суб'єктів. Ефективність таких систем залежить від моделювання логістичного ланцюга як цілісного механізму, що дозволяє зменшити затримки на стику різних видів транспорту та власників інфраструктури [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема підвищення ефективності взаємодії магістрального та промислового залізничного транспорту перебуває у центрі уваги транспортної науки протягом багатьох десятиліть. Сучасний стан досліджень свідчить про необхідність переходу від суто технологічного моделювання до впровадження інтелектуальних систем управління, що враховують багатокритеріальність та екологічні чинники [3].

Статистичні дані, що характеризують роботу АТ Укрзалізниці показують, що після різкого падіння у 2022 році у зв'язку із введенням воєнного стану, починаючи з 2024 року спостерігається стійка тенденція до зростання обсягів перевезень (рис. 1). Це безпосередньо збільшує інтенсивність роботи вантажних фронтів на під'їзних коліях [4].

Як наслідок спостерігається збільшення вантажообігу, причому темпи його росту випереджають темпи росту обсягів перевезень. Це свідчить про подовження плеча доставки та зростання часу перебування вагонів у дорозі, що робить кожну годину простою на під'їзній колії ще дорожчою для логістичної системи. Структура вантажних перевезень АТ Укрзалізниці за видами вантажів (рис. 2) свідчить, що майже 90% усього навантаження та вивантаження основних вантажів здійснюється галузевими підприємствами на під'їзних коліях. Це створює ефект «вузького місця»: оскільки інфраструктура під'їзних колій за часи кризи не оновлювалася, зростання потоків у 2024–2025 роках призводить до зростання рівня завантаженості фронтів до критичного рівня, що вимагає здійснювати пошук резервів переробної спроможності.

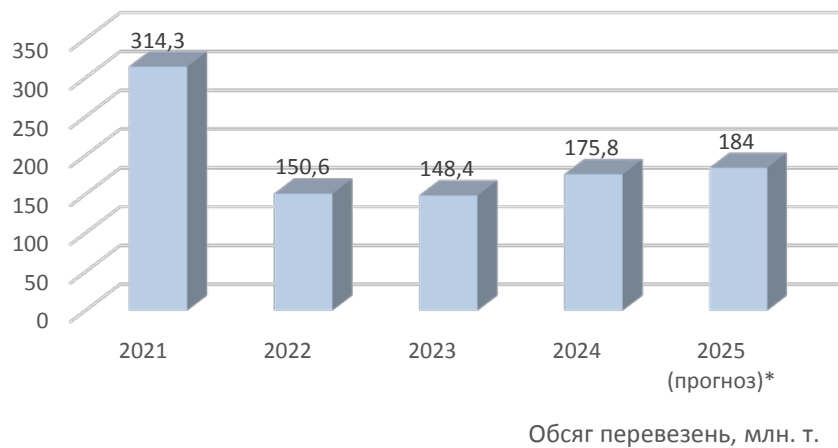


Рис. 1 – Динаміка обсягів перевезень залізничним транспортом України (2021–2025 рр., дані [4])



Рис. 2 – Структура вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця» за видами вантажів (дані [4])

Склалась стійка тенденція до перевищення фактичних показників простою над нормативними. У 2023 році зафіксовано 1205 діючих під'їзних колій, середній простій вагона на під'їзній колії становив 31.2 години проти нормативних 24 годин (+30 %). Структурний аналіз виявляє, що найбільші резерви скорочення часу зосереджені в організаційних компонентах: очікування подачі (5.3 год проти норми 2.0 год) та очікування прибирання (4.4 год проти 2.0 год). Разом ці складові формують 9.7 години непродуктивного простою, що еквівалентно втратам у близько 2.8 млрд грн на рік тільки для залізниці, не враховуючи втрати вантажовласників від «заморожування» товарно-матеріальних цінностей.

Фундаментальні аспекти технології роботи станцій примикання та промислових підприємств висвітлені у працях [5, 6]. Автори детально аналізують процеси взаємодії на стику різних форм власності, проте в їхніх роботах зазвичай використовується детермінований підхід до тривалості операцій, що не завжди відповідає реальній експлуатаційній обстановці з високим рівнем стохастичності.

Математична формалізація процесів у залізничних вузлах на основі теорії масового обслуговування (ТМО) представлена у дослідженні [7]. Використання ймовірнісних моделей дозволяє адекватно оцінити затримки вагонів, а класичні праці F. Pollaczek [8] залишаються методологічною основою для розрахунку параметрів систем із очікуванням, що підтверджується їхнім постійним цитуванням у сучасних джерелах.

Сучасний міжнародний вектор досліджень зміщується у бік цифрової трансформації та сталого розвитку. Так у роботі [9] запропоновано моделі інтегрованого планування термінальних операцій на основі алгоритмів оптимізації Flexsim. У дослідженні [10] обґрунтовано розраховувати пропускну спроможність фронтів за допомогою імітаційного моделювання в умовах динамічного ринку. Багатокритеріальний підхід до оцінки терміналів, що базується на балансі інтересів перевізника та клієнта, представлений у праці [11], що дозволяє розв'язувати конфліктні ситуації при визначенні параметрів подач вагонів. Питання енергозбереження та екологізації залізничної логістики та врахування пов'язаних витрат, зокрема викидів CO₂, піднімаються у роботах [β, 12]. Спроби удосконалення технології роботи під'їзних колій промислових підприємств і вантажних станцій магістрального транспорту, починаючи із 90-х років минулого сторіччя, є у працях вітчизняних та закордонних вчених [1, 13], але комплексного логістико-орієнтованого рішення отримано не було.

Нормативно-правове підґрунтя цих технологічних процесів в Україні чітко регламентується Правилами обслуговування залізничних під'їзних колій [14], які визначають технологічні межі та відповідальність сторін.

Аналіз наукового доробку підтверджує, що попри глибоке вивчення окремих аспектів ТМО та технології, комплексна модель, яка б одночасно інтегрувала стохастичний характер вагонопотоків, екологічні податки, амортизаційні витрати інфраструктури та ризики простою вантажу, наразі відсутня. Це обумовлює актуальність запропонованої комплексної моделі оптимізації роботи вантажних фронтів залізничних під'їзних колій.

Визначення мети та завдання дослідження

Метою дослідження є розробка багатокритеріальної комплексної математичної моделі, яка дозволяє оптимізувати параметри функціонування вантажних фронтів залізничних під'їзних колій, враховуючи техніко-економічні та екологічні інтереси як залізниці, так і вантажовласника. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- Формалізувати технологію обслуговування під'їзної колії за допомогою апарату теорії масового обслуговування (модель M/M/Z) для врахування стохастичності вагонопотоку.
- Розробити систему цільових функцій для залізниці та вантажовласника, що включають 14 компонентів витрат, зокрема експлуатаційні витрати, вартість простою, плату за викиди та ризики «заморожування» капіталу.
- Визначити оптимальні керовані параметри: кількість навантажувально-розвантажувальних машин (НРМ), кількість подач вагонів, тривалість роботи фронту та кількість маневрових локомотивів.
- Інтегрувати елементи системи підтримки прийняття рішень (СППР) для автоматичної діагностики режимів перевантаження та формування компромісних рекомендацій.

Основна частина дослідження

Технологія обслуговування залізничних під'їзних колій у контексті запропонованої комплексної математичної моделі передбачає наступні вихідні дані та параметри системи «станція - під'їзна колія».

Параметри, що характеризують структуру вагонопотоку станції примикання та під'їзної колії. Вагонопотік на під'їзній колії класифікується за п'ятьма умовними класами відповідно до характеру вантажу:

- Клас 1: Порожні вагони, коефіцієнт пріоритету $\alpha_1 = 0,8$, множник вартості $k_1 = 0,7$.
- Клас 2: Масові вантажі (вугілля, руда), $\alpha_2 = 1,0$, $k_2 = 1,0$.
- Клас 3: Будматеріали, зерно, $\alpha_3 = 1,2$, $k_3 = 1,2$.
- Клас 4: Готова продукція, $\alpha_4 = 1,5$, $k_4 = 1,5$.
- Клас 5: Швидкопсувні, небезпечні вантажі, $\alpha_5 = 2,0$, $k_5 = 2,0$.

Множник вартості α_i відображає ринкову ситуацію, тобто реально різну тарифну ставку за простій вагоно-години залежно від тарифного класу вантажу та типу вагона. Коефіцієнт пріоритету k_i характеризує бажаний порядок (пріоритет) обслуговування вагонів різних класів на вантажному фронті. Вищі значення (наприклад, 2.0 для швидкопсувних і небезпечних вантажів) вказують на необхідність позачергового або прискореного обслуговування таких вагонів для мінімізації ризиків псування, небезпечних ситуацій чи штрафів. Величину коефіцієнтів та множників може змінювати у моделі, але рекомендовано застосовувати наведені найбільш реалістичні значення.

Загальний добовий вагонообіг, ваг/добу, визначається як:

$$N_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^5 n_i, \quad (1)$$

де n_i – кількість вагонів i -го класу на добу, ваг/добу.

Технічні параметри комплексної моделі пов'язані з основними технічними характеристиками системи і включають:

- q – середнє статичне навантаження вагона, т/ваг;
- $P_{\text{НРМ}}$ – продуктивність навантажувально-розвантажувальної машини (НРМ), т/год;
- l_B – довжину вагона, м;
- L_ϕ – довжину вантажного фронту, м;
- t_M – час на одну операцію подачі-прибирання, год.

Максимально можлива кількість подач визначається інфраструктурними обмеженнями довжини вантажного фронту:

$$X_{\text{max}} = \left\lfloor \frac{N_{\text{заг}} \cdot l_B}{L_\phi} \right\rfloor \quad (2)$$

Вартісні показники моделі надаються у вигляді економічних параметрів комплексної моделі:

- K_M – вартість однієї НРМ, грн;
- α_M – коефіцієнт амортизації НРМ;
- a_B – базова вартість вагоно-години, грн/(ваг·год);
- a_L – вартість локомотиво-години, грн/(локомотив·год);
- $a_{\text{НРМ}}$ – вартість роботи однієї НРМ-години, грн/(НРМ·год);
- $K_{\text{п}}$ – вартість одного погонного метра колії, грн/п.м;
- $\alpha_{\text{п}}$ – коефіцієнт амортизації колії.

Екологічні параметри моделі враховує викиди вуглекислого газу:

- $e_{\text{Лок}}$ – викиди локомотива, кг CO_2 /год;
- $e_{\text{НРМ}}$ – викиди НРМ, кг CO_2 /год;
- τ_{CO_2} – тариф на викиди CO_2 , грн/т.

Специфічні параметри моделі, що характеризують вантажовласника (власника залізничної під'їзної колії):

- $C_{\text{товар}}$ – фактурна вартість тони вантажу, грн/т;
- $i_{\text{капітал}}$ – ставка капіталу (заморожування коштів у товарі);
- $p_{\text{штраф}}$ – відсоток штрафу за несвоєчасну доставку, %;
- CV_N – коефіцієнт варіації вагонопотоку, що характеризує його нерівномірність.

Комплексна модель визначає оптимальні значення чотирьох керованих параметрів системи «станція - під'їзна колія»:

1. Z – кількість навантажувально-розвантажувальних машин, од.
2. X – кількість подач вагонів на добу, подач/добу.
3. T – тривалість роботи НРМ на добу, год/добу.
4. M – кількість маневрових локомотивів, од.

Математична модель часових характеристик системи «станція - під'їзна колія» заснована на формалізації технології обслуговування на основі теорії масового обслуговування. Вантажний фронт моделюється як система масового обслуговування типу $M/M/Z$ за нотацією Кендалла (Kendall's notation), де вагони надходять з інтенсивністю λ , а обслуговуються з інтенсивністю μ . Це адекватно реальним технологічним процесам, оскільки надходження вагонів на під'їзну колію часто має випадковий характер (затримки на станції примикання, нерівномірність подачі тощо), що добре апроксимується пуассонівським потоком. Інтенсивність надходження вагонів та інтенсивність обслуговування системою з Z машин, ваг/год, складає:

$$\lambda = \frac{N_{\text{заг}}}{24}, \quad \mu = \frac{Z \cdot P_{\text{НРМ}}}{q}, \quad (3)$$

де q – середня маса вантажу у вагоні (статичне навантаження), т/ваг.

Тоді коефіцієнт завантаження системи визначається залежністю:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{N_{\text{заг}} \cdot q}{24 \cdot Z \cdot P_{\text{НРМ}}} \quad (4)$$

Для стабільної роботи системи «станція - під'їзна колія» необхідно виконання умови $\rho < 1$. При $\rho \geq 1$ система переходить в режим постійного перевантаження з необмеженим накопиченням вагонів у черзі. За формулою Поллачека-Хінчина [8] для системи М/М/З середній час очікування вагона в черзі, год/ваг, становить:

$$W_{\text{очікування}} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad (5)$$

Це час, протягом якого вагон знаходиться на станції в очікуванні початку вантажних операцій. Середній час безпосереднього обслуговування одного вагона, год/ваг, складає:

$$t_{\text{service}} = \frac{1}{\mu} = \frac{q}{Z \cdot P_{\text{НРМ}}}. \quad (6)$$

При роботі вантажного фронту з X подачами на добу виникає додатковий простій через неповнодобову роботу (неповний добовий цикл). Середній час такого простою для одного вагона, год/ваг:

$$W_{\text{неповний цикл}} = \frac{(24/X)^2 \cdot (24 - T)}{48 \cdot 24}, \quad (7)$$

де перший множник характеризує середній інтервал між подачами, другий – частку часу простою вантажного фронту.

Повний час перебування вагона на під'їзній колії, год/ваг, складається з трьох компонентів:

$$T_{\text{sys}} = t_{\text{service}} + W_{\text{очікування}} + W_{\text{неповний цикл}}, \quad (8)$$

Це ключовий показник ефективності роботи системи, що визначає обіг рухомого складу.

У комплексній математичній моделі передбачено цільові функції для різних суб'єктів. Цільову функцію залізниці (варіант А) пов'язано з тим, що залізниця прагне мінімізувати свої експлуатаційні витрати та втрати від непродуктивного простою власного рухомого складу. Цільова функція формується як зважена сума різнорідних компонентів витрат, грн/рік:

$$F_A = 0,60 \cdot R_{\text{залізниці}} + 0,25 \cdot C_{t_{\text{простій}}} + 0,10 \cdot C_{\text{викидів}} + 0,05 \cdot C_{\text{ризик}}, \quad (9)$$

де: $R_{\text{залізниці}}$ – базові річні експлуатаційні витрати залізниці, грн/рік;

$C_{t_{\text{простій}}}$ – вартісний еквівалент простою вагонів, грн/рік;

$C_{\text{викидів}}$ – екологічна складова (плата за викиди), грн/рік;

$C_{\text{ризик}}$ – надбавка за системний ризик, грн/рік.

Ваги компонентів (0,60; 0,25; 0,10; 0,05) відображають пріоритети залізниці та визначено експертним шляхом: основна увага надається експлуатаційним витратам, менша – часу простою та екологічним аспектам. У перспективі можливо використовувати методи об'єктивного визначення вагових коефіцієнтів (наприклад, метод аналізу ієрархій Сааті тощо). Базові експлуатаційні витрати залізниці, грн/рік, визначаються за виразом:

$$R_{\text{залізниці}} = C_1 + C_4 + C_6, \quad (10)$$

а вартісний еквівалент простою, грн / рік:

$$C_{t_{\text{простій}}} = C_2 + C_5 + C_7. \quad (11)$$

Цільова функція вантажовласника (варіант В) передбачає, що вантажовласник зацікавлений у мінімізації прямих витрат на вантажні операції та втрат від «заморожування» вартості товару, грн/рік:

$$F_B = 0,60 \cdot R_{\text{власника}} + 0,25 \cdot C_{t_{\text{простій}}} + 0,10 \cdot C_{\text{викидів}} + 0,05 \cdot C_{\text{втрати товару}}, \quad (12)$$

де: $R_{\text{власника}}$ – базові річні витрати вантажовласника, грн/рік;
 $C_{\text{втрати товару}}$ – ризики фінансових втрат через затримки, грн/рік.
 Таким чином, базові витрати вантажовласника грн / рік:

$$R_{\text{власника}} = C_1 + C_3 + C_6, \quad (13)$$

а вартісний еквівалент простою для власника, грн / рік:

$$C_{t_{\text{простій}}} = C_5 + C_{10} + C_{13} + C_{14}, \quad (14)$$

В комплексній моделі системи «станція-під'їзна колія» враховано наступні компоненти річних витрат $C_1 - C_{14}$.

Амортизація навантажувально-розвантажувальних машин (C_1) характеризується річними витратами на амортизацію НРМ пропорційні їх кількості, грн/рік:

$$C_1 = Z \cdot K_M \cdot \alpha_M, \quad (15)$$

як фіксована складова, що зростає лінійно зі збільшенням кількості обладнання.

Витрати на вагоно-години (C_2), грн/рік, які враховується для залізниці і пов'язані з тим, що залізниця несе витрати за весь час перебування вагонів у системі. З урахуванням диференціації по вагонам, умовний клас C_2 визначається як:

$$C_2 = 365 \cdot T_{\text{sys}} \cdot \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^5 n_i \cdot a_B \cdot k_i, \text{ грн/рік}, \quad (16)$$

де множник $1/24$ переводить погодинну вартість у добову розмірність, а k_i – тарифний множник класу вантажу.

Витрати на роботу НРМ (C_3), грн/рік, враховуються для вантажовласника і залежать від їх кількості та режиму експлуатації:

$$C_3 = Z \cdot T \cdot a_{\text{нрм}} \cdot 365, \quad (17)$$

де T – тривалість роботи НРМ на добу, год/добу.

Витрати на маневрову роботу локомотивів при подачі-прибиранні вагонів (C_4), грн/рік, враховується для залізниці:

$$C_4 = 365 \cdot 2 \cdot X \cdot M \cdot t_M \cdot a_L, \quad (18)$$

де множник 2 враховує дві операції – подачу та прибирання вагонів.

Вартість простою через неповний цикл (C_5), грн/рік) характеризується втратами від неповнодобової роботи фронту для всіх вагонів:

$$C_5 = 365 \cdot N_{\text{заг}} \cdot W_{\text{неповний цикл}} \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 n_i \cdot a_B \cdot k_i}{N_{\text{заг}}}. \quad (19)$$

Амортизація залізничних колій (C_6), грн/рік) враховано, як річні амортизаційні відрахування на колійну інфраструктуру:

$$C_6 = L_\phi \cdot K_P \cdot \alpha_P, \text{ грн/рік}. \quad (20)$$

Вартість очікування вантажних операцій (C_7), грн/рік, враховується для залізниці і представлено як втрати від простою вагонів у черзі на станції:

$$C_7 = 365 \cdot N_{\text{заг}} \cdot W_{\text{очікування}} \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 n_i \cdot a_B \cdot k_i}{N_{\text{заг}}}. \quad (21)$$

Витрати на капітал товару в простої (C_{10}), грн/рік, враховується для вантажовласника і показано у якості ефекту «заморожування» коштів у товарі, що знаходиться в дорозі:

$$C_{10} = M_{\text{avg}} \cdot C_{\text{товар}} \cdot i_{\text{капітал}}, \quad (22)$$

де M_{avg} – середня маса товару в системі, що розрахована як:

$$M_{\text{avg}} = N_{\text{заг}} \cdot q \cdot \frac{T_{\text{sys}}}{24}, \text{ т.} \quad (23)$$

Компенсація системних ризиків, яка пропорційна базовим витратам, враховується як ризикова надбавка (C_{11}), грн/рік:

$$C_{11} = R_{\text{base}} \cdot CV_N, \quad (24)$$

де CV_N – коефіцієнт варіації вагонопотоку, що характеризує нестабільність надходження вагонів.

Екологічна складова моделі (C_{12}), грн/рік) – це плата за викиди вуглекислого газу від роботи обладнання:

$$C_{12} = 365 \cdot (T \cdot Z \cdot e_{\text{нрм}} + 2 \cdot t_m \cdot M \cdot e_{\text{лок}}) \cdot \frac{\tau_{\text{CO}_2}}{1000}, \quad (25)$$

де перший доданок – викиди НРМ, другий – викиди локомотивів.

Ризики штрафів (C_{13} , грн / рік, враховується для вантажовласника) включено до моделі, як імовірнісна оцінка фінансових втрат від несвоєчасної доставки

$$C_{13} = M_{\text{avg}} \cdot C_{\text{товар}} \cdot \frac{p_{\text{штраф}}}{100} \quad (26)$$

Вартість простою вагона в черзі на станції (C_{14}), грн/рік, враховується для вантажовласника:

$$C_{14} = 365 \cdot N_{\text{заг}} \cdot W_{\text{очікування}} \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 n_i \cdot a_b \cdot k_i}{N_{\text{заг}}}. \quad (27)$$

В комплексній моделі системи «станція - під'їзна колія» враховано наступні обмеження. Умову стабільності системи враховано, як основне обмеження на коефіцієнт завантаження:

$$\rho = \frac{N_{\text{заг}} \cdot q}{24 \cdot Z \cdot P_{\text{НРМ}}} < 1. \quad (26)$$

При $\rho \geq 1$ середній час очікування прямує до нескінченності, що робить технологічну конфігурацію неприйнятною.

Інфраструктурні та геометричні обмеження обумовлено кількістю подач вагонів та довжиною вантажного фронту:

$$X \leq X_{\text{max}} = \left\lfloor \frac{N_{\text{заг}} \cdot l_b}{L_\phi} \right\rfloor. \quad (27)$$

Часові обмеження - час роботи НРМ не може перевищувати тривалість доби:

$$T \leq 24, \text{ год/добу.} \quad (28)$$

До моделі введено обмеження на цілочисельність, оскільки параметри Z, X, M мають приймати цілі невід'ємні значення:

$$Z, X, M \in \mathbb{Z}^+. \quad (29)$$

Комплексна математична модель оптимізації роботи вантажних фронтів залізничних під'їзних колій формулюється як задача знаходження значень параметрів (Z^*, X^*, T^*, M^*), що мінімізують відповідну цільову функцію:

$$\begin{cases} \underset{Z, X, T, M}{\operatorname{argmin}} F_A(Z, X, T, M) \text{ (для залізниці)} \\ \underset{Z, X, T, M}{\operatorname{argmin}} F_B(Z, X, T, M) \text{ (для вантажовласника)} \end{cases}, \quad (30)$$

при виконанні всіх наведених вище обмежень.

Встановлена задача (30) вирішується методом повного перебору з обмеженням простору пошуку. Через складну нелінійну залежність цільових функцій від параметрів та наявності дискретних змінних застосовується метод повного перебору з розумним обмеженням діапазонів:

- $Z \in [1,5]$ – кількість НРМ обмежена практичними міркуваннями;
- $X \in [1, X_{\max}]$ – визначається інфраструктурою та геометрією фронту;
- $T \in \{8,12,16,20,24\}$ – типові режими роботи з кроком 4 години;
- $M \in [1,3]$ – зазвичай достатньо 1-3 локомотиви.

Загальна кількість ітерацій становить:

$$N_{\text{ітер}} = 5 \times X_{\max} \times 5 \times 3.$$

Для кожної комбінації параметрів виконується наступний логічний порядок обчислень:

1. Перевіряється умова $\rho < 1$.
2. Обчислюються всі компоненти витрат C_1, C_2, \dots, C_{14} .
3. Розраховуються цільові функції F_A та F_B .
4. Зберігаються конфігурації з мінімальними значеннями.

В результаті здійснюється ідентифікація оптимальних рішень, тобто модель визначає два оптимуми:

- оптимум А (варіант А) – конфігурація $(Z_A^*, X_A^*, T_A^*, M_A^*)$ з мінімальним F_A , що відповідає інтересам залізниці;

- оптимум В (варіант В) – конфігурація $(Z_B^*, X_B^*, T_B^*, M_B^*)$ з мінімальним F_B , що відповідає інтересам вантажовласника.

У випадку співпадіння оптимумів ($F_A(Z_A^*) = F_A(Z_B^*)$ та $F_B(Z_A^*) = F_B(Z_B^*)$) отримаємо оптимальне рішення Парето.

Для кожного оптимального варіанту модель знаходить оптимальні параметри: кількість НРМ, Z^* , кількість подач, X^* , тривалість роботи НРМ, T^* , год/добу, кількість локомотивів, M^* , а також часові характеристики (коефіцієнт завантаження системи, ρ , загальний час вагона в системі, T_{sys} , год/ваг, непродуктивний простій, $t_{\text{avg}} = W_{\text{очікування}} + W_{\text{неповний цикл}}$, год/ваг, час обслуговування, t_{service} , год/ваг), економічні показники (значення цільової функції F , грн/рік, питомої цільова функція $F/N_{\text{річний}}$, грн/ваг, детальну структуру витрат за компонентами $C_1 - C_{14}$) та екологічні показники (річні викиди CO_2 , кг/рік).

До запропонованої комплексної математичної моделі системи «станція-під'їзна колія» введено елементи системи підтримки прийняття рішень (СППР). Модель аналізує коефіцієнт завантаження системи та автоматично виявляє ситуації постійного перевантаження. Це відбувається при наближенні ρ до одиниці, коли система переходить у нестабільний режим. Діагностичний модуль обчислює та формує рекомендацію при $\rho \geq 1$ – збільшити Z до Z_{\min} або зменшити $N_{\text{заг}}$:

$$\mu_{\min} = 1,05 \cdot \lambda = 1,05 \cdot \frac{N_{\text{заг}}}{24}, \text{ ваг/год}; \quad (31)$$

$$Z_{\min} = \left\lceil \frac{\mu_{\min} \cdot q}{P_{\text{НРМ}}} \right\rceil,$$

де Z_{\min} – мінімально необхідна кількість НРМ для стабільної роботи системи з 5% запасом пропускної (переробної) здатності.

Модель розкладає добовий цикл роботи на складові - робочий час (необхідний), год/добу:

$$t_{\text{робочий}} = 2 \cdot X \cdot M \cdot t_m + N_{\text{заг}} \cdot t_{\text{service}}, \quad (32)$$

де перший доданок – маневрові операції, другий – безпосередньо вантажні роботи, та на вільний час, год/добу:

$$t_{\text{вільний}} = 24 - t_{\text{робочий}} \quad (33)$$

При $t_{\text{робочий}} > 24$ система «станція-під'їзна колія» працює з перевантаженням, що сигналізує про необхідність зміни параметрів, наприклад, розглянути збільшення X або T . Крім того, при значних відмінностях F_B між оптимумами СППР модель рекомендує провести переговори між залізницею та

вантажовласником про компромісну конфігурацію, а при високих викидах CO₂ – реалізує оцінку доцільності використання більш екологічного обладнання.

Перевагами розробленої комплексної моделі оптимізації роботи вантажних фронтів залізничних під'їзних колій є ряд положень:

- *Багатокритеріальний підхід.* На відміну від традиційних моделей, орієнтованих на мінімізацію одного показника (зазвичай часу або витрат), розроблена модель інтегрує: економічні критерії (витрати обох сторін), часові критерії (час обігу рухомого складу), екологічні критерії (викиди шкідливих речовин) та ризикові компоненти (нестабільність процесів), що дозволяє приймати збалансовані рішення на базі СППР, з урахуванням всіх аспектів функціонування системи «станція-під'їзна колія».
- *Облік інтересів різних стейкхолдерів.* Модель у явному вигляді розрізняє цілі залізниці та вантажовласника, що дозволяє: виявити конфлікти інтересів, порекомендувати та знайти компромісні рішення, оцінити вартість узгодження позицій, розробити справедливі схеми розподілу витрат.
- *Використання теорії масового обслуговування.* Застосування моделі M/M/Z забезпечує коректний облік стохастичного характеру вагонопотоку, адекватну оцінку часу очікування в черзі з автоматичною валідацією параметрів, виявлення режимів перевантаження у системі, розрахунок необхідних резервів пропускну здатності.
- *Детальна структура витрат.* Декомпозиція на 14 компонентів дозволяє ідентифікувати найбільші статті витрат, оцінити вплив зміни окремих параметрів, провести аналіз чутливості параметрів та обґрунтувати інвестиційні рішення
- *Практична застосовність, масштабованість і адаптованість.* Модель легко адаптується до різних типів вантажів та їх тарифікації, різних конфігурацій вантажних фронтів, змінних режимів роботи та врахування специфічних вимог конкретних під'їзних колій підприємств.

Розглянемо роботу моделі на прикладі під'їзної колії промислового підприємства, із параметрами:

- вагонопотік: $n_1 = 5, n_2 = 15, n_3 = 8, n_4 = 4, n_5 = 2 \Rightarrow N_{\text{заг}} = 34$ ваг/добу;
- технічні параметри: $q = 60$ т/ваг, $P_{\text{НРМ}} = 25$ т/год, $l_B = 14$ м, $L_\phi = 200$ м, $t_M = 0,5$ год.

Результати оптимізації:

- варіант А (оптимум залізниці): $Z_A^* = 2, X_A^* = 4, T_A^* = 16$ год, $M_A^* = 1, F_A = 8234567$ грн/рік, $T_{\text{sys}} = 2,45$ год/ваг, $\rho = 0,85$;
- варіант В (оптимум вантажовласника): $Z_B^* = 3, X_B^* = 3, T_B^* = 12$ год, $M_B^* = 1, F_B = 9876543$ грн/рік, $T_{\text{sys}} = 1,82$ год/ваг, $\rho = 0,68$.

В результаті рекомендовано в якості компромісу використати варіант В, оскільки не зважаючи на 16,6 % збільшення витрат, у довгостроковій перспективі він забезпечує на 26 % менший час перебування вагонів у системі, ціною збільшення кількості НРМ.

З метою виявлення умов, за яких оптимальні технологічні параметри ($Z_A^*, X_A^*, T_A^*, M_A^*$) для залізниці (варіант А) та ($Z_B^*, X_B^*, T_B^*, M_B^*$) вантажовласника (варіант В) співпадають проведено симуляція, де здійснювалась варіювання ключовими вхідні параметрами. Симуляція показала, що співпадіння оптимальних сценаріїв (Opt_A == Opt_B) є рідкісним явищем у стандартних умовах моделювання. Це пов'язано з фундаментальним конфліктом інтересів: залізниця (варіант А) прагне мінімізувати витрати на маневрову роботу (C₄, пропорційна X) та простої вагонів (C₂, C₇), тому схиляється до менших значень кількості подач X та кількості НРМ Z, дозволяючи деякий додатковий простій. Вантажовласник (варіант В) чутливий до витрат на іммобілізований капітал (C₁₀, який пропорційний T_{sys}) та роботу механізмів (C₃, що пропорційна Z*T), тому обирає більші Z та X для скорочення простоїв, навіть якщо це підвищує C₃.

Основні підсумки досліджень

Варіація добового вагонообігу N_{total}. При відносно низькому N_{total} оптимальне рішення для залізниці Opt_A має малі Z та X внаслідок того, що простої вагонів й так мінімальні без додаткових інвестицій. Оптимальне рішення для вантажовласника Opt_B буде в області більших значень Z та X для подальшого скорочення T_{sys}. З ростом N_{total} величина Z в обох оптимальних рішеннях зростає, але Opt_B потребує відносно більших Z та X. Виявлено закономірність – при середньому N_{total} оптимальні значення параметрів Z, X та T взаємно наближаються для обох варіантів. Крім того, при низькому

середньому завантаженні вагону q_q (легкі вантажі) Z , що відповідає оптимуму, менший для обох варіантів, ніж при перевезенні важких вантажів.

Варіація вартості товару $C_{\text{товару}}$ та ставки капіталу $i_{\text{капітал}}$. При відносно низькій $C_{\text{товару}}$ та $i_{\text{капітал}}$ витрати C_{10} є малими, тому Opt_V наближається до Opt_A, але все одно для вантажовласника характерним є більша кількість НРМ Z . З ростом $C_{\text{товару}}$ та $i_{\text{капітал}}$ Opt_V притаманно ще більші Z для зменшення T_{sys} . Opt_A має по-суті фіксовані параметри. Встановлено закономірність – співпадіння інтересів можливе при дуже низькому $C_{\text{товару}}$ (<1000 грн/т) та при низькій ставці $i_{\text{капітал}}$, коли простій не є критичним для вантажовласника, який менш мотивований скорочувати простой.

Варіація продуктивності механізмів P_p . При відносно низькій P_p обидва оптимальних технологічних варіанти вимагають високого Z , але X та T суттєво відрізняються. З ростом P_p Z зменшується, але для залізниці Opt_A зменшується швидше. Встановлено закономірність – при зростанні P_p інтереси залізниці та вантажовласника наближаються з причини того, що простой вагонів мінімальні без великої кількості НРМ Z , але кількість подач X різні – через конфлікт витрат C_4 та C_3 .

Варіація вартості роботи механізмів a_m . При відносно низькій a_m вантажовласник при Opt_V обирає максимальну тривалість $T=24$ для зменшення простоїв, тобто мінімізує C_3 . При збільшенні високій a_m вантажовласник прагне в Opt_V до зменшення тривалості T та кількості НРМ Z . Opt_A фіксований, тому у більшості технологічних варіантах не співпадає з Opt_V. Закономірність – при дуже низькій a_m вантажовласник схиляється до високої T , але X зберігається високої за рахунок мінімізації $W_{\text{неповний}}$.

Результати досліджень показують, що співпадіння оптимальних технологічних варіантів Opt_A та Opt_V наближається до виняткових явищ. Основна закономірність – інтереси залізниці та вантажовласника наближаються та Z приймає близькі значення у випадку, коли простой не критичні для вантажовласника при низькій вартості товару $C_{\text{товару}}$ та низькій ставці капіталу $i_{\text{капітал}}$, високій продуктивності P_p або при невеликому вагонопотоці N_{total} . У цих випадках вантажовласник менш мотивований інвестувати в додаткові потужності, але X і T залишаються різними через різні структури витрат: залізниця мінімізує подачі X (шляхом змін C_4), вантажовласник – балансує тривалість T (корегуючи C_3). Це підкреслює необхідність компромісів у реальних проектах, як передбачено моделлю через СППР з рейтингом варіантів.

В експериментальній частині роботи із комплексною моделлю виявлено закономірності залежності тривалості технологічного часу вагону від кількості подач (X) та кількості НРМ (Z). Результати показують наявність залежності загального часу T_{sys} , непродуктивний простой t_{avg} , год/ваг, час очікування в черзі $W_{\text{очікування}}$, год/ваг та простой через неповний цикл $W_{\text{неповний}}$. Залежність технологічного часу від кількості подач вагонів (X) наведено на рисунку 3.

Аналіз наведених даних показує, що $W_{\text{очікування}}$ фіксоване, оскільки не змінюється з X , а $W_{\text{неповний}}$ зменшується з ростом X тому, що включає компоненту $T/(2X)$, яка прямує до 0. Отже, T_{sys} та t_{avg} зменшуються гіперболічно до асимптоти: $T_{\text{sys}} \rightarrow W_{\text{очікування}} + (24 - T)^2/48 + 1/\mu$. При малих X простой високі через великий неповний технологічний цикл та великі партії подач вагонів, при великих X спостерігається стабілізація технологічного часу, оскільки більш жорстким стає обмеження за місткістю вантажного фронту.

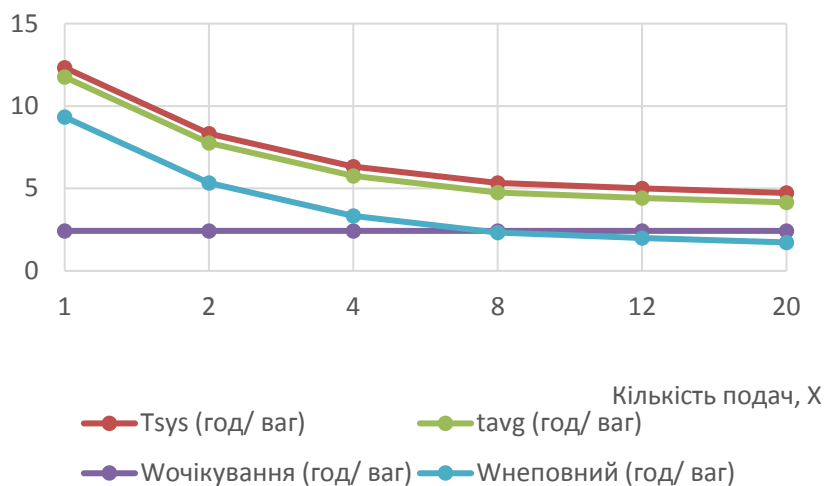


Рис. 3 – Залежність технологічного часу від кількості подач вагонів (X)

Досліджено залежність тривалості технологічного часу вагону від кількості НРМ (Z, рис. 4). Встановлено, що $W_{\text{неповний}}$ постійне, оскільки залежить від X та T), а $W_{\text{очікування}}$ зменшується з ростом Z, тому що $\rho \propto 1/Z$, а $W_{\text{очікування}} \propto \rho/(1-\rho)/\mu$, де $\mu \propto Z$, тому спад гіперболічний. При малих Z значення $\rho > 1$, тому система перевантажена й простої значно зростають. При відносно великих Z значення T_{sys} та t_{avg} зменшуються до асимптоти: $T_{\text{sys}} \rightarrow W_{\text{неповний}}$. Оптимум досягається при середніх значеннях Z, оскільки подальше зменшення простою не компенсує витрат на НРМ.

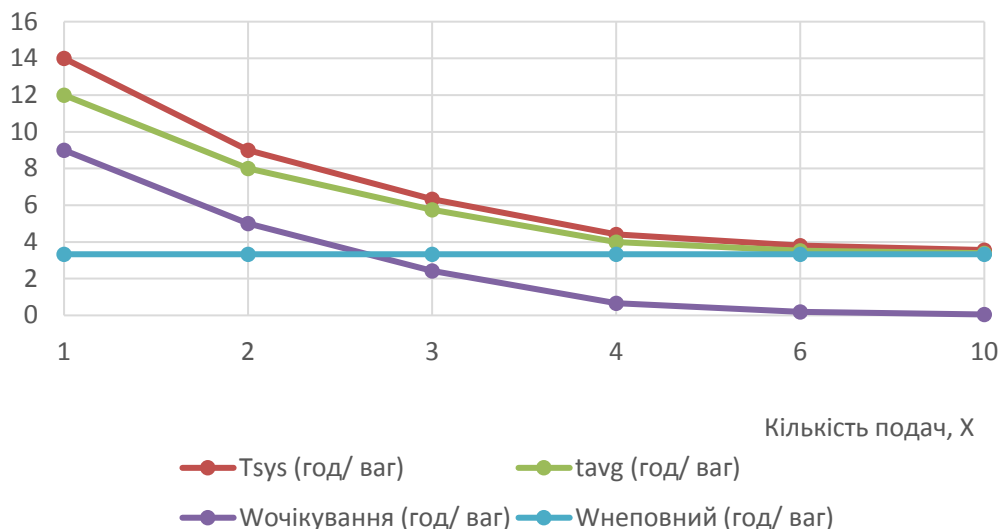


Рис. 4 – Залежність технологічного часу від кількості НРМ (Z)

Отримані залежності нелінійні, з асимптотами, що відображають обмеження дії моделі M/M/Z. Наведені графіки підкреслюють необхідність балансу: надмірне збільшення X/Z зменшує T_{sys} , але підвищує інші витрати, які теж треба дослідити.

Проаналізовано закономірності залежності питомої вартості перебування вагону $F_A/\text{ваг}$ та $F_B/\text{ваг}$, грн/ваг, в системі від параметрів X, Z та T при фіксованій кількості локомотивів M. Результати показують нелінійні залежності з оптимумами та асимптотами. Залежність $F_A/\text{ваг}$ та $F_B/\text{ваг}$ від кількості подач вагонів (X) наведено на рисунку 5.

При збільшенні значення X неповний цикл зменшується ($W_{\text{неповний}} \propto 1/X$), що знижує простої та витрати C_5, C_7, C_{10} , але зростає $C_4 \propto X$ й екологічні витрати від маневрової роботи. Мінімум витрат досягається при середніх значеннях X для залізниці (баланс витрат C_4 та простоїв) та для вантажовласника (через чутливість до C_{10}). Закономірність має U-подібний вигляд за рахунок початкового скорочення простоїв та наступного зросту маневрових витрат.

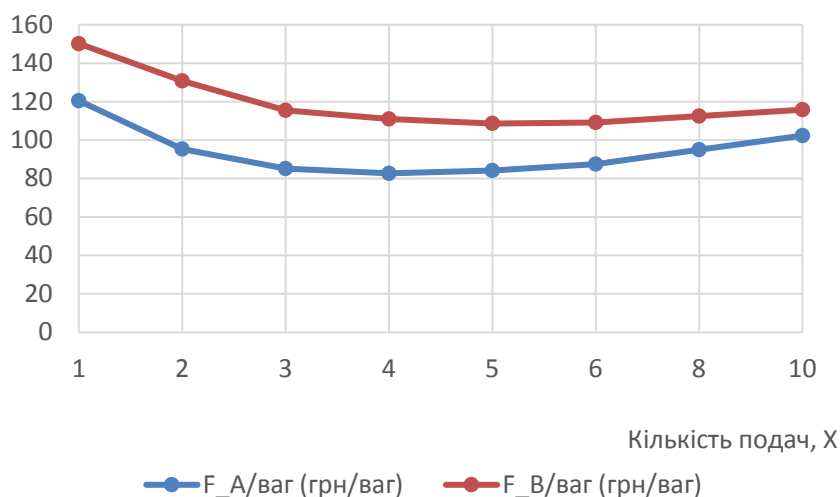


Рис. 5 – Залежність $F_A/\text{ваг}$ та $F_B/\text{ваг}$ від кількості подач вагонів (X)

Залежність $F_A/\text{ваг}$ та $F_B/\text{ваг}$ від кількості НРМ (Z) наведено на рисунку 6. Їх аналіз показує, що з ростом Z зменшується черга ($W_{\text{очікування}} \propto 1/Z^2$), що знижує витрати C_2, C_7, C_{10} , але зростають $C_1 \propto Z$ та $C_3 \propto Z$. Мінімум витрат досягається при середніх значеннях Z , причому для залізниці досягається раніше (баланс простоїв та амортизації), а для вантажовласника пізніше (через витрати C_3 та C_{10}).

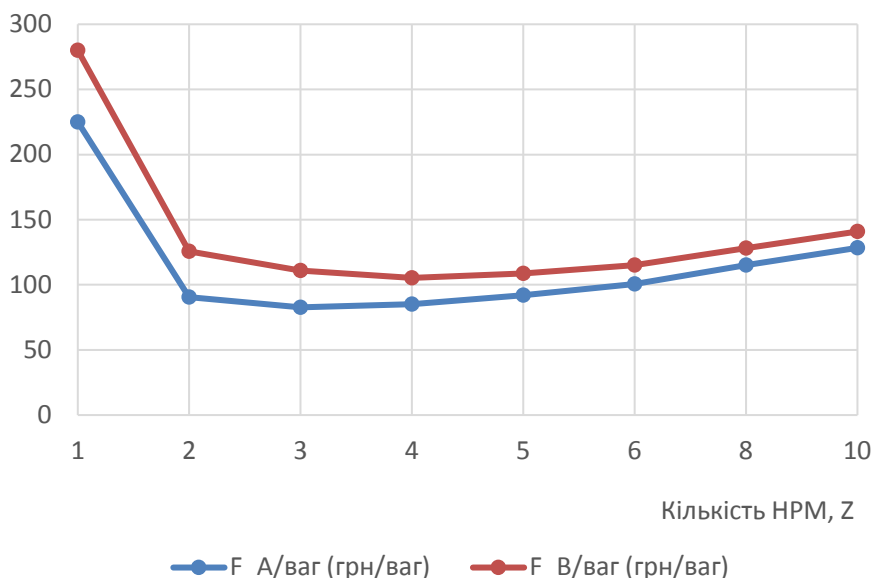


Рис. 6 – Залежність $F_A/\text{ваг}$ та $F_B/\text{ваг}$ від кількості НРМ (Z)

Отримана закономірність має U-подібний вигляд, в наслідок чого при малих Z може виникати перевантаження системи із значним ростом витрат, спадом до оптимуму та подальшим зростанням через надлишкові витрати. Залежність $F_A/\text{ваг}$ та $F_B/\text{ваг}$ від тривалості роботи фронту (T) наведено на рисунку 7.

Результати досліджень показують, що з ростом T зменшується неповний цикл ($W_{\text{неповний}} \propto (24-T)^2$), що знижує витрати C_5, C_{10} , але при цьому зростають витрати $C_3 \propto T$ та екологічна складова (викиди) $C_{12} \propto T$. Для залізниці мінімум витрат приходить на $T=12-16$ тому, що виникає баланс простоїв та витрат. Для вантажовласника мінімум витрат при $T=16-20$ через скорочення неповного циклу, але більшу чутливість до витрат на роботу НРМ C_3 . Оптимум у середньому діапазоні, а закономірність – U-подібна: при низькому T високі простої, при високому T виникають надлишкові витрати C_3 та C_{12} .

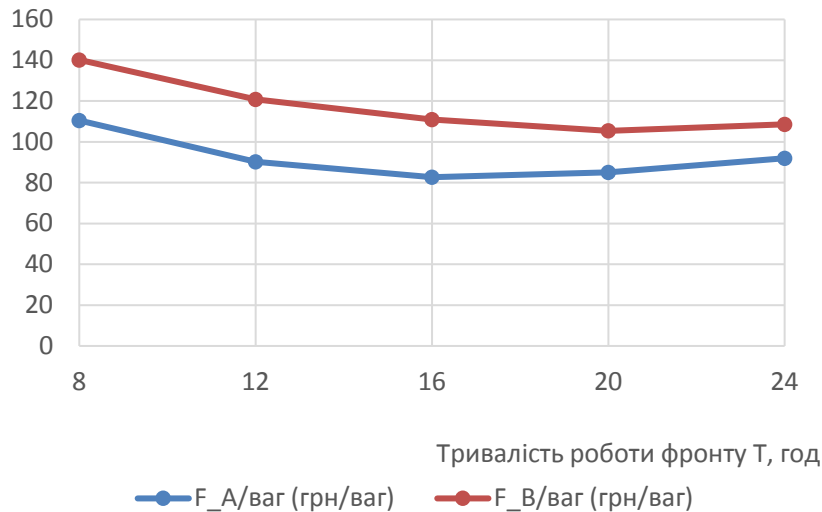


Рис. 7 – Залежність $F_A/\text{ваг}$ та $F_B/\text{ваг}$ від тривалості роботи фронту (T)

Для підтвердження практичної цінності розробленої математичної моделі оптимізації вантажного фронту проведено її верифікацію, що включає перевірку внутрішньої логіки алгоритму, оцінку адекватності відтворення реальних процесів та аналіз точності отриманих показників. Оскільки в основі моделі лежить апарат теорії масового обслуговування, ключовим критерієм адекватності є збіжність розрахункових параметрів черги із фактичними даними експлуатаційної роботи станції примикання. Для перевірки використано статистичний критерій Фішера (F -тест) та середньоквадратичне відхилення. Оцінка адекватності за часом очікування обслуговування вагонів (W_q) здійснювалась шляхом порівняння результатів, отриманих за уточненою формулою Поллачека-Хінчина [8], враховуючи коефіцієнт варіації вхідного потоку (v):

$$W_q = \frac{\rho^2(1 + v^2)}{2\lambda(1 - \rho)} \quad (34)$$

Верифікація логіки моделі підтверджується характером зміни цільової функції витрат $F(Z, X, T)$ при варіюванні керованих параметрів: кількості механізмів (Z), кількості подач (X) та тривалості роботи (T). Як показано на рисунках 5-7, наведені графічні вирази функцій мають чітко виражені екстремуми (U-подібна форма), що відповідає фізичному змісту процесу: збільшення потужності фронту робіт знижує витрати на простій рухомого складу, але підвищує експлуатаційні та амортизаційні витрати. Для проведення розрахунків було використано дані роботи реальної під'їзної колії з обсягом навантаження зернових вантажів (2-й клас вартості вантажу). Результати порівняння отриманих результатів наведено у таблиці 1.

Табл. 1 – Порівняння фактичних та модельних показників роботи вантажного фронту

Показник	Фактичне значення (облікові дані)	Модельне значення	Відхилення, %
Середній час перебування вагона на фронті, год	24,6	23,2	5,7
Довжина черги (середня кількість вагонів), од.	12,4	13,1	5,6
Сукупні добові витрати, тис. грн.	142,8	136,4	4,5

Аналіз даних таблиці показує, що відносне відхилення розрахункових значень від фактичних не перевищує 6 %, що є допустимим для складних стохастичних транспортних систем. Перевірка гіпотези про адекватність моделі за критерієм Фішера показала, що розрахункове значення $F_{\text{розн}} = 1,12$ є

меншим за табличне $F_{\text{табл}} = 2,45$ (для рівня значущості $\alpha = 0,05$). Це дозволяє стверджувати, що модель адекватно описує технологію роботи вантажного фронту та може бути використана для прийняття управлінських рішень.

Результати верифікації підтвердили, що запропонована модель з високою точністю відтворює закономірності формування черг та витрат. Головною перевагою моделі є її здатність реагувати на «стрибки» стохастичності (через параметр ν), що робить її значно точнішою за стандартні детерміновані методики розрахунку [13].

Висновки

Розроблена багатокритеріальна математична модель оптимізації роботи вантажних фронтів залізничних під'їзних колій дозволяє: знаходити оптимальні параметри роботи системи (Z, X, T, M) з позицій різних стейкхолдерів; оцінювати техніко-економічні та екологічні наслідки управлінських рішень; виявляти та усувати режими постійного перевантаження системи «станція-під'їзна колія», обґрунтовувати інвестиції у розвиток інфраструктури, враховувати елементи системи підтримки прийняття рішень (СППР) та формувати справедливі механізми розподілу витрат між залізницею і вантажовласником.

Використання результатів моделювання дозволяє виявляти конфлікти інтересів - доведено, що інтереси залізниці (мінімізація маневрової роботи) та вантажовласника (мінімізація часу перебування товару в системі) у більшості випадків не збігаються. Співпадіння оптимальних сценаріїв можливе лише за умов низької вартості вантажу або малого вагообігу, тому рішення може прийматись, як компромісне, по Парето. Впровадження інструментів СППР дозволяє автоматично виявляти режими критичного завантаження системи «станція - під'їзна колія» ($\rho \geq 1$) та обґрунтовувати необхідність інвестицій у розвиток інфраструктури (збільшення кількості навантажувально-розвантажувальних машин або частоти подач).

Застосування теорії масового обслуговування та багатокритеріального підходу забезпечує високу адекватність розробленої моделі реальним процесам та практичну цінність отриманих рішень. Результати верифікації підтвердили, що запропонована модель з високою точністю відтворює діючі закономірності формування черг та витрат при роботі вантажних фронтів на залізничних під'їзних коліях.

Перспективи подальших досліджень включають розширення дії створеної моделі на декілька під'їзних колій, що об'єднані у мережу, з врахуванням сезонної нерівномірності перевезень, інтеграції з системами диспетчерського управління оперативного персоналу та розробку динамічних моделей адаптації параметрів моделі.

Література

1. Ломотко Д.В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Ломотко Денис Вікторович ; Українська держ. академія залізничного транспорту. – Х., 2008. – 38 с. URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/6035/1/aref_Lomot%27ko.pdf

2. Формування термінальної системи розподілу товарів при їх перевезенні залізницею / Д.В. Ломотко, В.М. Ільчишин, М.Д. Ломотко, Д.В. Кудряшов // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2024. – Вип. 210. – С. 217–226. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320854>

3. Modeling the railway and automobile supply chain on the basis of «green» logistic / D. Lomotko, O. Ogar, M. Lomotko, O. Afanasova // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2023. – Вип. 205. – С. 98-110. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.205.2023.288832>

4. Статистична інформація «Транспорт» // Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

5. Бутко Т. В. Формалізація технології роботи залізничної станції з під'їзною колією на основі методів логістики / Т. В. Бутко, О. В. Ляшко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2012. – Вип. 133. – С. 63–69. URL: <http://csw.kart.edu.ua/>

6. Вернигора Р. В. Проблемы функционирования железнодорожных подъездных путей Украины в современных условиях / Р. В. Вернигора // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2012. – № 4/3 (58). – С.64-68.

7. M/M/1 Queueing systems with inventory / M. Schwarz, C. Sauer, H. Daduna, R. Szekli // Queueing Systems. – 2006. – Vol. 54. – P. 55–78. <https://doi.org/10.1007/s11134-006-8710-5>
8. Pollaczek F. Über eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitstheorie. I. / F. Pollaczek // Mathematische Zeitschrift. – 1930. – Vol. 32. – P. 64–100. <https://doi.org/10.1007/BF01194620>
9. Nie X. Simulation Process Design for Scheduling Mode of Railway Container Terminals based on Flexsim / X. Nie, L.Wang // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1176. – 052012. DOI: 10.1088/1742-6596/1176/5/052012
10. Marinov M. A simulation modelling methodology for evaluating flat-shunted yard operations / M. Marinov, J. Viegas // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2009. – Vol. 17, iss. 6. – P. 1106-1129. DOI: 10.1016/j.simpat.2009.04.001
11. Dzemydienė D. Integration of Multi-Criteria Decision Support with Infrastructure of Smart Services for Sustainable Multi-Modal Transportation of Freights / D. Dzemydienė, A. Burinskienė, A. Miliauskas // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, iss. 9. – 4675. <https://doi.org/10.3390/su13094675>
12. Liu R. Energyefficient operation of rail vehicles / R. Liu, I. M. Golovitcher // Transportation Research Part A Policy and Practice. – 2003. – Vol. 37, iss. 10. – P. 917-932. DOI: 10.1016/j.tra.2003.07.001
13. Ковальов А. О. Визначення раціонального технічного оснащення під'їзної колії підприємства / А. О. Ковальов, О. І. Волик // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2013. – Вип. 135. – С. 50-53. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2013_135_10
14. Про затвердження Правил обслуговування залізничних під'їзних колій : наказ Міністерства транспорту України від 21 листоп. 2000 р. № 644 // Офіційний вісник України. –2000. – № 50. Ст. 2192. – Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0875-00>

Надійшла до редакції: 27.12.2025

Прийнята до друку: 05.03.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Ломотько Денис Вікторович,

д.т.н., професор, завідувач кафедри

«Транспортні системи та логістика» Українського державного університету залізничного транспорту.

Майдан Оборонний Вал, 7, м. Харків, 61050, Україна.

E-mail: den@kart.edu.ua.

ORCID ID: 0000-0002-7624-2925.

РЕКЛАМА В ЖУРНАЛІ

«ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ»

З питань розміщення реклами у галузевому науково-практичному журналі

«Залізничний транспорт України»,

який видається філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця»,

звертайтеся на ім'я директора філії, за адресою:

03038, м. Київ, вул. І. Федорова, 39 або в редакцію журналу, за телефоном

+38 (044) 309-68-93 чи на електронну пошту журналу:

ztu@uz.gov.ua; gryshenko.s@lotus.uz.gov.ua.