

УДК 625.112:656.222.4

**ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПЕРЕБУДОВИ ОДНІЄЇ З КОЛІЙ
ДВОКОЛІЙНОЇ ДІЛЯНКИ НА КОЛІЮ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СТАНДАРТУ (1435 мм)**

Доктори техн. наук М. Б. Курган, Д. М. Курган,
канд. техн. наук С. Ю. Байдак, старш. викл. Р. Б. Новік,
асп. Н. П. Хмелевська

**JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF RECONSTRUCTING ONE TRACK
OF A DOUBLE-TRACK SECTION TO THE EUROPEAN STANDARD GAUGE (1435 mm)**

Dr. Sc. (Tech.) M. Kurhan, Dr. Sc. (Tech.) D. Kurhan, PhD (Tech) S. Baidak, Sr. lecturer
R. Novik, postgraduate student N. Khmelevska

Анотація. У статті систематизовано наукові розробки з проблеми проектування й реконструкції залізничних ліній під європейську ширину колії 1435 мм. Дослідження виконано з використанням методів графоаналітичного моделювання. Методика полягає в застосуванні розробленої математичної моделі, яка дає змогу оцінювати різні сценарії пропускної спроможності напрямку, використовуючи графіки оволодіння перевезеннями. У роботі отримано прогнозовані обсяги перевезень за песимістичним, раціональним і оптимістичним сценаріями, за яких може бути доцільна перебудова двоколіїної ділянки на дві одноколіїні з

шириною колії 1435 і 1520 мм. Запропоновано науковий підхід, за яким можна оцінювати різні сценарії пропускної спроможності двох одноколіїних ділянок із шириною колій 1520 мм (наявна) і 1435 мм (перебудована), використовуючи методи графоаналітичного моделювання. На основі результатів вітчизняних і зарубіжних наукових розробок намічено шляхи вирішення проблеми, що стосується будівництва залізниць європейського стандарту на території України з урахуванням сучасної інфраструктури, геополітичних, топографічних та інших умов. Переваги такого рішення: економія коштів (не потрібно перебудовувати одну з колій); збереження з'єднання з країнами, які використовують колію 1520 мм; можливість організувати рух поїздів із різною шириною колії.

Ключові слова: залізнична колія наявна 1520 мм, колія європейського стандарту 1435 мм, реконструкції сучасних напрямків, пропускна спроможність, провізна спроможність, графік оволодіння перевезеннями.

Abstract. The article systematizes scientific developments concerning the design and reconstruction of railway lines to the European track gauge of 1435 mm. Drawing on the experience of European countries, the study investigates the conditions under which it is feasible to implement a project solution involving the reconstruction of a double-track section into two single-track sections with different gauges: one track remains at 1520 mm, while the other is converted to 1435 mm. The research was conducted using graph-analytical modeling methods. The methodology involves the use of a developed mathematical model that allows for evaluating different scenarios of line capacity using transportation mastery graphs. The study forecasts transportation volumes under pessimistic, rational, and optimistic scenarios, under which the reconstruction of a double-track section into two single-track sections with gauges of 1435 mm and 1520 mm may be justified. A scientific approach is proposed, enabling the evaluation of various capacity scenarios for two single-track sections with gauges of 1520 mm (existing) and 1435 mm (reconstructed), using graph-analytical modeling methods. Based on the results of domestic and foreign scientific developments, potential solutions are outlined for the construction of European standard railways in Ukraine, considering existing infrastructure, geopolitical, topographical, and other conditions. The advantages of this solution include cost savings (as one track does not need to be rebuilt), maintaining connections with countries that use the 1520 mm gauge, and the ability to organize train movements with different track gauges.

Keywords: existing 1520 mm track gauge, European standard 1435 mm gauge, reconstruction of existing routes, line capacity, transportation capacity, transportation mastery graph.

Вступ. У листопаді 2022 року Європейська комісія і Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) спільно подали план відновлення України, який містить перехід на європейську колію 1435 мм. Цей крок має на меті покращити інтеграцію України з європейським транспортним ринком, стимулювати торгівлю та економічне зростання. У 2023 році Європейська комісія спільно з Україною розробили детальну стратегію переходу на євроколію. Ця стратегія містить оцінювання вартості проекту, план поетапного впровадження і визначення джерел фінансування [1].

Отже, актуальним завданням на сьогодні є розроблення теоретико-методологічних підходів і практичних рекомендацій щодо визначення технічних можливостей створення залізничних магістралей в Україні за європейським стандартом. І хоч повний перехід на європейську колію – довгострокова перспектива, проте це необхідний крок. Саме тому слід зробити його одним із пріоритетних напрямів і максимально залучати до нього іноземних інвесторів, зокрема Європейський Союз, який усе більше демонструє зацікавленість в інтеграції України у свою економіку та

логістичну інфраструктуру. Можливості та шляхи реалізації проєкту «Євроколія» опрацьовує міністерство упродовж кількох років, однак його практичне втілення передбачає проведення попередніх досліджень щодо вантажо- та

пасажиропотоків, а також розроблення техніко-економічного обґрунтування.

Євроколію для швидкісних перевезень планують будувати від кордону з Польщею в Мостиськах і Раві-Руській до Львова, між Львовом і Києвом і Чопом, а також від Львова до кордону з Румунією (рис. 1) [2, 3].



Рис. 1. План будівництва ділянок залізниць європейського стандарту

Частина стратегії з інтеграції залізничних мереж України, яку розробили Європейська комісія і Європейський інвестиційний банк, передбачає, що нова магістральна мережа колії 1435 мм працюватиме для міжнародних пасажирських поїздів, перевезення вантажів у контейнерах чи на платформах паралельно з наявною 1520 мм для місцевих і регіональних пасажирських поїздів і великовагових вантажів.

Виникає питання «як буде збудована нова колія?». Якщо це двоколійна ділянка, то можливі декілька варіантів: одна колія залишиться з шириною 1520 мм, а інша буде перекладена на 1435 мм; одна з колій стане суміщеною (1435/1520 мм); можливо, буде

збудована нова колія шириною 1435 мм на новому маршруті. Кожен із цих варіантів потребує різних інвестицій і забезпечує різний рівень пропускної та провізної спроможності. Розглянемо це питання на прикладі деяких проєктів.

1. На ділянці Ужгород – Чоп на сьогодні є тільки колія 1520 мм. До 1996-1998 років існувала колія 1435 мм, яку було демонтовано. Проєктом передбачено відновлення колії 1435 мм. Довжина ділянки становить 27,5 км. Реалізацію проєкту заплановано на 2024-2027 роки.

2. Напрямок Мостиська – Львів (Скнилів) перетворюють на дві одноколійні ділянки, тобто непарна колія залишиться 1520 мм, а парна буде перекладена на колію

європейського стандарту 1435 мм. Довжина ділянки становить 62,5 км. Реалізацію проєкту заплановано на 2025-2028 роки.

3. На ділянці Львів (Брюховичі) – Рава-Руська довжиною 58 км колія 1520 мм буде замінена на колію 1435 мм, а колія 1520 мм з Рави-Руської буде капітально відремонтована до Червонограда.

Станом на 1 грудня 2023 року жоден із проєктів не розпочато. Триває пошук джерел фінансування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищенню пропускної спроможності одноколіїних залізниць присвячені роботи як закордонних, так і вітчизняних фахівців. У Європі найпоширеніший метод аналізу пропускної спроможності надає Міжнародний союз залізниць (UIC) – код 406. Він був впроваджений у 1987 році та з того часу оновлювався кілька разів. Метод UIC 406 ґрунтується на імітаційному моделюванні роботи залізниці. Він дає змогу прогнозувати вплив різних факторів на пропускну спроможність: тип і характеристики поїздів (довжина, швидкість, час зупинки), інфраструктура залізниці (кількість колій, довжина перегонів, наявність роз'їздів), система управління рухом (графіки руху, правила пересування).

Зростаючий попит на пасажирські та вантажні перевезення транспортування в поєднанні з обмеженими капітальними вкладеннями для розширення залізничної інфраструктури США потребує більш ефективного використання поточної потужності ліній. У статті [4] використано результати понад 50 попередніх досліджень, виконаних у США та Європі, щоб описати різні визначення пропускної спроможності залізниці та підходи, а потім класифікувати їх на основі кожного з них. Методи потужності зазвичай поділяють на аналітичні та методи моделювання, але в цій статті також подано третій, «комбінований», підхід, який використовує як аналітичний, так і симуляційний підходи.

У статті [5] розглянуто можливе підвищення пропускної спроможності ділянки між двома станціями одноколіїної залізничної лінії за рахунок використання розширеної зони станційних стрілочних пунктів і методи оцінювання пропускної здатності такої залізничної інфраструктури, де частина одноколіїної ділянки, не обладнана, наприклад, лінійними блоками або іншими системами сигналізації та централізації, стає частково двоколіїною. Як приклад розглянуто напрямок у міській агломерації Градец – Кралоуе та Пардубіце та її околицях (100 км на схід від Праги), де є 60 ділянок одноколіїної лінії з середньою довжиною перегонів 7,4-10,0 км. Дослідження проводили на трьох рівнях. Перший є лише аналітичним, другий базований на розробленій власній мезоскопічній стохастичній симуляційній моделі, а третій – на стохастичній мікросимуляційній моделі, розробленій за допомогою програмного забезпечення OpenTrack. Запропоновані методи розширили сучасні загальні підходи до оцінювання пропускної спроможності.

У роботі [6] подано модель ціноутворення розподілу пропускної спроможності залізничної інфраструктури. Ціни на розподіл пропускної спроможності залізничної інфраструктури змодельовані з урахуванням усіх економічно обґрунтованих витрат. Структура моделі розроблена як набір розрахункових блоків у Microsoft Excel. Рекомендовані ціни на пропускну спроможність залізниці були знайдені шляхом моделювання набору варіантів. Надано рекомендації для різних умов експлуатації.

Проведений авторами роботи [7] аналіз показав, що перевезення в поєднанні з більшими швидкістю і частотою руху пасажирських поїздів, що курсують на одній колії, можуть призвести до збільшення заторів у багатьох місцях. Щоб задовольнити цей попит і підтримувати трафік, необхідні інвестиції в проєкти для збільшення пропускної спроможності

багатьох ліній. Дослідження дало змогу знайти найбільш ефективну стратегію розширення потужностей одноколієних ліній. Програмне забезпечення було використано для проведення експериментів, що моделюють роботу дорожнього руху на таких лініях. Отримані результати показали, що для одноколієної лінії найкраща стратегія – це будівництво нових роз'їздів між наявними станціями.

Пропускна спроможність одноколієних залізниць обмежена у зв'язку з зайнятістю ділянки колії поїздом, що блокує інші поїзди, які мають рухатися в протилежному напрямку, і, отже, створюючи низьку частоту руху поїздів і подовжений час перебування на станції. Обмеження потужності стає більш інтенсивним, оскільки в експлуатації задіяний графік руху, що призводить до великої залежності і взаємодії поїздів один з одним. Автор робить висновок, що визначення факторів для максимізації пропускної спроможності перегонів і станцій є життєво важливим завданням [8]. Параметри процесу моделювання використані для аналітичного оцінювання потужності станцій.

У роботі [9] зазначено, що попит на вантажні залізничні перевезення в Північній Америці суттєво зросте в найближчому майбутньому. Крім того, державні органи прагнуть збільшити швидкість і частоту курсування пасажирських поїздів. Мережа залізниць одноколієна з роз'їздами для схрещення і обгону поїздів. Автори вважають, що розширення інфраструктури можливе через будівництво додаткової головної колії, необхідної для підтримки спроможності мережі за умов збільшення залізничного руху.

Ще на початку 1990-х років почали розробляти системи на основі ERTMS/ETCS (Європейська система управління залізничним рухом/Європейська система управління поїздами), оскільки вони гарантують сумісність на європейському рівні, а також значно покращують

продуктивність залізничних систем. У цьому контексті в статті [10] аналізують використання HD-ERTMS (тобто ERTMS високої щільності), яку зазвичай застосовують у випадку залізничних вузлів двоколієних і одноколієних залізничних ліній. Попередні результати показали, що HD-ERTMS дає змогу відправляти послідовні пакети поїздів в одному напрямку, збільшуючи пропускну спроможність лінії до 60 %.

Згідно з цілями європейської транспортної політики передбачено, що до 2030 року транспортна система має стати більш конкурентоспроможною та ефективною у використанні ресурсів. Це висуває високі вимоги до залізничної інфраструктури, яка здебільшого працює в змішаному режимі пасажирських і вантажних перевезень. Мета статті [11] полягає в тому, щоб запропонувати процедури, які дадуть змогу просто і точно визначити кількісну оцінку переваг для підвищення пропускної спроможності лінії. Методичний підхід до визначення показників пропускної спроможності було розглянуто на прикладі вантажного залізничного коридору «Янтар», який з'єднує Балтійське море з Чорним. Він проходить через кілька європейських країн, у тому числі через Словаччину. Аналітичні процедури були запропоновані відповідно до методології, використовуваної на залізницях Словаччини, а питання якості були оцінені з використанням нового підходу для визначення оптимальної та критичної пропускної спроможності.

У 2017 році були опубліковані результати наукового дослідження [12]. Мета цього звіту – аналіз можливостей збільшення пропускної спроможності для майбутніх вантажних поїздів на період 2030-2050 років, оціненої для різних сценаріїв і комбінацій інфраструктури й поїздів. Встановлено, що пропускна спроможність одноколієної колії сильно залежить від відстані між станціями і швидкості поїздів. Зазначено, що швидші

вантажні поїзди можуть збільшити пропускну спроможність протягом дня, створюючи більше інтервалів між швидкими пасажирськими поїздами та мінімізуючи обгони. Навіть якщо швидші поїзди дорожчі, загальна вартість може бути нижчою за умови підвищення продуктивності, коли можна зробити ще один оборот локомотива або рухомого складу за день.

Для розрахунку пропускну спроможності залізничних колій у роботі [13] використовували методику, розроблену національною залізничною компанією Словаччини *Železnice Slovenskej Republiky (ŽSR)*, ґрунтовану на графіковій діаграмі руху поїздів (*graph schedule diagram*) і використовувану для прогнозування максимальної кількості поїздів, які можуть курсувати ділянкою колії протягом певного періоду часу. Для прогнозування впливу нового типу поїзда на пропускну спроможність залізничної колії в розрахунках використовували перспективний поїзд із такими параметрами: довжина, швидкість, час зупинок на станціях, міжстанційна відстань. Наведено результати практичної пропускну спроможності конкретної ділянки для поточного стану без реконструктивних заходів і після запропонованих заходів.

У роботі авторів [14] викладено теоретичні відомості про розрахунки пропускну спроможності залізничних напрямків за різного технічного оснащення. Розглянуто питання її підвищення за рахунок зміни способів організації руху поїздів і підвищення технічного оснащення інфраструктури і тягового забезпечення, особливо посилення пропускну спроможності за рахунок електрифікації залізничних ліній, пом'якшення профілю колії та зменшення міжпоїзних інтервалів.

У роботі [15] зазначено, що на сьогодні актуальною проблемою є також підвищення ефективності роботи залізничного транспорту промислових

підприємств. Метою дослідження є розроблення заходів щодо підвищення пропускну та провізної спроможності залізничної інфраструктури промислових підприємств в умовах збільшення обсягів перевезення вантажів. Дослідження виконано з використанням методів графоаналітичного моделювання.

Одноколійні ділянки залізниць зазвичай мають потрібну пропускну спроможність, яка в деяких випадках значно менша за наявну. У цьому випадку виникає потреба в посиленні технічної оснащеності таких ділянок. При розробленні та аналізі таких варіантів розрахунок наявної пропускну спроможності виконують аналітично, але при розробленні графіка руху поїздів таку пропускну спроможність не завжди вдається реалізувати. У статті [16] розглянуто варіанти прокладання ниток графіка поїздів на обмежувальному перегоні за різних варіантів технічного оснащення суміжних перегонів – одноколійні та двоколійні. Встановлено, що різні варіанти прокладання ниток на графіку поїздів впливають на величину періоду графіка руху поїздів і, як наслідок, наявну пропускну спроможність одноколійної ділянки. Для визначення пропускну спроможності реальних, нових чи реконструйованих ділянок найбільш перспективним, вважають автори, є побудова варіантних графіків руху поїздів для різних його видів, їх порівняння і вибір кращого. Таке рішення дає змогу також оцінити ефективність можливого збільшення пропускну спроможності ділянок за різних варіантів їх технічного посилення.

У роботі [17] на прикладі залізничних напрямків із тепловозною тягою, які з'єднують Україну з Польщею, досліджено ефективність їх електрифікації для підвищення пропускну спроможності. Для досягнення цієї мети в дослідженні проаналізовано ряд проєктів, за якими заплановано електрифікацію сучасних одноколійних залізниць. За результатами розрахунків зроблено висновок, що

експлуатаційні показники залежать від технічного оснащення залізниць, на які впливають обрис поздовжнього профілю, величини ухилів, тип електровозів, маса рухомого складу тощо.

Короткий огляд наукових праць дав змогу виявити фактори, які впливають на рівень пропускної спроможності одноколіїних ділянок, а також розглянути заходи для посилення потужності залізниць.

Визначення мети та завдання дослідження. Мета роботи полягає в дослідженні умов, за яких доцільно застосування проектного рішення, що передбачає перебудову двоколіїної ділянки на дві одноколіїні з різною шириною колії: одна колія залишається шириною 1520 мм, другу перекладають на ширину 1435 мм.

Основна частина дослідження. Перебудова ділянки Мостиська-Львів (Скнилів) на дві одноколіїні ділянки 1520 і 1435 мм має переваги і недоліки. Доцільність такого рішення буде залежати від конкретних умов і завдань. Дослідження виконано з використанням методів графоаналітичного моделювання. Методика

полягає в застосуванні розробленої математичної моделі для оцінювання різних сценаріїв пропускної спроможності напрямку, використовуючи графіки оволодіння перевезеннями.

Характеристика об'єкта дослідження. Одним із напрямків, що включений у транс'європейську транспортну мережу (TEN-T), є Балтійсько-Адріатичний коридор, що з'єднує Балтійське та Адріатичне моря, проходячи через Львів. Ділянка Львів – Мостиська – Держкордон є частиною цього коридору, що веде до Польщі, вона і є об'єктом дослідження (рис. 2).

На цьому напрямку залізничний транспорт відіграє ключову роль, має досить хороше технічне оснащення, проте це не виключає виконання робіт із реконструкції інфраструктури з метою підвищення швидкостей руху і збільшення пропускної й провізної спроможності, будівництва транспортно-логістичних термінальних комплексів, без яких мультимодальні перевезення та інтермодальні технології організувати неможливо [18].



Рис. 2. Схема ділянки Балтійсько-Адріатичного коридору
Краків – Медика – Мостиська – Львів

Крім транзитних, коридор відіграє важливу роль і у внутрішньому сполученні, оскільки перетинає промислово розвинений регіон Сілезії з великими гірничодобувними та металургійними підприємствами.

Ділянка Львів – Мостиська-2 двоколіїна, електрифікована на постійному

струмі, має довжину близько 84 км, обслуговувана Львівською дистанцією колії, забезпечує вихід до Польщі. Для обслуговування поїздів використовують електровози ЧС7 у пасажирському русі та ВЛ11 – у вантажному. На цій ділянці розташовано 11 станцій: Львів, 5 парк,

Рудний, Мшана, Затока, Городок, Родатичі, Судова Вишня, Хоросниця, Мостиська-2, Мостиська-1. Максимальну швидкість для пасажирських поїздів встановлено 120 км/год, для вантажних – 80 км/год. Маса вантажного поїзда у прямому та зворотному напрямках відповідно 5000/4500 т, пасажирського – 800 т. Довжина приймально-відправних колій 850 м, система СЦБ – автоблокування.

Аналіз гістограми (рис. 3) показує, що найбільша кількість ухилів знаходиться в діапазоні до 4 %. Їхня питома вага

становить 83,4 % загальної довжини. Керівний ухил – 8 %.

З гістограми на рис. 4 випливає, що з загальної кількості кривих – 28,1 % – питома вага кривих радіусів до 1200 м, що можуть обмежувати встановлену швидкість 120 км/год, складає 12,1 %. Характерна велика кількість обмежень за параметрами складових кривих – наявні криві радіусів більше 1000, але з короткими довжинами перехідних кривих, які також можуть обмежувати швидкість через круте відведення підвищення зовнішньої рейки.

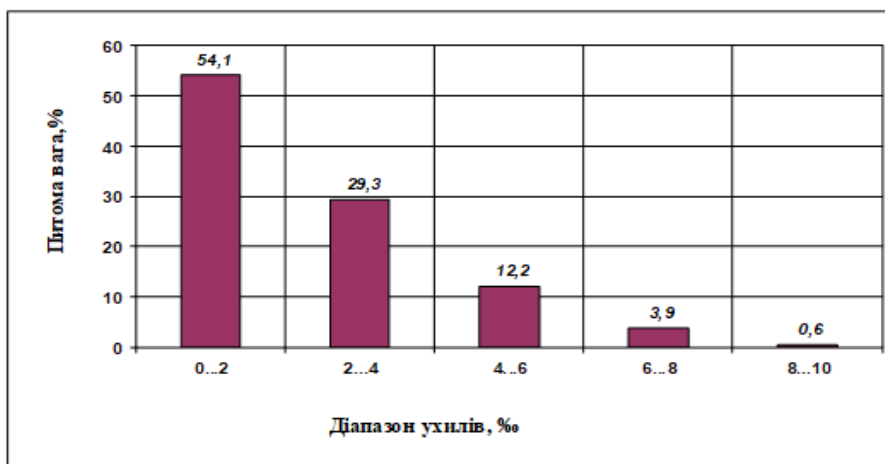


Рис. 3. Гістограма розподілу ухилів

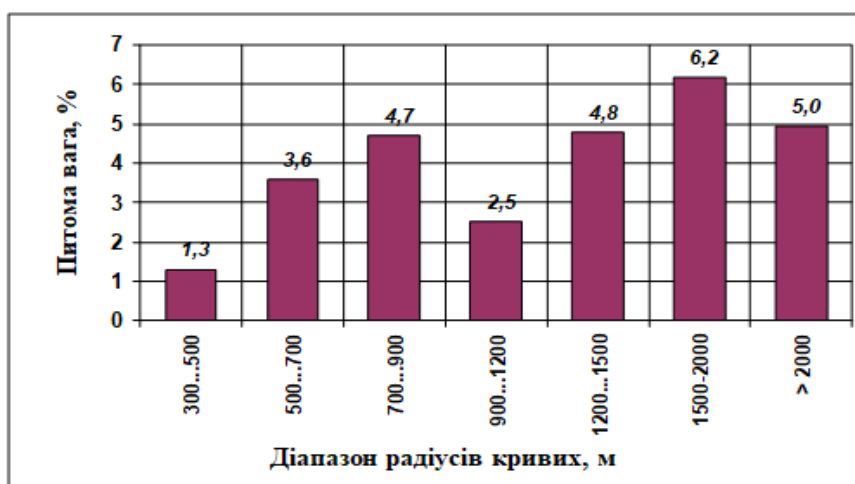


Рис. 4. Гістограма розподілу радіусів кривих

Аналіз технічного стану верхньої будови колії виконано на основі рейкошпально-баластової карти. З аналізу наведених показників видно, що залізниця належить до IV категорії [19]. Безстикова колія укладена рейками типу Р65, новими I групи, 1 класу і старопридатними типу Р65, I групи придатності.

Загальна кількість штучних споруд на ділянці – 81 шт., із них залізобетонних мостів – 16, кам'яних труб – 8, залізобетонних труб – 8, металевих мостів – 4.

Для визначення наявної пропускної спроможності для електричної тяги (локомотив ВЛ-11м) були виконані тягові розрахунки за сертифікованою програмою «MoveRW», розробленою на кафедрі транспортної інфраструктури УДУНТ. Як вихідні дані задано параметри поздовжнього профілю та плану лінії, обмеження в кривих на роздільних пунктах та інших бар'єрних місцях, а також дані про

рухомий склад. Результати наведено в табл. 1 і на рис. 4.

Пропускную спроможність одноколіїних перегонів за парного непакетного графіка визначали в парах поїздів на добу за формулою [20]

$$N_n = \frac{(1440 - t_{техн}) \cdot \alpha_n}{T_{nn}}, \quad (1)$$

де T_{nn} – період парного непакетного графіка, хв;

$t_{техн}$ – тривалість технологічного «вікна»;

α_n – коефіцієнт надійності.

$$T_{nn} = t_x^m + t_x^o + \tau_1 + \tau_2, \text{ хв.}, \quad (2)$$

де t_x^m, t_x^o – час руху по перегону в парному і непарному напрямках з урахуванням часу на розгін і уповільнення, хв;

τ_1, τ_2 – станційні інтервали, хв.

Таблиця 1

Наявна пропускна спроможність (локомотив ВЛ11у, 4000 т)

Номер	Перегін	Довжина перегону, км	Час ходу, хв		Пропускна спроможність, пар поїздів на добу
			парний	непарний	
1	2	3	4	5	6
1	Львів – Рудно	5,50	6,7	7,5	51
2	Рудно – Мшана	10,80	9,8	10,6	40
3	Мшана – Затока	7,30	7,6	8,3	47
4	Затока – Городок	9,13	8,5	9,5	44
5	Городок – Родатичи	9,35	9,0	10,3	42
6	Родатичи – Судова Вишня	9,27	8,7	9,5	44
7	Судова Вишня – Хоросниця	8,86	8,6	9,4	44
8	Хоросниця – Мостиська-1	10,40	9,5	9,9	42
9	Мостиська-1 – Мостиська-2	7,58	9,3	8,1	45
10	Мостиська-2 – Держжордон	5,54	6,0	7,7	52

З аналізу даних табл. 1 і рис. 5 випливає, що пропускна спроможність одноколіїних ділянок складає 40-42 пари

поїздів на добу, що в три-чотири рази менше, ніж могла забезпечити двоколіїна ділянка Львів – Мостиська.

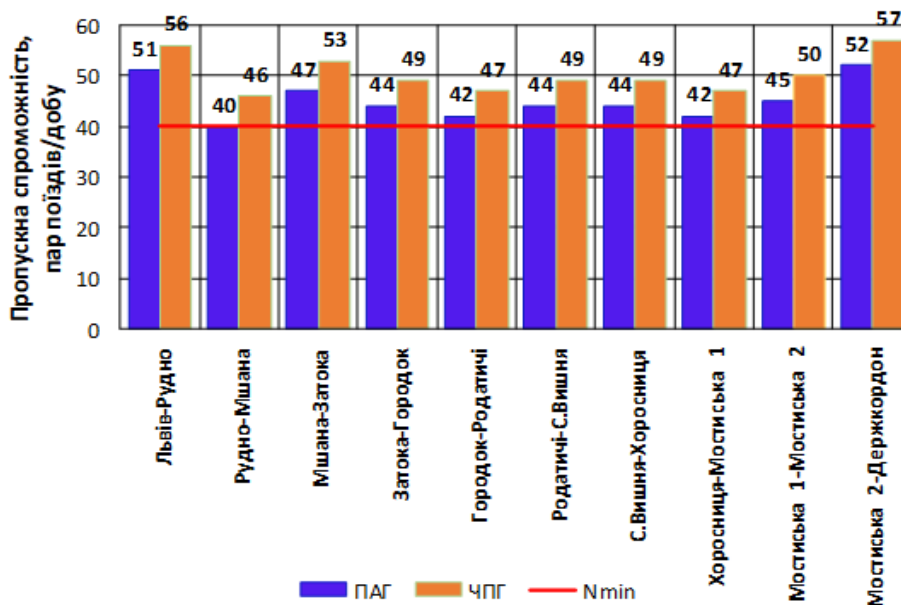


Рис. 5. Поперегінна пропускна спроможність:
 ПАГ – паралельний графік; ЧПГ – частково-пакетний графік;
 N_{min} – мінімальна пропускна спроможність

Чи є прийнятним рішення щодо перебудови двокільної ділянки на дві однокільні 1520 мм і 1435 мм і як на цьому напрямку можна оволодіти прогнозними обсягами перевезень?

Актуальним є питання підвищення пропускної спроможності львівського напрямку для забезпечення вантажоперевезень від «Сухого порту» до країн Європи.

У 2017 році АТ «Укрзалізниця» анонсувала створення «Сухого порту» на станції Скнилів і у 2018 було підписано меморандум про співпрацю з компанією DP World. DP World – світовий лідер у логістиці, один із найбільших світових операторів портів і логістичних комплексів. У 2019 році розроблено техніко-економічне обґрунтування проєкту, а у 2020 році проєкт затверджено наглядовою радою АТ «Укрзалізниця». Проєкт передбачає будівництво термінального комплексу зі складами, перевантажувальними майданчиками, офісними приміщеннями та іншою інфраструктурою. Площа «Сухого

порту» становитиме 35 га, пропускна спроможність – до 1 млн контейнерів на рік. За даними DP World, середня вага контейнера становить приблизно 7 т. Отже, «Сухий порт» може забезпечити перевезення до 7 млн т вантажів на рік (песимістичний прогноз).

Окрім контейнерів, «Сухий порт» може перевозити насипні (зерно, руда, вугілля), генеральні (машини, обладнання, продукти харчування), небезпечні вантажі (хімічні речовини, нафтопродукти). «Сухий порт» може бути частиною мультимодальних перевезень – залізничне й автомобільне, залізничне й морське тощо.

Очікують, що торгівля з Європою буде зростати, що призведе до збільшення попиту на перевезення (оптимістичний прогноз). Модернізація залізничної інфраструктури в Україні та Європі дасть змогу збільшити пропускну спроможність і зробити перевезення більш ефективними.

Фактори, які можуть впливати на додаткові перевезення: економічна ситуація в країні та світі, політична ситуація, вартість

перевезень, конкуренція з іншими маршрутами.

Маршрути транспортування залізничним транспортом від портів будуть залежати від ряду факторів:

– місцезнаходження порту. Чорноморські порти мають з'єднання з центральними та західними регіонами України, а також країнами Європи;

– вид і характеристики вантажу: різні види вантажів можна перевозити різними маршрутами;

– бюджет: вартість перевезення буде залежати від відстані, типу вагона та інших факторів;

– час доставлення: час у дорозі буде залежати від маршруту, типу поїзда та інших факторів.

Ось деякі з можливих маршрутів транспортування залізничним транспортом до Львова (Скнилів) від портів Чорноморськ, Южний, Азовські (після визволення України від окупації) і Дунайські порти.

«Сухий порт» у Скнилеві буде зв'язаний залізничною лінією з портом у Чорноморську. Це дасть змогу переміщати вантажі між морськими суднами і залізничними вагонами без необхідності перевалки вантажів із судна на судно.

Порт знаходиться на перетині важливих транспортних артерій, що сполучають Східну та Центральну Європу, Азію та Європу, Південь і Північ і ведуть через Індійський океан, Атлантику та Середземне море. Завдяки порту Україною налагоджено міжнародні зв'язки з понад сотнею світових країн. Чорноморський порт знаходиться у 12 милях на південний захід від Одеси на берегах Сухого лиману і належить до найбільших в Україні

Відстань від порту Чорноморський до ст. Скнилів становить близько 1000 км. Маршрут руху залізничного транспорту від порту Чорноморський до ст. Скнилів є прямим, проходить через такі міста, як Чорноморськ, Одеса, Жмеринка, Львів,

Мостиська. Тривалість поїздки становить близько 24 год.

Отже, «Сухий порт» у Скнилеві можна розглядати як логістичний термінал, який розташований всередині країни, але безпосередньо зв'язаний із морським портом. Ось як це може працювати на практиці:

1. Морське судно прибуває в порт у Чорноморську.

2. Вантажі з морського судна перевантажують у залізничні вагони.

3. Сформований вантажний поїзд прямує до «Сухого порту» близько ст. Львів.

4. Вантажі з залізничних вагонів перевантажують на інші залізничні вагони або вантажні автомобілі.

5. Вантажі доставляють до споживачів у Західній Україні.

Цей процес дає змогу уникнути витрат на перевалки вантажів із судна на судно, що може призвести до суттєвого зниження витрат на транспортування вантажів.

Переваги будівництва «Сухого порту» у Скнилеві:

– зменшення витрат на транспортування вантажів;

– підвищення ефективності логістичних процесів;

– створення нових робочих місць;

– розвиток регіональної економіки.

«Сухий порт» у Скнилеві може стати важливим логістичним хабом для заходу України і сприяти його економічному розвитку.

Проведений аналіз основ визначення пропускної спроможності залізничної інфраструктури в межах ринково-орієнтованого підходу підтверджує недосконалість сучасних методів розрахунку пропускної спроможності на залізницях України. Необхідність знання величини пропускної спроможності, більш наближеної до реальних експлуатаційних умов роботи, потребує введення додаткового поняття – практична пропускна спроможність. За таких умов потрібні

дослідження щодо методів розрахунку практичної пропускної спроможності для врахування експлуатаційної надійності системи перевезень [21], зокрема з урахуванням стану колії [22].

Слід зазначити, що остаточний перелік додаткових перевезень буде залежати від попиту на перевезення. Оскільки на сьогодні прогноз перевезень скласти практично неможливо, то в роботі зроблено

спробу розглянути різні сценарії щодо перспективних обсягів перевезень (табл. 2) за формулою

$$G_t = G_0 + \Delta G_t^n, \quad (3)$$

де G_0 – початкове значення, млн т/р.;

ΔG_t – приріст, млн т/р.;

n – показник сценарію.

Таблиця 2

Прогноз обсягів перевезень

Сценарій	G_0	ΔG_t	n
Песимістичний	8	1,0	0,8
Реалістичний	15	1,0	1,0
Оптимістичний	22	1,0	1,2

Відповідно до формули (3) був розрахований на кожний рік вантажопотік (G_t), визначені кількість вантажних поїздів за формулою і провізна спроможність залізничної лінії, млн т/р.:

$$n_t^e = \frac{G_t \cdot \gamma \cdot 10^6}{365 \cdot Q_{nm}}, \quad (4)$$

$$G = \frac{365 \cdot n_{вант} \cdot Q_{nm}}{\gamma \cdot 10^6}, \quad (5)$$

де Q_{nm} – середня маса поїзда нетто, т,

$$Q_{nm} = Q_{yn} \cdot \eta \cdot \mu,$$

де $\eta = 0,70-0,74$ – коефіцієнт, що враховує тару вагонів;

$\mu = 0,80-0,90$ – коефіцієнт, що враховує структуру вантажопотоку;

$\gamma = 1,05-1,15$ – коефіцієнт нерівномірності перевезень;

$n_{вант}$ – кількість вантажних поїздів, пар поїздів за добу,

$$n_{вант} = n_{max} \cdot (1 - p) - E_{нас} \cdot n_{нас} - E_{зб} \cdot n_{зб} + n_{зб}, \quad (6)$$

де p – коефіцієнт резерву пропускної спроможності (0,15-0,20);

$E_{нас}, E_{зб}$ – коефіцієнти знімання пасажирських і збірних поїздів, $E_{нас} = 1,3; E_{зб} = 1,5$;

$n_{нас}, n_{зб}$ – кількість збірних і пасажирських поїздів, $n_t^{нас} = 0,3 \cdot t + 2,5$;

$n_t^{зб} = 0,1 \cdot t + 3,9$.

Коефіцієнти знімання та інші необхідні показники були прийняти відповідно до роботи [20].

Аналіз результатів дослідження. За результатами тягових розрахунків встановлено, що перегони неіdentичні за часом руху (рис. 5), а тому пропускна спроможність за непакетного паралельного

графіка коливається від 40 до 52 пар поїздів/добу.

За результатами розрахунків (формули (1)-(6)) побудовано графік оволодіння перевезеннями (рис. 6).

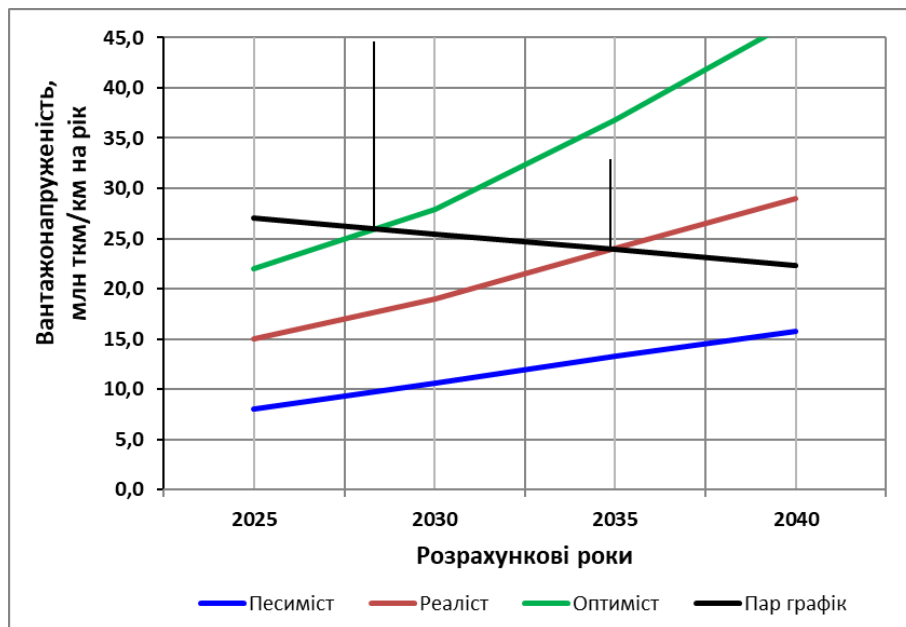


Рис. 6. Графік оволодіння перевезеннями за паралельного графіка руху поїздів

З графіка випливає, що за песимістичного прогнозу одноколіїні залізниці на напрямку Львів (Скнилів) – Мостиська забезпечують потрібні обсяги перевезень 15 млн т на 2040 рік; реалістичного прогнозу забезпечені перевезення до 2035 року, оптимістичного прогнозу – до 2027 року.

У випадку прогнозних обсягів за оптимістичним чи реалістичним сценаріями можна запропонувати організацію перевезень за частково-пакетним графіком (рис. 7).

За такої організації перевезень будуть забезпечені потрібні обсяги перевезень (реалістичний прогноз – до 2038 року, оптимістичний прогноз – до 2031 року).

Висновки. Напрямок Мостиська – Львів (Скнилів) перетворюється на дві одноколіїні ділянки 1520 і 1435 мм.

Пропускна спроможність знижується в тричотири рази порівняно з двоколіїним напрямком.

Проведені розрахунки й отримані результати за математичною моделлю, що враховує графік оволодіння перевезеннями, показали, що за песимістичного прогнозу обсягів перевезень до 2040 року одноколіїні залізниці на напрямку Львів (Скнилів) – Мостиська забезпечують потрібні обсяги перевезень 15 млн т на 2040 рік, за реалістичного прогнозу забезпечують перевезення до 2035 року, за оптимістичного – до 2027 року.

У випадку необхідності збільшення провізної спроможності може бути рекомендована організація руху поїздів за частково-пакетним графіком. За такої організації перевезень будуть забезпечені потрібні обсяги перевезень (реалістичний

прогноз – до 2038 року, оптимістичний – до 2031 року).

Перехід із двоколіїної ділянки Мостиська – Львів (Скнилів) на дві одноколіїні 1520 і 1435 мм має переваги і недоліки. Переваги такого рішення: економія коштів (не потрібно перебудовувати одну з колій; збереження з'єднання з країнами, які використовують колію 1520 мм; можливість організувати рух

поїздів із різною шириною колії. Недоліки: ускладнення експлуатації, оскільки потрібно мати рухомий склад і інфраструктуру під колію 1520 і 1435 мм; зниження пропускної спроможності; незручності для пасажирів при пересадці з однієї колії на іншу. Доцільність такого рішення буде залежати від конкретних умов і завдань, прогнозних обсягів перевезень.

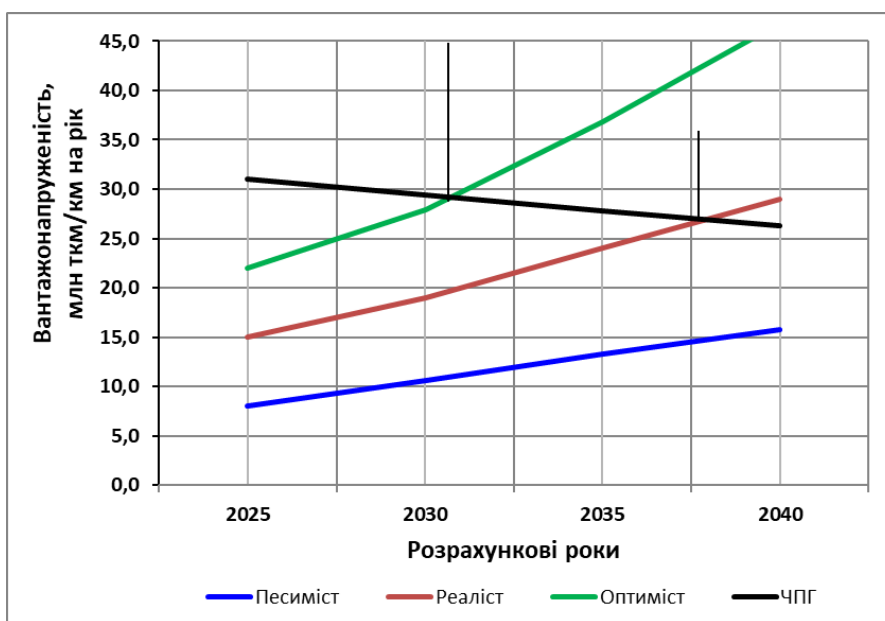


Рис. 7. Графік оволодіння перевезеннями за частково-пакетного графіка руху поїздів

Подяка

Дослідження, результати яких викладені в цій статті, проводили за підтримки гранта Національного фонду досліджень України під час реалізації проекту «Наукове обґрунтування впровадження європейської колії на території України в повоєнний період» (реєстраційний номер проекту 2022.01/0021), який було отримано в рамках конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

Список використаних джерел

1. Євросоюз розробив стратегію переходу України на євроколію: карта. URL: <https://biz.liga.net/ua/all/transport/novosti/evrosoyuz-razrabotal-strategiyu-perehoda-ukrainy-na-evroputi-karta> (дата звернення 02.10.2024).
2. На Львівщині збудують залізничну колію за європейським стандартом. URL: <https://forpost.lviv.ua/novyny/43414-na-lvivshchyni-zbuduiut-zaliznychnu-koliiu-za-ievropeiskym-standartom> (дата звернення 02.10.2024).

3. Польський СРК та «Укрзалізниця» спільно працюватимуть над будівництвом високошвидкісної залізниці. URL: https://cfts.org.ua/news/2023/01/19/polskiy_cpk_ta_ukrzalznitsya_spilno_pratsyuvatimut_nad_budivnitstvo_visokoshvidkisno_zalznitsi_73421 (дата звернення 02.10.2024).
4. Pouryousef H., Lautala P., White T. Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe. *J. Mod. Transport*. 2015. Vol. 23(1). P. 30-42. URL: <https://doi.org/10.1007/s40534-015-0069-z>.
5. Bulíček J., Nachtigall P., Široký J., Tischer E. Improving single-track railway line capacity using extended station switch point area *Journal of Rail Transport. Planning & Management*. 2022. Vol. 24. 100354. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2022.100354>.
6. Široký J., Nachtigall P., Gašparík J., Čáp J. Calculation Model of Railway Capacity Price in the Czech Republic. *Promet-Traffic & Transportation*. 2021. Vol. 33(1). P. 91-102. URL: <https://doi.org/10.7307/ptt.v33i1.3544>.
7. Shih M.-C., Dick C. T., Sogin S. L., Barkan C. P. L. Comparison of Capacity Expansion Strategies for Single-Track Railway Lines with Sparse Sidings. *Transportation Research Record*. 2014. Vol. 2448. P. 53–61. URL: <https://doi.org/10.3141/2448-07>.
8. Kinfe S. Capacity estimation of new single track stations : Master thesis November 2012 Division of Transportation and Logistics KTH Railway Group. : Stockholm, Sweden. 2012. 78 p. URL: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.491061.1550157598!/X12_036_report.pdf (дата звернення 02.10.2024).
9. Sogin S. L., Lai Y-C (Rex), Dick C. T. Barkan C. P. Analyzing the transition from single- to double-track railway lines with nonlinear regression analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2016. Vol. 230(8). P. 1877-1889. URL: <https://doi.org/10.1177/0954409715616998>.
10. D'Acierno L., Napolitano M., De Matteis L., D'Avino M., D'Avanzo S., Botte M. The Adoption of the HD-ERTMS for Improving the Capacity of Single-Track Railway Lines. 2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Madrid, Spain. 2023. P. 1-4. URL: <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope57605.2023.10194602>.
11. Bulková Z., Gašparík J., Mašek J., Zitrický V. Analytical Procedures for the Evaluation of Infrastructural Measures for Increasing the Capacity of Railway Lines. *Sustainability*. 2022. Vol. 14(21). 14430. URL: <https://doi.org/10.3390/su142114430>.
12. Line capacity and train capacity for future rail freight corridors. KTH, Stockholm, 2017. 75 p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1651030/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення 02.10.2024).
13. Ricci S., Eupták V., Chovancová M. Baseline Model to Increase Railway Infrastructure Capacity on a Single-Track Section: a Case Study. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*. 2017. Vol. 8(2). P. 69-80. URL: <https://doi.org/10.1515/logi-2017-0018> (дата звернення 02.10.2024).
14. Козаченко Д. М., Папахов О. Ю., Логвінова Н. О. Пропускна та провізна спроможність залізниць: навч. посіб. для студ. ВНЗ. Дніпро: Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. 108 с.
15. Козаченко Д. М., Малашкін В. В., Березовий О. Л., Іскра О. Л. Дослідження пропускну та провізної спроможності залізничної інфраструктури гірничо-збагачувального комбінату в умовах збільшення обсягів перевезення сировини. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2020. Вип. 20. С. 86-93.

16. Березовий М. І., Шепета, А. М., Малашкін, В. В. Теоретичні основи визначення пропускної здатності одноколіїних ділянок. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2015. № (8). С. 13–19. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2014/38078>.
17. Курган М. Б., Хмелевська Н. П., Байдак С. Ю. Дослідження ефективності електрифікації одноколіїних залізниць для підвищення пропускної спроможності. *Електрифікація транспорту*. 2015. № 9. С. 44-49. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eltr_2015_9_8.
18. Курган М. Б., Курган Д. М. Науково-технічне забезпечення залізничного сполучення Україна – Євросоюз : монографія. Дніпро: Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна; Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2018. 268 с.
19. ДБН В.2.3-019:2018. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. Київ: Мінрегіонбуд, 2008. 126 с
20. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036: затв. наказом Укрзалізничці від 14 березня 2001 р. № 143/Ц. Київ: Мін-во трансп. та зв'язку України, 2002. 376 с.
21. Прохорченко А. В. Проблеми розрахунку пропускної спроможності залізничної інфраструктури в умовах ринкових відносин. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. № 4. С. 36-41.
22. Потапов Д. О., Вітольберг В. Г., Чесак С. С. Аналітичний огляд сучасних методів оцінювання стану залізничної колії. *Збірник наукових праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2024. Вип. 207. С. 76-89. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.207.2024.301999>.

Курган Микола Борисович, доктор технічних наук, професор кафедри транспортної інфраструктури, Український державний університет науки і технологій. ORCID iD: 0000-0002-8182-7709. Тел.: +38 (056) 373-15-48. E-mail: m.b.kurhan@ust.edu.ua.

Курган Дмитро Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри транспортної інфраструктури, Український державний університет науки і технологій. ORCID iD: 0000-0002-9448-5269. Тел.: +38 (056) 373-15-42. E-mail: d.m.kurhan@ust.edu.ua.

Байдак Сергій Юрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортної інфраструктури, Український державний університет науки і технологій. ORCID iD: 0000-0002-7909-8527. Тел.: +38 (056) 373-15-48. E-mail: s.y.baidak@ust.edu.ua.

Новік Руслан Борисович, старший викладач кафедри військової підготовки спеціалістів Держспецтрансслужби, Український державний університет науки і технологій. ORCID iD: 0000-0002-2571-6641. Тел.: +38 (056) 373-15-48. E-mail: r.b.novik@ust.edu.ua.

Хмелевська Неля Петрівна, аспірантка кафедри транспортної інфраструктури, Український державний університет науки і технологій. ORCID iD: 0000-0002-2360-8671. Тел.: +38 (056) 373-15-48. E-mail: n.p.hmelevska@ust.edu.ua.

Kurhan Mykola, Dr. Sc. (Tech.), full professor, Department Transport Infrastructure, Ukrainian State University of Science and Technologies. ORCID iD: 0000-0002-8182-7709. Tel.: +38 (056) 373-15-48. E-mail: m.b.kurhan@ust.edu.ua.

Kurhan Dmytro, Dr. Sc. (Tech.), full professor, Department Transport Infrastructure, Ukrainian State University of Science and Technologies. ORCID iD: 0000-0002-9448-5269. E-mail: d.m.kurhan@ust.edu.ua.

Baidak Serhii, PhD (Tech). Associate Professor, Department Transport Infrastructure, Ukrainian State University of Science and Technologies. ORCID iD: 0000-0002-7909-8527. E-mail: s.y.baidak@ust.edu.ua.

Novik Ruslan, Senior Lecturer, Department of Military Training of Specialists of the State Special Transport Service, Ukrainian State University of Science and Technologies. ORCID iD: 0000-0002-2571-6641. E-mail: r.b.novik@ust.edu.ua.

Khmelevska Nela, postgraduate student, Department Transport Infrastructure, Ukrainian State University of Science and Technologies. ORCID iD: 0000-0002-2360-8671. E-mail: n.p.hmelevska@ust.edu.ua.

Статтю отримано 04.10.2024 р.