

УДК 656.21:519.876.5

Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{1*}, В. В. МАЛАШКІН^{2*}, Т. М. БЕРДИЧЕВСЬКА^{3*}, О. Л. ІСКРА^{4*},
І. М. БЕЛЬСЬКА^{5*}^{1*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75, ел. пошта: e.b.demchenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-1411-6744^{2*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409 61 85, ел. пошта v.v.malashkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5650-1571^{3*} Одеський фаховий коледж транспортних технологій, Олексіївська площа, 17, м. Одеса, Україна, 65000, тел. +38 (048) 727 60 31, ел. пошта cbtm@ukr.net, ORCID 0009-0005-9268-9902^{4*} Одеський фаховий коледж транспортних технологій, Олексіївська площа, 17, м. Одеса, Україна, 65000, тел. +38 (067) 603 49 91, ел. пошта elenaiskra1@ukr.net, ORCID 0009-0009-7750-7065^{5*} Одеський фаховий коледж транспортних технологій, Олексіївська площа, 17, м. Одеса, Україна, 65000, тел. +38 (067) 936 22 82, ел. пошта 0679362282@ukr.net, ORCID 0009-0006-7207-1811

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРОБНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ, ЩО ОБСЛУГОВУЄ ПІД'ЇЗНІ КОЛІЇ, З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Внаслідок військової агресії російської федерації умови функціонування залізничного транспорту України в теперішній час характеризуються значними коливаннями обсягів перевезень, зміною напрямків вантажопотоків, руйнуванням інфраструктури, перервами в русі поїздів, що поєднується з жорсткою конкуренцією з іншими видами транспорту, зокрема при організації міжнародних перевезень. Під'їзні колії є невід'ємною складовою транспортної системи, що забезпечують безперервність логістичних процесів та ефективну взаємодію між магістральним залізничним транспортом та підприємствами-виробниками, складськими комплексами та іншими вантажовласниками. Колії незагального користування виконують роль основних пунктів формування та погашення більшої частини вантажопотоків українських залізниць, а ефективність їх обслуговування суттєво впливає як на стабільність виробничих процесів підприємств, так і на показники роботи транспортної системи. Для досягнення високого рівня конкурентоспроможності перед українськими залізницями постає завдання не тільки забезпечення стабільних перевезень в умовах військової агресії, а й впровадження клієнтоорієнтованого підходу у взаємодії з вантажовласниками. Одним з аспектів такого транспортного сервісу є забезпечення достатньої переробної спроможності залізничних станцій, що обслуговують колії незагального користування. У цьому зв'язку, завдання визначення раціональних техніко-технологічних параметрів станцій примикання під'їзних колій є актуальним. **Метою** дослідження є встановлення залежності переробної спроможності станції примикання, що обслуговує під'їзні колії, від її технічних та технологічних параметрів. **Методи дослідження.** При виконанні досліджень використані методи математичної статистики та імітаційного моделювання. **Результати.** Аналіз результатів досліджень з проблеми підвищення ефективності взаємодії станції примикання і під'їзних колій показав, що основні розробки вчених спрямовані на поліпшення технологічного процесу. Разом з тим, в дослідженнях приділяється значно менше уваги належності рухомого складу різним власникам, що призводить до надлишку вагонів на мережі. Це викликає нестачу станційних колій для їх відстоювання, скорочення переробної спроможності залізничних станцій, а також збільшення штрафів за порушення договірних умов щодо перевезення вантажів. З метою визначення достатньої переробної спроможності станцій для розрахункових вагонопотоків було розроблено імітаційну модель, яка дозволяє моделювати взаємодію станції примикання і під'їзних колій при різних експлуатаційних умовах з урахуванням стохастичного підходу вагонів. В результаті виконання серії експериментів з моделлю встановлена залежність переробної спроможності залізничної станції від її техніко-технологічних параметрів. **Наукова новизна** полягає в подальшому розвитку методів оцінки переробної спроможності станції примикання, що обслуговує під'їзні колії, в залежності від її технічних та технологічних параметрів. **Практична значимість** полягає у використанні результатів дослідження для оцінки експлуатаційної надійності станції примикання, що обслуговує під'їзні колії, з урахуванням стохастичного характеру надходження вагонів і особливостей виконання місцевої роботи.

Ключові слова: залізнична станція, під'їзна колія, переробна спроможність, техніко-технологічні параметри, імітаційне моделювання

Вступ

Під'їзні колії є невід'ємною складовою транспортної системи, що забезпечує безперервність

логістичних процесів та ефективну взаємодію між магістральним залізничним транспортом та підприємствами-виробниками, складськими

комплексами та іншими вантажовласниками. За даними [1, 2] у довоєнний період в Україні налічувалось понад 7 тис. під'їзних колій загальною довжиною, співставною з експлуатаційною довжиною українських залізниць. Згідно з Тарифним керівництвом № 4 [3], на даний час обслуговування під'їзних колій здійснюється на 1100 залізничних станціях, з яких з яких 10 працюють виключно з контейнерними вантажами, 911 – з неконтейнерними, а 179 – з усіма категоріями вантажів. Розподіл кількості станцій, відкритих для прийому-видачі вантажів на під'їзних коліях, по регіональним філіям АТ «Укрзалізниця» представлено на рис. 1.



Рис. 1. Кількість залізничних станцій, що обслуговують під'їзні колії

В той же час, згідно з [3] для обслуговування вантажовласників, що не мають власної під'їзної колії, на мережі українських залізниць виділено всього 30 станцій. Отже, під'їзні колії виконують роль основних пунктів формування та погашення більшої частини вантажопотоків українських залізниць, а ефективність їх обслуговування суттєво впливає як на стабільність виробничих процесів підприємств, так і на показники роботи транспортної системи.

Одним з основних якісних показників роботи залізничного транспорту є обіг вантажного вагона, який за даними [4] за підсумками лютого 2024 року склав 9,3 доби. З 15 червня 2025 р. АТ «Укрзалізниця» збільшила норматив середньодобової швидкості перевезення в окремих типах власних вагонів (вагони ЦТЛ), зокрема для повагонних відправок у внутрішньому сполученні: в критих – з 88 до 109 км/добу (+24 %); на фітінгових платформах – зі 154 до 170 км/добу (+10 %); в зерновозах – з 105 до 111 км/добу (+6 %) [5]. Як зазначається в [6], для фітінгових платформ в результаті цього швидкість у русі з врахуванням частки різних видів відправок та напрямку руху в середньому

виросла на 38 %. В той же час для перевезень масових вантажів, що здійснюються в основному в напіввагонах, вказаний показник залишився без змін на рівні 120 км/добу. За даними [5] виконано аналіз динаміки нормативу середньодобової швидкості перевезення $V_{\text{ср}}$ в напіввагоні АТ «Укрзалізниця» (рис. 2). Як видно, швидкість перевезення повагонних відправок у напіввагонах ЦТЛ у внутрішньому сполученні за останні роки не перевищує 130 км/добу. Слід зазначити, що перевезення вантажів у приватних вагонах є ще більш повільними в порівнянні з вагонами ЦТЛ [7].

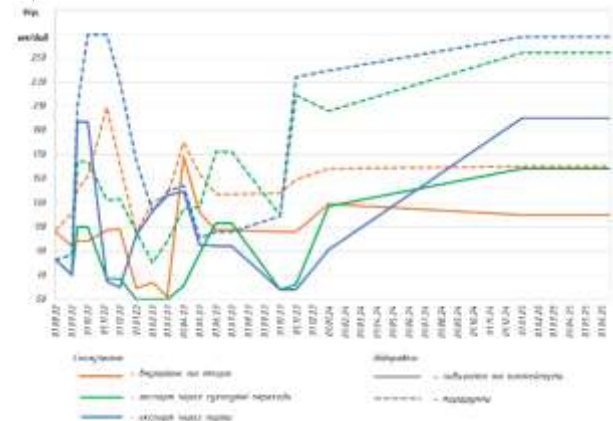


Рис. 2. Норматив середньодобової швидкості перевезення в напіввагоні ЦТЛ

Поелементний аналіз обігу показав, що понад 40 % від загальної тривалості циклу використання вагону припадає на його перебування на станціях виконання вантажних операцій – станціях примикання; при цьому до 90 % вказаного часу вагони знаходяться на під'їзних коліях [2]. Авторами [7], окрім простоїв составів, викликаних дефіцитом поїзних локомотивів, до числа факторів, що затримують доставку, віднесені також простої вагонів в очікуванні їх подачі і прибирання з вантажних фронтів.

Постановка завдання дослідження

Очевидно, що ефективність функціонування під'їзних колій безпосередньо залежить від пропускної спроможності станцій примикання, яка визначається як рівнем їх технічного оснащення, так і прийнятою технологією обробки вагонопотоків, організації маневрової роботи та взаємодії з вантажними пунктами. В цьому зв'язку дане дослідження, направлене на встановлення раціональних техніко-технологічних параметрів станцій примикання під'їзних колій, є достатньо актуальним і викликає не тільки науковий, але й практичний інтерес.

Мета дослідження

Метою дослідження є встановлення залежності переробної спроможності станції примикання, що обслуговує під'їзні колії, від її технічних та технологічних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема взаємодії станції примикання та під'їзних колій, які вона обслуговує, є актуальною й зараз, що підтверджується у багатьох роботах українських і зарубіжних науковців.

Так, у роботі [8] виконано систематизацію основних факторів з використанням діаграм Ісікави, що впливають на переробну спроможність залізничних станцій. Це дозволить раціонально використовувати існуючі ресурси для підвищення ефективності функціонування станцій.

Автор [9] виконав аналіз можливості обслуговування під'їзних колій підприємств добувної промисловості залізничним транспортом і надав рекомендації з розробки технологічного процесу їх взаємодії. Також у роботі запропоновані заходи щодо реконструкції колійного розвитку залізничних станцій, що примикають. Для підвищення пропускної спроможності залізничних ділянок пропонується зміна графіку руху поїздів із збільшенням їх маси.

У роботі [10] з метою підвищення ефективності взаємодії під'їзних колій і станції примикання автори пропонують обирати раціональну черговість обслуговування колій незагального користування на основі теорії ігор. Такий підхід дозволить врахувати інтереси як залізничної станції, так і під'їзних колій. Усі отримані ефективні варіанти обґрунтовані економічно.

Таким чином, аналіз результатів досліджень з проблеми підвищення ефективності взаємодії станції примикання і під'їзних колій показав, що основні розробки вчених спрямовані на поліпшення технологічного процесу. Разом з тим, в дослідженнях приділяється значно менше уваги належності рухомого складу різним власникам, що призводить до надлишку вагонів на мережі. Це викликає нестачу станційних колій для їх відстоювання, скорочення переробної спроможності залізничних станцій, а також збільшення штрафів за порушення договірних умов щодо перевезення вантажів.

Основний матеріал дослідження

Для визначення достатньої переробної спроможності станцій з обслуговування розрахункових вагонопотоків доцільно використовувати імітаційне моделювання. Даний підхід дозволяє

враховувати стохастичний характер тривалості виконання технологічних операцій, а також особливості взаємодії станції примикання і під'їзних колій. У цьому зв'язку було розроблено імітаційну модель системи «станція примикання – під'їзні колії» у вигляді комп'ютерної програми, яка дозволяє моделювати взаємодію залізничної станції і під'їзних колій, які вона обслуговує, у різних експлуатаційних умовах і при різному технічному її оснащенні.

В основі розробленої імітаційної моделі лежить модель, що представлена в [11], в якій станція розглядається як багатоканальна, багатофазна система масового обслуговування. Фазами обслуговування є окремі технологічні операції, які виконуються в заданій послідовності у відповідності до технологічного процесу. Тривалість технологічних операцій може бути представлена постійним значенням, випадковою величиною розподіленою за певним законом або функціональною залежністю від параметрів об'єкта, що обслуговується. В якості обслуговуючих пристроїв розглядаються виконавці технологічних операцій.

Основними елементами технологічного процесу на станції є технологічні операції **W**, виконавці **E** і об'єкти **O**, що обслуговуються.

В якості елементарних об'єктів розглядаються локомотиви і вагони, які можуть утворювати складні об'єкти (поїзда, маневрові состави) шляхом їх поєднання. Кожен об'єкт імітаційної моделі описується структурою:

$$O_i = \{N_{об}, V, T_{вх}, \mathbf{P}, \mathbf{W}\}, \quad (1)$$

де $N_{об}$ – ідентифікатор об'єкту;

V – тип об'єкту;

$T_{вх}$ – момент появи об'єкту у моделі;

$\mathbf{P}$ – вектор параметрів об'єкту;

$\mathbf{W}$ – список технологічних операцій, які необхідно виконати з об'єктом;

Технологічний процес обслуговування об'єктів у імітаційній моделі реалізований з використанням методів мережевого планування і управління у вигляді структурно-часової таблиці, окремий рядок якої характеризує елементарну операцію, що описується структурою:

$$W_j = \{N_{оп}, \mathbf{w}, e, t\}, \quad (2)$$

де $N_{оп}$ – ідентифікатор технологічної операції;

$\mathbf{w}$ – список попередніх операцій, по закінченні яких може починатися дана операція;

e – спеціалізація виконавця операції;

t – тривалість операції.

Кожен виконавець в імітаційній моделі представлений структурою:

$$E_k = \{N_{\text{вик}}, e, Q\}, \quad (3)$$

де $N_{\text{вик}}$ – ідентифікатор виконавця;

e – спеціалізація виконавця;

Q – черга завдань на виконання операцій.

В імітаційній моделі прийнято, що кожену операцію може виконувати лише один виконавець із заданою спеціалізацією. Перед початком операції W_j перевіряється вільність потрібного виконавця E_k , яка встановлюється за

відсутністю елементів в списку Q виразу (2). У випадку зайнятості виконавця у даний список додається поточна операція W_j і номер об'єкту O_i , з яким вона виконується.

Мережевий графік, який принципово пояснює технологічний процес взаємодії станції примикання і під'їзної колії, представлений на рис. 3.

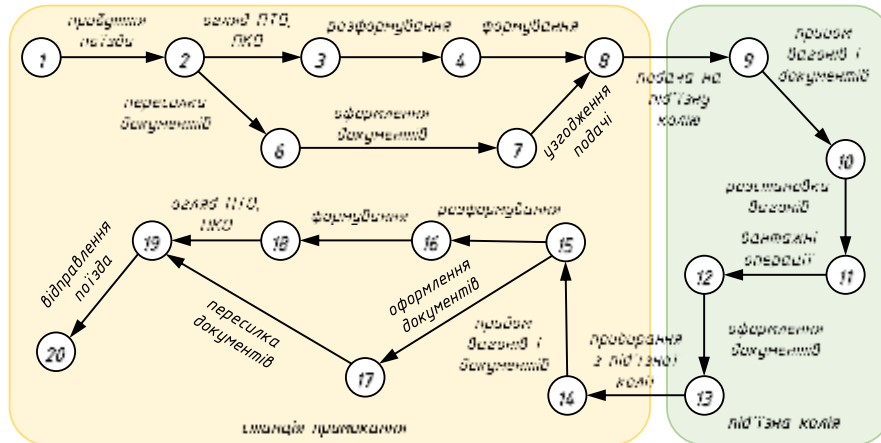


Рис. 3. Мережевий графік технологічного процесу обслуговування під'їзної колії станцією примикання

Необхідно відмітити, що технологічний процес обслуговування під'їзних колій, реалізований у розробленій імітаційній моделі системи «станція примикання – під'їзні колії» значно складніший ніж той, що наведений на рис. 3, і враховує певні особливості взаємодії елементів системи. Також у моделі реалізований механізм формування черг на обслуговування, коли, наприклад, є готові состави до подачі на під'їзну колію, а вільні маневрові локомотиви на станції відсутні. Такий підхід дозволяє оцінювати рівень технічного забезпечення залізничної станції для переробки розрахункових обсягів роботи.

Імітаційна модель дозволяє отримувати різні експлуатаційні показники функціонування станції примикання: час знаходження вагонів на станції, завантаження локомотивів і колій, переробну спроможність станції, тривалість в очікуванні різних технологічних операцій тощо.

Для дослідження впливу технічного оснащення станції і технології обслуговування під'їзних колій на її переробну спроможність із імітаційною моделлю виконано серію експериментів з різною інтенсивністю надходження вагонів. У кожному експерименті були отримані показники функціонування станції. При цьому переробна спроможність залізничної станції фіксувалася у моменти, коли черги об'єктів на

обслуговування починали стрімко зростати. Результати моделювання наведені на рис. 4-7.

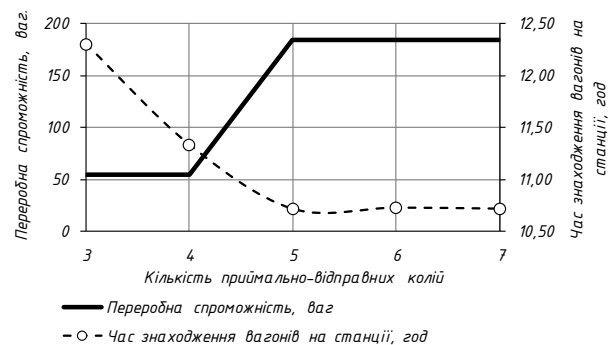


Рис. 4. Графік залежності переробної спроможності станції від кількості приймально-відправних колій

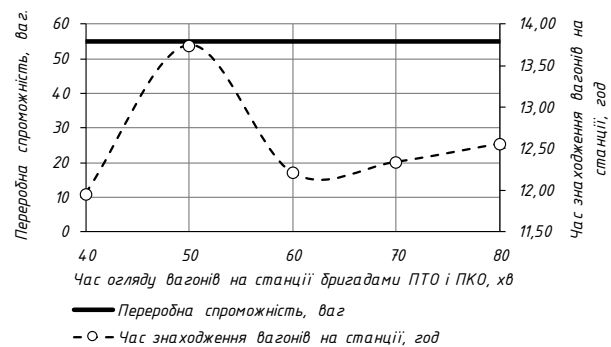


Рис. 5. Графік залежності переробної спроможності станції від тривалості огляду вагонів на станції у технічному та комерційному відношенні

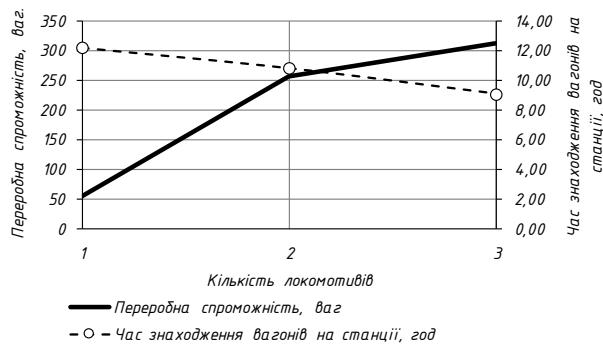


Рис. 6. Графік залежності переробної спроможності станції від кількості маневрових локомотивів на станції

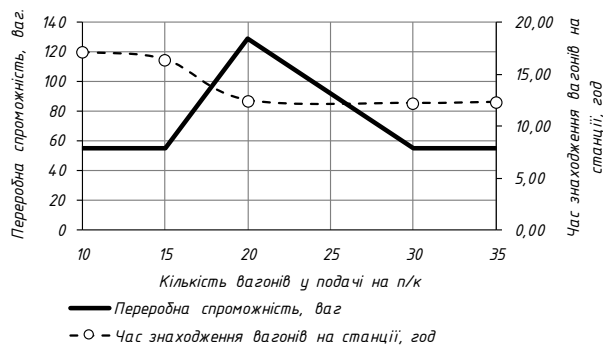


Рис. 7. Графік залежності переробної спроможності станції від кількості вагонів у подачі на під'їзну колію

Таким чином, з отриманих результатів видно, що переробна спроможність станції примикання в значній мірі залежить від кількості прийнятно-відправних колій і кількості вагонів у подачі на під'їзну колію.

Наукова новизна та практична значимість результатів дослідження

Наукова новизна полягає у подальшому розвитку методів оцінки переробної спроможності станції примикання, що обслуговує під'їзні колії, в залежності від її технічних та технологічних параметрів. Практична значимість полягає у використанні результатів дослідження для оцінки експлуатаційної надійності станції примикання, що обслуговує під'їзні колії, з урахуванням стохастичного характеру надходження вагонів і особливостей виконання місцевої роботи.

Висновки

У результаті виконаних у роботі досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Обґрунтовано актуальність теми дослідження щодо визначення залежності переробної спроможності станції примикання від її техніко-технологічних параметрів при обслуговуванні під'їзних колій.

2. Виконано аналіз наукових досліджень з проблеми підвищення ефективності взаємодії станції примикання і під'їзних колій, який показав, що дослідженнях приділяється значно менше уваги належності рухомого складу різним власникам, що призводить до надлишку вагонів на мережі і нестачі станційних колій для їх відстоювання, скорочення переробної спроможності залізничних станцій, а також збільшення штрафів за порушення договірних умов щодо перевезення вантажів.

3. Розроблено імітаційну модель системи «станція примикання – під'їзні колії» у вигляді комп'ютерної програми, яка використана для проведення досліджень.

4. В результаті проведення серії експериментів з імітаційною моделлю, що відрізняються умовами функціонування системи «станція примикання – під'їзні колії», отримані показники переробної спроможності залізничної станції. Встановлені залежності переробної спроможності станції від її технічного оснащення і технології обслуговування під'їзних колій.

Таким чином, отримані результати є основою для виконання подальших досліджень, що передбачають визначення ступеню впливу окремих параметрів станції на її переробну спроможність.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Мілецька І. М. Дослідження показників вантажної роботи на місцях незагального користування в умовах підприємства Д / І. М. Мілецька // 36. наук. праць. УкрДАЗТ, – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 118, – С. 220-225.
- Вернигора Р. В. Проблемы функционирования железнодорожных подъезных путей Украины в современных условиях / Р. В. Вернигора // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. - №4/3 (58). – С. 64-68.
- Тарифне керівництво №4 залізниць України. *Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця»*. URL: https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/tk4/ (дата звернення: 16.09.2025).
- Укрзалізниця впродовж трьох місяців покращила експлуатаційні показники. *Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця»*. URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/624598/ (дата звернення: 16.06.2025).
- Середня швидкість перевезення власного вагону. *ЦЕНТР ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ*. URL: <https://uz-cargo.uz.gov.ua/serednia-shvydkist-perevezennia-vlasnoho-vahonu> (дата звернення: 16.09.2025).

6. Укрзалізниця підвищує середньодобову швидкість вантажних вагонів: зменшення витрат для клієнтів. *Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця»*. URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/667400/ (дата звернення: 16.06.2025).

7. Повагонные отправки для частных у УЗ не в приоритете. Проект "Наш вагон" подвел итоги. *Центр транспортних стратегій*. URL: https://cfts.org.ua/articles/povagonnye_otpravki_dlya_chastnikov_u_uz_ne_v_prioritete_proekt_nash_vagon_podvel_itogi_1547 (дата звернення: 16.06.2025).

8. Берестов І. В., Шаповал Г. В., Мерзлякова Н. В. Підвищення ефективності взаємодії станції примикання та під'їзних колій. *Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport*. 2015. № 156. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.156.2015.66336>.

9. Шульдинер Ю. В. Work organization at local railway stations in creation of transport and logistics

clusters. *Technology audit and production reserves*. 2014. Vol. 2, no. 1(16). P. 61. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.23425>.

10. Шаповал Г. В., Резніченко О. Ю. Вибір оптимальної стратегії взаємодії вантажної станції та під'їзних колій. *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*. 2014. № 146. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.146.2014.73743>.

11. Функціональне моделювання роботи залізничних станцій : монографія / В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін; Дніпропетр. нац. ун-т зал. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 269 с. ISBN 978-966-8471-62-9

Надійшла до редколегії 26.06.2025.

Прийнята до друку 15.09.2025.

Ye. DEMCHENKO, V. MALASHKIN, T. BERDYCHEVSKA, O. ISKRA, I. BELSKA

INVESTIGATION OF THE HANDLING CAPACITY OF A RAILWAY STATION SERVING INDUSTRIAL SIDINGS BY MEANS OF SIMULATION MODELING

As a result of the military aggression of the Russian Federation, the current operating conditions of Ukraine's railway transport are characterized by significant fluctuations in freight volumes, changes in cargo flow directions, destruction of infrastructure, and disruptions in train traffic, combined with intense competition from other modes of transport, particularly in the organization of international shipments. Industrial sidings constitute an integral component of the transport system, ensuring continuity of logistics processes and effective interaction between the mainline railway transport and manufacturing enterprises, warehouse complexes, and other cargo owners. Private tracks serve as the principal points for forming and dissipating the majority of freight flows in the Ukrainian railway network, and the efficiency of their servicing significantly affects both the stability of industrial processes and the performance indicators of the transport system. To achieve a high level of competitiveness, Ukrainian railways face the challenge not only of ensuring stable transportation under the conditions of military aggression, but also of introducing a customer-oriented approach in cooperation with cargo owners. One aspect of such transport services is ensuring sufficient handling capacity of railway stations serving private tracks. In this regard, the task of determining rational technical and technological parameters of junction stations for industrial sidings is of particular relevance. **Purpose.** The aim of the research is to establish the dependence of the handling capacity of a junction station serving industrial sidings on its technical and technological parameters. **Research methods.** The research employed methods of mathematical statistics and simulation modeling. **Results.** Analysis of the studies on improving the efficiency of interaction between junction stations and industrial sidings showed that the main efforts of researchers are directed towards improving the technological process. At the same time, much less attention is paid to the ownership structure of rolling stock, which leads to wagon surpluses on the network. This results in a shortage of station tracks for wagon storage, reduced handling capacity of railway stations, and an increase in penalties for violation of contractual obligations regarding freight transportation. To determine the sufficient handling capacity of stations for the calculated wagon flows, a simulation model was developed that enables modeling of the interaction between junction stations and industrial sidings under various operational conditions, taking into account the stochastic arrival of wagons. Based on a series of experiments with the model, the dependence of the handling capacity of a railway station on its technical and technological parameters was established. **Scientific novelty.** The novelty lies in the further development of methods for assessing the handling capacity of a junction station serving industrial sidings, depending on its technical and technological parameters. **Practical significance.** The results of the study can be applied to the assessment of the operational reliability of junction stations serving industrial sidings, considering the stochastic nature of wagon arrivals and the specifics of performing local operations.

Keywords: railway station, industrial siding, handling capacity, technical and technological parameters, simulation modeling