

УДК 656.222.4-048.43:656.2.07-045.52

А. В. ПРОХОРЧЕНКО^{1*}, Д. Р. ХАРЧЕНКО^{2*}, М. А. КРАВЧЕНКО^{3*}, А. М. КИМАН^{4*}

1* Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, Україна, тел. +380577301088, ел. пошта prokhorchenko@kart.edu.ua, ORCID 0000-0003-3123-5024

2* Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, Україна, тел. +380965053057, ел. пошта harchenko95@kart.edu.ua, ORCID 0009-0006-0065-6781

3* Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, Україна, тел. +380577301088, ел. пошта kravchenko.ma@kart.edu.ua, ORCID 0000-0001-7445-8952

4* Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, Україна, тел. +380577301075, ел. пошта kuman.am@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-4000-3287

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАВИЛ ПРІОРИТЕТНОСТІ ПРИ РОЗПОДІЛІ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Метою дослідження є формування вимог до механізму пропускної спроможності для АТ «Укрзалізниця» шляхом використання та адаптації критеріїв пріоритетності, які використовуються при розподілі пропускної спроможності в умовах відкритої конкуренції за залізничну інфраструктуру у країнах ЄС. **Методика.** Дослідження виконано на основі аналізу чинного нормативно-правового забезпечення країн ЄС. **Результати.** За результатами дослідження нормативно-правового забезпечення в Україні виявлено відсутність вимог щодо порядку розподілу пропускної спроможності та узгодження ниток графіка руху у випадку наявності конфлікту між перевізниками. Аналіз законодавства ЄС показав, що одним із критеріїв пріоритетності є показник пріоритету К, який використовується під час узгодження рівнозначних заявок від перевізників. Моделювання розподілу пропускної спроможності з використанням пріоритету К виявило відсутність повної нейтральності до всіх перевізників та потребує подальшого удосконалення. У розглянутому прикладі перевізник В, який має меншу довжину нитки (556 км), але значно більшу кількість діб курсування (182 доби), отримав перевагу за критерієм пріоритетності у 3,6 разів порівняно з перевізником А з довшою ниткою (616 км), але меншою тривалістю роботи (46 діб). Отримані результати свідчать про ключову роль інтенсивності використання інфраструктури у визначенні пріоритету доступу. **Наукова новизна.** Вперше змодельовані ситуації конфлікту між двома залізничними перевізниками які є антагоністами на перевантаженій дільниці з використанням критерію пріоритету К, відповідно до регламенту ЄС 2024/1679 [15] в умовах функціонування залізничної системи України. **Практична значимість.** Результати досліджень дозволяють сформулювати вимоги до національного механізму розподілу пропускної спроможності залізничної інфраструктури та здатні забезпечувати поетапний розподіл пропускної спроможності із застосуванням регламентованих критеріїв пріоритетності та прийняття недискримінаційних рішень. **Висновки.** За результатами проведеного дослідження сформульовані ключові вимоги до механізму розподілу пропускної спроможності, який буде впроваджений на мережі залізниць України. За допомогою проведеного сценарного аналізу виявлено, що критерій пріоритету К є високочутливим до тривалості використання нитки графіка руху і не забезпечує повну нейтральність для кожного перевізника під час узгодження ниток графіка руху. В умовах функціонування залізничного транспорту України та впровадження механізму розподілу пропускної спроможності, показник К потребує подальшої роботи з його удосконалення.

Ключові слова: залізничний транспорт, дерегуляція, механізм розподілу, пропускна спроможність, поїздопотік, пріоритетність, конфлікт.

Вступ

Реформування залізничного транспорту України, зумовлене зобов'язаннями за Угодою про асоціацію з Європейським Союзом [1], передбачає лібералізацію ринку перевезень, запровадження відкритого доступу до інфраструктури (англ., open access) та розмежування функцій управління інфраструктурою і надання транспортних послуг (модель вертикального розділення).

В результаті таких змін в інституційну архітектуру залізничної системи впроваджується нова модель взаємодії між оператором інфраструктури (Infrastructure Manager, IM) та залізничними перевізниками (Railway Undertaking, RU). Це, у свою чергу, висуває нові вимоги до організації руху поїздопотоків, зокрема до механізму розподілу пропускної спроможності та визначення пріоритетів руху поїздопотоків.

В умовах функціонування декількох незалежних перевізників на спільній інфраструктурі виникає об'єктивна потреба у розробці формалізованих правил пріоритетності, які дозволяють ефективно вирішувати конфліктні ситуації при одночасному запиті на використання однакових ресурсів залізничної інфраструктури. Це особливо актуально в умовах обмеженої пропускної спроможності, зношеної чи перевантаженої інфраструктури та зростаючих обсягів перевезень. Наявність чітких, прозорих і недискримінаційних правил пріоритетності є передумовою забезпечення справедливості доступу до інфраструктури та досягнення балансу інтересів між учасниками ринку.

Основною метою цього дослідження є формування підходів до визначення пріоритетності руху поїздопотоків в межах механізму розподілу пропускної спроможності у залізничній системі з урахуванням європейських залізничних Директив та Регламентів [12, 15, 18], принципів справедливості доступу, а також специфіки функціонування української залізничної системи. Для досягнення цієї мети передбачено аналіз нормативно-правової бази ЄС, вивчення практичного досвіду країн із розвинутими моделями розподілу пропускної спроможності залізничної інфраструктури, а також моделювання типових конфліктних ситуацій із метою розробки критеріїв прийняття рішень щодо пріоритетності для виходу з конфлікту.

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є формування вимог до процедури розподілу пропускної спроможності залізничної інфраструктури в Україні. Досягнення сформованої мети потребує у вирішенні наступних завдань дослідження: проведення дослідження нормативно-правового забезпечення умов функціонування залізничної системи України та ЄС; на основі проведеного аналізу сформулювати фундаментальні вимоги до законопроекту, який спрямований на регламентацію процесу розподілу пропускної спроможності в Україні; проведення сценарного аналізу критерію пріоритету К на предмет нейтральності для кожного залізничного перевізника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню розподілу пропускної спроможності в умовах функціонування ринку дерегульованого ринку перевезень розглядалися різними вченими в Україні та закордоном. Зокрема робота [3] присвячена питанню виникнення конф-

ліктів та їх регуляції під час розподілу пропускної спроможності у різних країнах ЄС. Авторами наводиться огляд функціонування після дерегуляції ринку перевезень та проводиться аналіз особливостей їх роботи, зокрема механізму розподілу пропускної спроможності у країнах з розвинутою залізничною інфраструктурою. Однак у статті поверхнево досліджується процес узгодження конфліктної нитки графіка руху, а також критерії, які застосовуються при цьому.

У статтях [4, 5] проводиться аналіз виникнення, структури та функціонування дерегульованого ринку перевезень та механізму розподілу пропускної спроможності на залізничній мережі Європейського Союзу. У роботі [4] окрема увага приділяється умовам функціонування ринку залізничних перевезень Швеції, яка першою провела реформи з дерегуляції залізничного ринку. На основі проведеного аналізу автор зазначає про наявність низки проблем, які пов'язані з прозорістю та ефективністю розподілу пропускної спроможності у країнах ЄС. За результатами проведеного аналізу існуючих процесів розподілу пропускної спроможності у [5] автори зазначають про недосконалість існуючих методів та вони потребують подальшого удосконалення.

У статті [6] досліджувались умови функціонування та правове регулювання правил пріоритетності, які використовуються на перевантажених залізничних ділянках. Авторами було проаналізовані підходи до визначення правил пріоритетності у країнах ЄС та Америки з подальшим аналізом показника пунктуальності руху пасажирських поїздів від вантажообігу та пасажирообігу залізничних систем. Результати дослідження показали неефективність існуючих правил пріоритетності та відсутність балансу між надання пріоритету пасажирським та вантажним поїздам. Однак у даній статті не було досліджене питання розподілу пропускної спроможності під час планування щорічного графіку руху.

У [7] аналізуються практичні методи розподілу пропускної спроможності та їх переваги та недоліки. Авторами було визначено три основних групи методів розподілу, які використовуються на практиці (адміністративний, на основі аналізу витрат на нагород та на основі готовності платити). Однак у статті недостатня увага уділяється нормативно-правовому регулюванню розподілу пропускної спроможності.

Комплексним дослідженням процесу реформації залізничної системи за європейськими принципами функціонування є книга [1]. У книзі

детально описуються основи функціонування залізничної системи за вертикальним розділенням, нормативно-правові акти ЄС, які регламентують діяльність залізничних перевезень, умови функціонування залізничного ринку перевезень на національному рівні країн-учасниць ЄС та під час міжнародних залізничних перевезень, а також окремо увагу приділено процесу тарифікації перевезень.

Паралельно з аналітичними дослідженнями, вченими проводилась робота з підвищення ефективності розподілу пропускної спроможності на основі впровадження математичних моделей, які застосовувались під час прийняття рішень щодо розподілу пропускної спроможності. Зокрема у статті [8] визначені критерії пріоритетності під час надання ниток графіка руху поїздів в умовах функціонування залізничного транспорту України. Авторами запропоновано формування механізму розподілу на основі використання нейромережі ANFIS. Однак у статті не підіймалось питання узгодження нитки графіка руху в умовах конфлікту між двома рівнозначними заявками.

Стаття [9] присвячена визначенні черговості відправлення вантажних поїздів зі залізничної станції. Автором запропоновано використання цільової функції на основі показника обігу вантажного вагону для визначення пріоритетності у відправленні поїздів зі залізничної станції. Однак використання запропонованої функції робить її застосування можливим лише у випадку розподілу пропускної спроможності для вантажних поїздів в оперативному порядку, що унеможливорює використання її під час щорічного планування графіку руху.

Результати дослідження

Сучасне тлумачення терміну «розподіл пропускної спроможності» (англ. capacity allocation) визначає процес розподілу інфраструктурних активів (колій) залізничної мережі оператором залізничної інфраструктури між перевізниками. В умовах функціонування залізничного транспорту України засади процесу розподілу пропускної спроможності та умов функціонування залізничної мережі були встановлені ще у часи існування 60-80 роках минулого століття. Законом України «Про залізничний транспорт» [10] встановлено, що управління інфраструктурою, процесами перевезень та формування тарифів на перевезення здійснюється централізовано та виключно державною монополією АТ «Укрзалізниця». Крім того, сучасна редакція Закону Укра-

їни «Про залізничний транспорт» не містить положень про впровадження недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури тягового рухомого складу приватних перевізників, а також про процес розподілу пропускної спроможності (формування графіку руху поїздів). Відсутність положень щодо доступу приватних перевізників до залізничної інфраструктури призвело до фактичного одноосібного (монопольного) здійснення послуг з перевезення з боку Укрзалізниці на коліях загального користування, а відсутність положень щодо функціонування механізму розподілу пропускної спроможності створює передумови до дискримінаційних рішень: надання преференцій окремим вантажовідправникам (груп вагонів) або визначення маршруту перевезень, який є завідомо неприйнятним для вантажовідправника під час розробки плану формування поїздів (ПФП). Крім того, фактична відсутність конкуренції на ринку надання послуг з перевезення залізницею, створюють передумови до формування непрозорого, необґрунтованого та незбалансованого тарифу на перевезення вантажів. Як наслідок, відсутність конкуренції на ринку перевезень призводить до різкого зменшення ефективності та якості перевезень на залізничному транспорті.

Тому, з метою підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту України та імплементації нормативно-правових актів ЄС щодо діяльності залізничного транспорту в умовах залізничної мережі України, 21 жовтня 2024 року у парламенті був зареєстрований проєкт Закону України №12142 [11], «Про систему та особливості функціонування ринку залізничного транспорту України» який розпочинає процес реформування залізничного транспорту України у відповідності до стандартів ЄС та створює передумови до формування відкритого ринку послуг з перевезення пасажирів і вантажів на залізниці.

Даний законопроект впроваджує основні засади функціонування залізничного транспорту України за моделлю відкритого доступу, закріплює на законодавчому рівні необхідність у проведенні реформування організаційної структури національного монопольного залізничного перевізника АТ «Укрзалізниця», відокремлення експлуатації інфраструктури від безпосереднього надання послуг з перевезення та відкриття доступу до мережі залізниць України приватним перевізникам. Однак, у законопроекті відсутні положення, що регламентують процес розподілу пропускної спроможності залізничної інфраструктури між перевізниками. Регламентація

роботи механізму розподілу пропускної спроможності є особливо важливою у контексті ефективного функціонування концепції відкритого

ринку перевезень на залізничному транспорті (рис. 1).

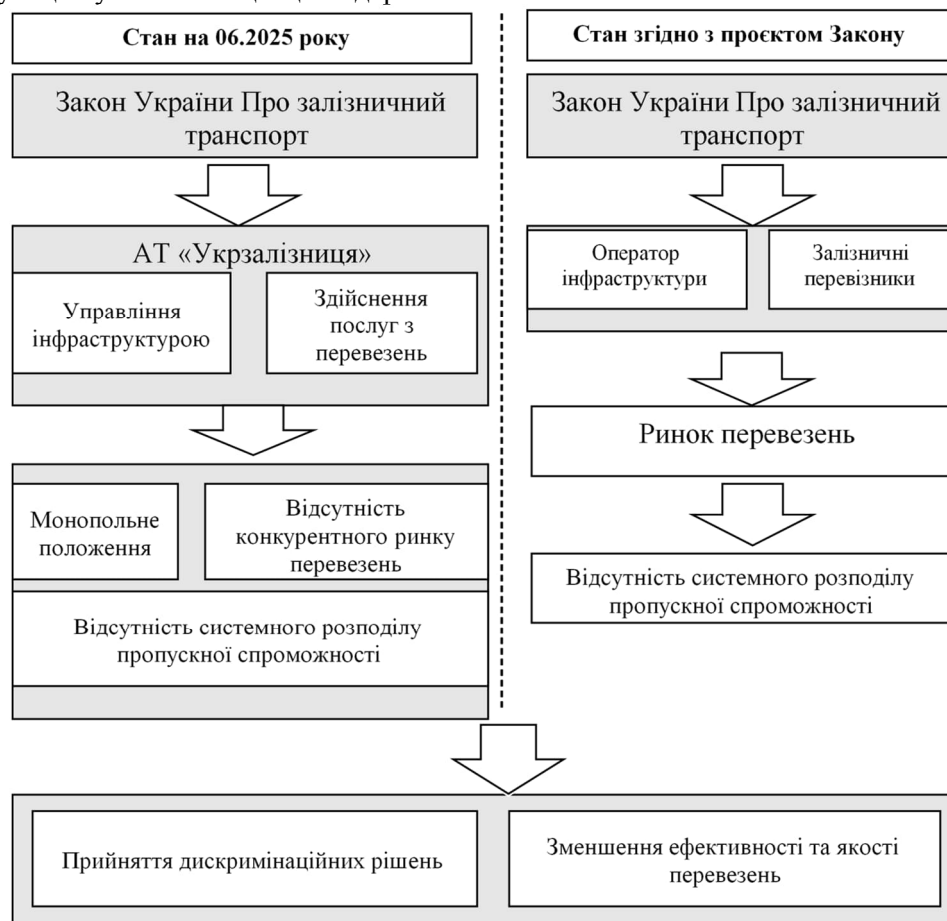


Рис. 1. Умови функціонування залізничного транспорту України у сучасному стані та згідно з проєктом Закону «Про систему та особливості функціонування ринку залізничного транспорту України» [10]

Одним зі способів формування ефективного механізму розподілу пропускної спроможності є дослідження та впровадження в роботу нормативно-правового забезпечення та практичних підходів, що застосовуються під час розподілу пропускної спроможності у залізничних системах ЄС з розвинутою інфраструктурою. Основні вимоги до розподілу пропускної спроможності встановлені у Директиві ЄС 2012/34/EU [12]. У відповідності до Директиви, на оператора інфраструктури покладається виключне право на розподіл існуючої пропускної спроможності та стягування зборів за її використання. Умови та критерії розподілу пропускної спроможності встановлюються країнами-учасниками ЄС самостійно, однак вони повинні забезпечувати справедливий і недискримінаційний розподіл пропускної спроможності серед всіх зацікавлених стейкхолдерів.

У випадку наявності суперечливої нитки графіка руху, кожен національний оператор інфра-

структури повинен ініціювати процес узгодження конфлікту за неї на етапі уточнення запитів (не пізніше 8 місяців до моменту вводу графіка руху в дію) [13]. Початок процесу узгодження заявок на пропуску спроможність (англ. Dispute Resolution Process) відбувається шляхом координації запитів серед всіх перевізників. Узгодження конфліктів повинно відбуватися на основі принципової схеми, яка розробляється оператором інфраструктури самостійно у відповідності до національного законодавства країни, з подальшим обов'язковим викладанням її до Положення про мережу (англ. Network Statement).

Ілюстрацією впровадження комплексного механізму розподілу пропускної спроможності в межах національної залізничної мережі у ЄС є Німеччина. Організаційна структура залізничної галузі в Німеччині має частково-вертикальний поділ, де керування інфраструктурою здійснює оператор інфраструктури DB InfraGO AG (до 27 грудня 2023 р. - DB Netz AG), який входить до

складу національної компанії Deutsche Bahn AG. У відповідності до Директиви ЄС ЄС 2012/34/EU та Законом про регулювання залізниць (нім. Eisenbahnregulierungsgesetz) [13], на DB InfraGO AG покладається право щодо прийняття рішень які стосуються розподілу наявних інфраструктурних ресурсів між залізничними перевізниками та подальше стягнення плати за її користування.

Механізм розподілу пропускну спроможності регламентується у національному Законі [13] та Network Statement оператора інфраструктури [14]. У випадку виникнення конфлікту Законом встановлено, що IM DB InfraGO AG повинен розкривати інформацію про нитки графіка руху для заявників з метою пошуку альтернативних маршрутів або часових періодів відправлення. Інформація, що надається перевізникам, повинна містити дані про запитувані залізничні маршрути, а також про існуючі альтернативні маршрути і повну та вичерпну інформацію про критерії, які використовуються під час розподілення залізничної інфраструктури. Після надання всієї необхідної інформації, DB InfraGO AG повинен розпочати процес узгодження попередньо організованих ниток графіка руху (англ. Pre-arranged Paths, PaP) та запропонувати рішення вирішення конфлікту дотримуючись принципу недискримінаційності до кожного учаснику конфлікту.

Якщо процес консультації не призводить до згоди між учасниками конфлікту, IM розпочинає наступний етап узгодження конфліктуючих ниток в графіку руху. На цьому етапі в цілому процес узгодження конфліктуючих ниток в графіку руху можливо розділити на два варіанти: без укладання рамкової угоди та з її укладанням. Для узгодження заявок від перевізників, що здійснюють нерегулярні перевезення (без укладання рамкової угоди) механізму узгодження конфліктів відбувається за наступними правилами пріоритетності:

Першочерговий пріоритет на пропускну спроможність мають регулярні інтервальні перевезення (критерій частоти) або інтегровані залізничні послуги (англ. Integrated Transport Service). Регулярність перевезень визначається критерієм, який встановлює частоту відправлень поїздів (мінімум 4 раз за добу) та мають послідовний інтервал між двома поїздами не більше 120 хвилин. Додатковою умовою для забезпечення достатньої якості перевезень, а також стабільності розробленого PaP-нитки, є перевірка можливості дотримання перевізником запропо-

нованого розкладу для поїзду в межах допустимих часових проміжків. Слід зауважити, що регулярність перевезень враховується лише на залізничних ділянках з наявним конфліктом за нитку графіка (станції відправлення та призначення суперечливих заявок на пропускну спроможність повинні співпадати).

Інтегрованість залізничних послуг визначається шляхом дотримання відповідності критеріям інтегрованості для кожної категорії поїзду. Для пасажирських перевізників, які запитують нитку графіка руху, повинна дотримуватись умова можливості пересаджування пасажирів з одного поїзда на інший, при цьому часовий інтервал між прибуттям одного поїзду та відправлення іншого повинен не перевищувати 30 хвилин. У випадку курсування пасажирського поїзду за моделлю «оборотного циклу» (англ. turnaround cycle), тобто здійснення двох маршрутів «туди та назад» одним і тим же рухомим складом (без зміни схеми поїзду), необхідне обов'язкове дотримання інтервалу між часом прибуття та відправлення у зворотному напрямку з кінцевої (оборотної) станції, який повинен не перевищувати 60 хвилин.

В сегменті вантажних перевезень до інтегрованих залізничних перевезень відносяться запити від перевізників, які передбачають наявність не менш двох зупинок на шляху прямування вантажного поїзду для причеплення (або відчеплення) не менше 8 вагонів або поданий запит на пропускну спроможність передбачає курсування вантажного поїзду за моделлю оборотного циклу (час між прибуттям та відправленням повинен не перевищувати 480 хвилин). У випадку здійснення комбінованих вантажних перевезень в межах контейнерного залізничного терміналу, інтервал між прибуттям та відправленням зменшується до 240 хвилин.

Другий пріоритет надається заявкам, які забезпечують перевезення в міжнародному сполученні. У випадку здійснення міжнародних перевезень коридорами, які входять в склад функціонування Транс'європейської транспортної мережі (англ. Trans-European Transport Network, TEN-T) розподіл пропускну спроможності відбувається за особливими правилами. Процес розподілу регламентується Регламентом ЄС 2024/1679 [15], а також Інформацією про коридор (англ. Corridor Information Document, CID) [16], який регламентує роботу кожного міжнародного вантажного коридору. Координація розподілу пропускну спроможності в рамках TEN-T передбачає взаємодію між національними IM та єдиним координаційним центром

(C-OSS). У випадку наявності конфліктних запитів C-OSS разом з національним ІМ повинен розпочати процес узгодження, шляхом консультації між оператором інфраструктури та перевізниками за умови відсутності можливості прокладання альтернативного маршруту. Процес узгодження можливий лише у випадку наявності конфлікту лише в умовах функціонування одного міжнародного коридору. У випадку неможливості узгодження ниток графіка руху шляхом консультацій, оператор інфраструктури використовує правила пріоритету з застосуванням «показника пріоритету» K , який визначає значення пріоритету заявки. Визначення даного критерію відбувається у декількох етапах [1, 17]:

На першому етапі показник пріоритету K визначається шляхом помноження загальної запитаної довжини попередньо організованої нитки графіка руху (L^{PaP}) на загальну кількість запи-

туваних робочих днів (періодичність курсування, Y^{RD}) для кожного конфлікту. У випадку неможливості узгодження нитки графіка на цьому етапі, на другому етапі додатково обчислюється запитана загальна довжина повних маршрутів, що запитана в рамках курсування вантажними коридорами ($L^{F/O}$):

$$K = (L^{PaP} + L^{F/O})Y_{RD} \quad (1)$$

У випадках, коли узгодити РаР-нитку через міжнародний коридор неможливо за допомогою зазначених критеріїв пріоритетності, оператор інфраструктури застосовує випадковий вибір [14].

Третій пріоритет надається маршрутам для внутрішніх вантажних перевезень.

Якщо були подані рівнозначні заявки, оператором інфраструктури додатково використовується перелік критеріїв для узгодження нитки графіка руху між залізничними перевізниками у відповідності до рис. 2.

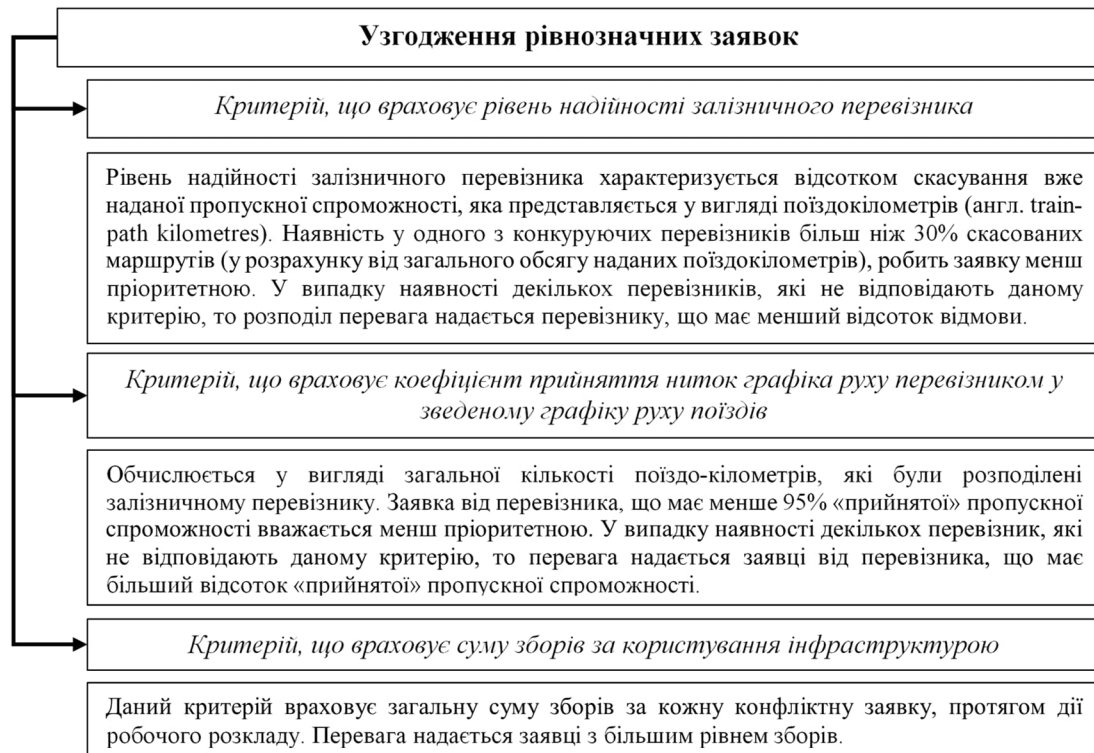


Рис 2. Критерії для узгодження рівнозначних заявок

У випадку неможливості узгодження РаР-нитки за допомогою зазначених вище критеріїв пріоритетності, оператор інфраструктури проводить аукціон між залізничними перевізниками, що подали заявки. Залізничні перевізники, протягом 5 днів, мають подати свої пропозиції щодо плати за нитку графіка руху. РаР-нитка надається перевізникові, який запропонував найвищу плату за її користування.

Укладання рамкової угоди (англ. Framework Agreement) між оператором інфраструктури та залізничним перевізником у відповідності до вимог Директиви ЄС 2001/14/EU [18] регламентує права та обов'язки ІМ та залізничного перевізника щодо розподілення пропускнуої спроможності [2]. У рамковій угоді зазначаються характеристики наданої пропускнуої спроможності

(часові інтервали відправлення, полігон курсування тощо). Укладання рамкової угоди зобов'язує ІМ у пошуку альтернативних маршрутів які відповідають характеристикам пропускної спроможності, що гарантуються угодою. Заявки від перевізників з укладеною рамковою угодою мають більший пріоритет, ніж заявки, які здійснюють нерегулярні перевезення.

Слід зауважити, що у випадку конфлікту між заявками, що забезпечують місцеві залізничні пасажирські перевезення та іншими типами перевезень, оператор інфраструктури може надати пріоритет пасажирським перевезенням незалежності від рівня пріоритету заявки. Узагальнена схема узгодження ниток графіка руху наведена на рис. 3.

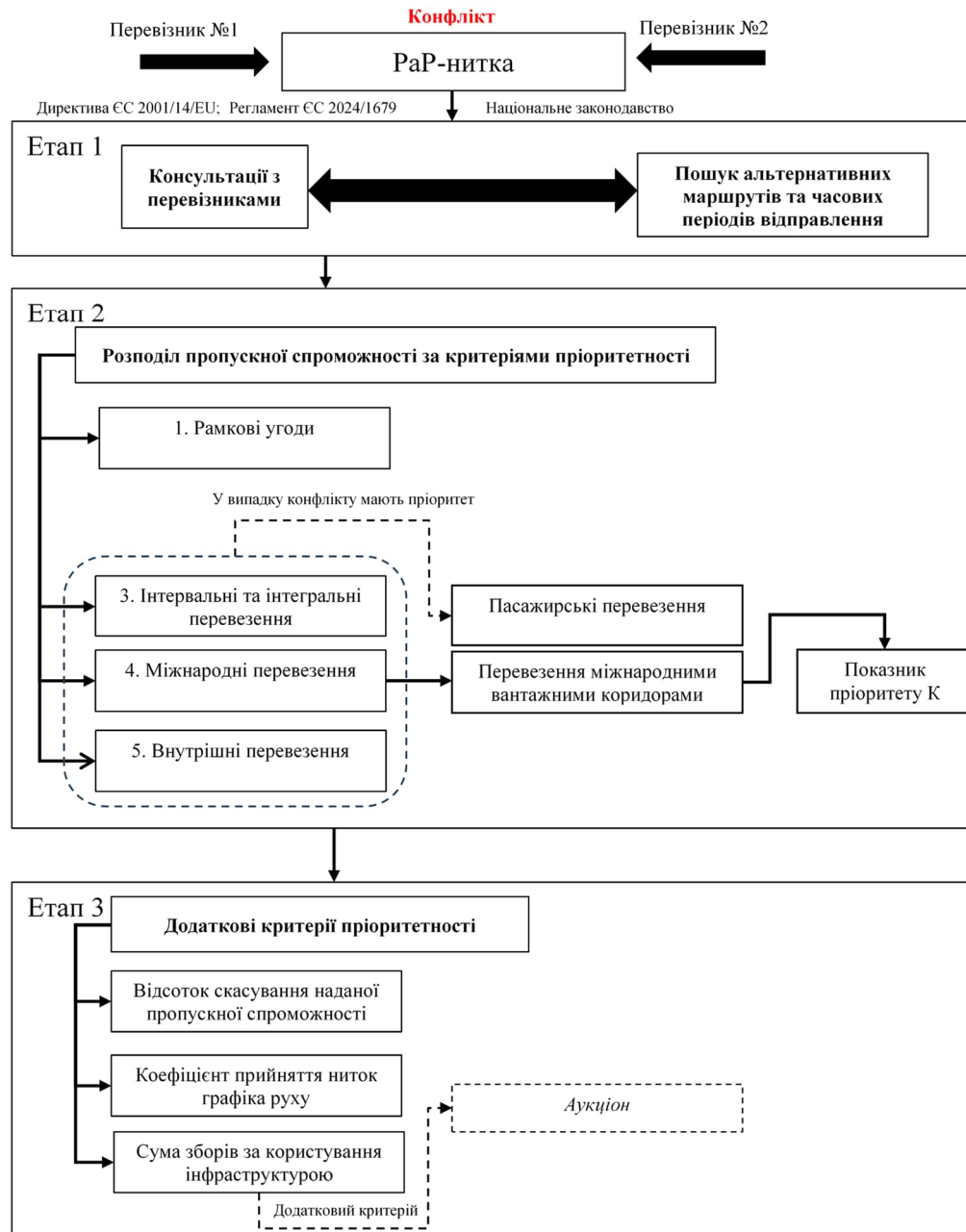


Рис. 3. Схема ієрархічна пріоритетності поїздопотоків в межах механізму розподілу пропускної спроможності на залізничній мережі оператора інфраструктури

Крім реалізації функції вирішення конфліктів, механізм розподілу пропускної спроможності повинен враховувати особливості функціонування перевантажених залізничних дільниць. Сучасне тлумачення поняття перевантаженої інфраструктури (англ. congested infrastructure)

означає залізничний полігон, де попит на пропускну спроможність не може бути задовільним оператором інфраструктури протягом певного часового періоду, навіть після узгодження ниток графіка руху [18]. У випадку оголошення дільниці перевантаженою, оператор інфраструктури

використовує додаткові правила пріоритетності для управління рухом на перевантаженій інфраструктурі.

У відповідності до національного законодавства [13], у Німеччині під час управління рухом на перевантаженій дільниці, оператор інфраструктури може надавати пріоритет соціальним перевезенням з метою забезпечення у безперебійному перевезенні пасажирів за допомогою залізничного транспорту.

В контексті залізничного транспорту України процес управління рухом на перевантажених дільницях регулюється централізовано з боку держави та викладені у правилах технічної ек-

плуатації залізничного транспорту. Чинні правила пріоритетності мають соціальну орієнтованість та надають перевагу пасажирським поїздам [6].

Враховуючи проведений вище аналіз нормативно-правового забезпечення та практичних підходів до розподілу пропускної спроможності, для побудови в Україні ефективного механізму розподілу пропускної спроможності та вирішення конфліктів, у законопроекті «Про систему та особливості функціонування ринку залізничного транспорту України» [11] повинні обов'язково закріплені положення, що наведені на рис. 4.

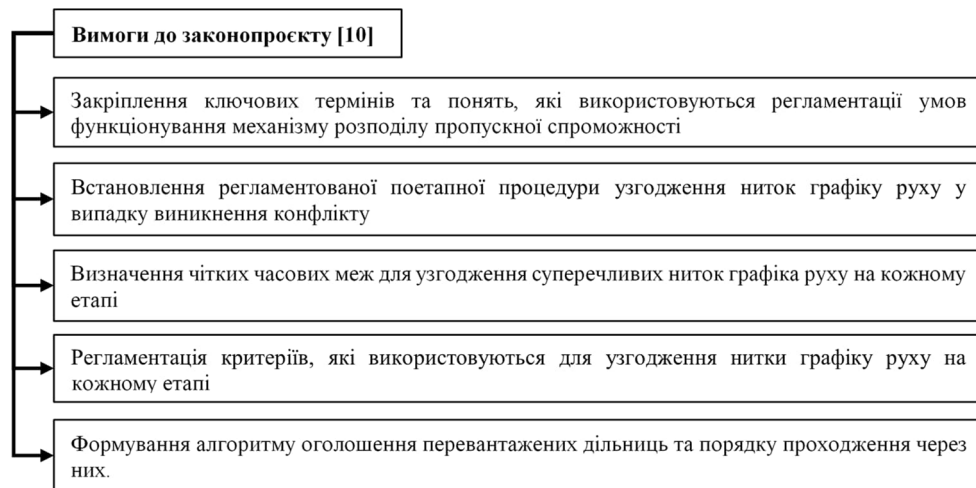


Рис 4. Вимоги до законопроекту «Про систему та особливості функціонування ринку залізничного транспорту України» [11]

В межах дослідження додатково було змодельована конфліктна ситуація між двома перевізниками з різною частотою курсування, що претендують на одну й ту саму інфраструктуру (дільниця Помічна – Колосівка, регіональної філії «Одеська залізниця» АТ Укрзалізниця). Вихідні дані для моделювання наведені у табл. 1.

Для узгодження нитки графіку руху запропоновано застосовувати показник пріоритету K ,

який розраховується у відповідності до формули (1). Використання показника пріоритету K , для внутрішніх перевезень є досить простим та ефективним узгодження конфліктуючих заявок.

Розрахунок показника пріоритету:

- $K_{RU_a} = 616 \cdot 46 = 28336$ – для перевізника А;

- $K_{RU_b} = 556 \cdot 182 = 101192$ – для перевізника Б.

Таблиця 1

Вихідні дані для моделювання

	Перевізник А (RU A)	Перевізник В (RU B)
Тип вагонів (вантаж для перевезення)	Зерновози (зерно)	Напіввагон (залізорудна сировина)
Кількість вагонів у складі поїзду	45 ум. ваг	45 ум. ваг
Періодичність курсування	46 днів протягом сезону літ- них перевезень	182 днів протягом року
Станція відправлення (код єдиної мережевої розмітки)	Полтава-Південна (448709)	Кривий Ріг-Сортувальний (467108)
Станція призначення (код єдиної мережевої розмітки)	400409 Одеса-Порт (Експ.)	400606 Берегова (Експ.)
Тарифна відстань	616 км	556 км
Інфраструктура (залізнична дільниця) з конфліктом на нитку графіку руху	Помічна – Колосівка	

Для побудови теплової карти та визначення областей переваги кожного перевізника у просторі параметрів (Y_{RU_a}, Y_{RU_b}) використано дискретизовану квадратну сітку. Кількість точок у цій сітці обчислюється за формулою:

$$N = \left(\frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{h} + 1 \right)^2, \quad (2)$$

де $Y_{\max}, Y_{\min}$ – мінімальна та максимальна кількість діб експлуатації нитки в робочому розкладі руху, діб;

h – крок дискретизації, діб. Вибране значення кроку дискретизації означає, що зміна інтенсивності роботи кожного перевізника розглядається кратними приростами п'яти діб. Це відповідає реальним умовам залізничної експлуатації, де планування курсування поїздів не здійснюється поодинокими днями, а формує тижневі або наближені до тижневих цикли роботи.

Формула (2) визначає точну кількість комбінацій пар (Y_{RU_a}, Y_{RU_b}) , які аналізуються під час моделювання, та забезпечує коректне нормування площі переваги у відсотках у подальших розрахунках. Приймемо, що $Y_{RU_a}, Y_{RU_b} \in [Y_{\min}, Y_{\max}] \in N$ – кількість днів експлуатації нитки відповідного перевізника. Тоді, згідно до (1) різниця пріоритетів визначаються як:

$$\Delta K = K_{RU_a} - K_{RU_b}, \quad (3)$$

де показники пріоритетів перевізників визначаються як:

$$K_{RU_a} = L_{RU_a} \cdot Y_{RU_a}, K_{RU_b} = L_{RU_b} \cdot Y_{RU_b}, \quad (4)$$

де L_{RU_a} – довжина нитки (маршруту) перевізника А;

L_{RU_b} – довжина нитки (маршруту) перевізника В, км.

Приймемо, що для кожної точки різниці пріоритетів задаються множини, зокрема:

- множина переваги перевізника А:

$$\Omega_{RU_a} = \{(Y_{RU_a}, Y_{RU_b})\} : \Delta K > \varepsilon;$$

- множина переваги перевізника В:

$$\Omega_{RU_b} = \{(Y_{RU_a}, Y_{RU_b})\} : \Delta K < -\varepsilon;$$

- множина переваги рівноваги:

$$\Omega_{eq} = \{(Y_{RU_a}, Y_{RU_b})\} : |\Delta K| \leq \varepsilon$$

Параметр ε є допуск на незначну похибку (параметр «толерантності»).

За таких умов, можна визначити відносні площі випадків, що показують у якій частці сценаріїв зміни періодичності курсування перевізників, що конфліктують отримують пріоритет

доступу до інфраструктури та знайти сценарії рівноваги. Отже, площа, де частка точок, у яких перевізник А має перевагу визначається за виразом:

$$S_{RU_a} = \frac{|\Omega_{RU_a}|}{N}, \quad (5)$$

а площа переваги перевізника В:

$$S_{RU_b} = \frac{|\Omega_{RU_b}|}{N}, \quad (6)$$

та площа рівноваги:

$$S_{eq} = \frac{|\Omega_{eq}|}{N}. \quad (7)$$

Таким чином, відносні площі $S_{RU_a}, S_{RU_b}, S_{eq}$ однозначно відображають частку простору рішень, у якій відповідний перевізник має перевагу за формулою (4). Для проведення розрахунків приймемо, що $Y_{\min} = 10$ діб, $Y_{\max} = 360$ діб, $h = 5$ діб. Згідно виразу (2) загальна кількість точок у дискретизованій квадратній сітці буде: $N = 71^2 = 5041$.

Для сценарію переваги перевізника А знайдено площу:

$$\Omega_{RU_a} = 2776.$$

Для сценарію переваги перевізника В знайдено площу:

$$\Omega_{RU_b} = 2265.$$

Зоною рівноваги є дискретна лінія у якій площа $\Omega_{eq} = 0$ при $\varepsilon < 10^{-6}$.

Площа переваги перевізника А у відсотках:

$$S_{RU_a} = \frac{|\Omega_{RU_a}|}{N} \cdot 100\% = \frac{2776}{5041} \cdot 100\% \approx 0,5507 \cdot 100\% \approx 55,1\%$$

$$S_{RU_b} = \frac{|\Omega_{RU_b}|}{N} \cdot 100\% = \frac{2265}{5041} \cdot 100\% \approx 0,4493 \cdot 100\% \approx 44,9\%$$

$$S_{eq} = 0$$

Згідно з наведеними вище математичними формулами та прийнятими параметрами дискретизації простору рішень (Y_{RU_a}, Y_{RU_b}) , у середовищі Python було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання конфліктної ситуації між перевізниками. Розрахунок показника пріоритету К для кожної точки сітки, класифікація областей переваги $\Omega_{RU_a}, \Omega_{RU_b}, \Omega_{eq}$, а також побудова теплової карти виконані автоматизовано. Отримані результати подано у вигляді діаграми на рис. 5, що наочно відображає поділ простору рішень на зони

переваги кожного перевізника та лінію рівноваги $\Delta K = 0$. На рис. 5 наведено дискретну квадратну сітку з позначенням світло червоним площу переваги перевізника А, світло синім площу переваги перевізника В та чорну лінію, що візуалізує рівновагу.

На основі проведеного моделювання встановлено, що за заданих параметрів перевізник А отримує перевагу у більшій частині простору можливих сценаріїв експлуатації нитки. Числові результати свідчать, що перевізник А домінує у приблизно 55,1 % всіх комбінацій значень (Y_{RU_a}, Y_{RU_b}) тоді як перевізник В має перевагу у 44,9% сценаріїв. Така перевага перевізника А зумовлена більшою тарифною відстанню перевезення, яка становить 616 км порівняно з 556 км для перевізника В. Саме це призводить до більшого значення пріоритету K за однакових умов експлуатації нитки.

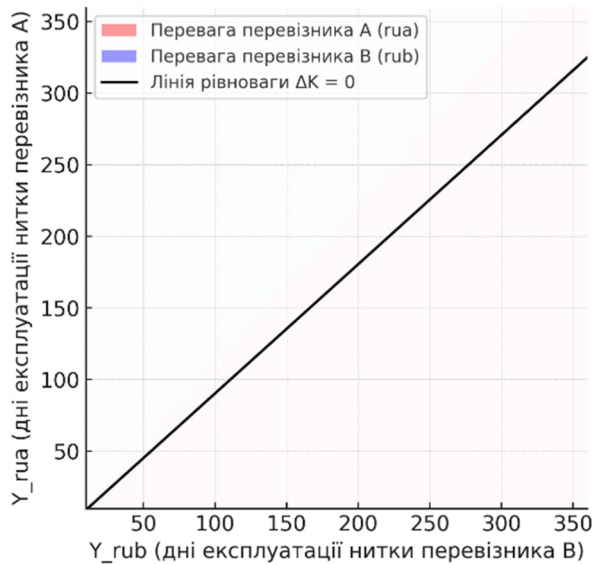


Рис 5. Поділ простору параметрів (Y_{RU_a}, Y_{RU_b}) на області переваги перевізників А та перевізника В за показником пріоритету K

Перевізник В отримує перевагу лише у тих ситуаціях коли тривалість його курсування значно перевищує тривалість роботи перевізника А. За таких умов більша кількість днів курсування компенсує меншу протяжність маршруту і забезпечує вищий результат показника пріоритету. Визначити умову переваги можна за розрахунком:

$$K_{RU_b} > K_{RU_a}, \quad (8)$$

тобто:

$$556 \cdot Y_{RU_b} > 616 \cdot Y_{RU_a},$$

звідси мінімальна кількість днів курсування перевізника В для переваги:

$$Y_{RU_b} > \frac{616}{556} \cdot Y_{RU_a} \approx 1,108 \cdot Y_{RU_a}$$

Отже, перевізник В має курсувати приблизно на 10,8 % більше днів ніж перевізник А. Для прикладу, якщо перевізник А працює 46 днів, то перевізнику В для отримання пріоритету необхідно працювати щонайменше $46 \cdot 1,108 \approx 51$ добу.

Відповідно до вихідних умов, що наведені у табл. 1, перевізник А програє перевізнику В. Таку ситуацію переваги можна визначити за виразом:

$$K_{RU_a} > K_{RU_b}, \quad (9)$$

де $616 \cdot Y_{RU_a} > 556 \cdot 182$.

Мінімальну кількість днів Y_{RU_a} , необхідну для переваги перевізника А можна розрахувати як:

$$Y_{RU_a} > \frac{556}{616} \cdot Y_{RU_b} \approx 0,902 \cdot Y_{RU_b} \approx 165 \text{ днів}.$$

За заданих умов перевізник А може отримати перевагу тільки за умови майже чотирикратного збільшення кількості днів курсування, тобто збільшити періодичність з 46 днів на сезон до принаймні 165 днів (різниця 119 днів). Для отримання переваги потрібно збільшити свою присутність на дільниці приблизно на чотири місяці роботи від поточних 46 днів (за умови $h = 5$).

Результати моделювання показали наявність чіткої межі рівноваги, що визначається умовою рівності пріоритетів і відображається як монотонна лінія на площині значень (Y_{RU_a}, Y_{RU_b}) . Сценарії, що розташовані вище цієї лінії належать до зони переваги А і сценарії нижче межі належать до зони переваги перевізника В (див. рис. 5). Теоретична рівновага за безперервної змінної настає при:

$$Y_{eqRU_a} = \frac{556}{616} \cdot Y_{RU_b} \approx 0,902 \cdot Y_{RU_b} \approx 164,2 \text{ доби}.$$

Слід зазначити, що округлення показника в більшу чи меншу сторону надає перевагу одному окремому перевізнику.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше змодельовані ситуації конфлікту між двома залізничними перевізниками які є антагоністами на перевантаженій дільниці з використанням критерію пріоритету K , відповідно до регламенту ЄС 2024/1679 [15] в умовах функціонування залізничної системи України.

Результати досліджень дозволяють сформулювати вимоги до національного механізму розподілу пропускнуої спроможності залізничної ін-

фраструктури які здатні забезпечувати поетапний розподіл пропускної спроможності із застосуванням регламентованих критеріїв пріоритетності та прийняття недискримінаційних рішень.

Висновки

Результат проведеного дослідження нормативно-правового забезпечення щодо умов функціонування залізничної системи України після проведення дерегуляції ринку перевезень показав відсутність положень та вимог, що стосуються умов розподілу пропускної спроможності та узгодження ниток графіку руху у випадку конфлікту між стейкхолдерами. Відсутність єдиних вимог та регламентації роботи механізму розподілу значно знижують ефективність використання залізничної інфраструктури та створюють передумови до неефективних та дискримінаційних рішень до залізничних перевізників. За результатами аналізу нормативно-правових документів в ЄС та практичних підходів на залізничній системі Німеччині сформовані фундаментальні вимоги до механізму розподілу пропускної спроможності в Україні. Сформовані вимоги повинні забезпечити функціонування механізму розподілу та узгодження ниток графіку руху на основі поетапної механізму та з застосуванням регламентованих критеріїв пріоритетності заявки.

Проведений сценарний аналіз показав, що критерій пріоритету K демонструє високу чутливість саме до тривалості використання нитки графіку руху. У розглянутому прикладі перевізник В, який має меншу довжину нитки (556 км), але значно більшу кількість діб курсування (182 діб), отримав перевагу за критерієм пріоритету у понад 72 тис. км-діб над перевізником А з довшою ниткою (616 км), але меншою тривалістю роботи (46 діб). Зміна інтенсивності використання нитки на кілька операційних циклів (наприклад, на 5-10%) призводить до пропорційної зміни значення критерію K , що підтверджує його лінійний характер. Водночас навіть незначне збільшення кількості днів курсування у перевізника з коротшою ниткою може компенсувати меншу протяжність маршруту і забезпечити перевагу за критерієм пріоритету. Отримані результати свідчать про ключову роль параметра Y_{RD} (інтенсивність використання інфраструктури) у визначенні пріоритету доступу. Це означає, що критерій K не може забезпечити повної нейтральності щодо перевізників із різною операційною моделлю. Його застосування потребує обережності для уникнення надмірної переваги перевізників із високою інтенсивністю

курсуювання або, навпаки, із наддовгими нитками. За таких умов виникає потреба у нормуванні показника, або переході до багатокритеріальної математичної моделі, яка враховує додаткові чинники, такі як регулярність, тип вантажу, що формує дохідність перевезення, завантаження дільниці, критерій економічно-соціальної важливості, тощо. Функціонування розподілу пропускної спроможності в умовах дерегульованого ринку залізничних перевезень повинно забезпечуватись автоматизованим розрахунком узгодження конфліктуючих заявок. Для досягнення цієї мети доцільно запровадити автоматизовану систему розподілу та вирішення конфліктів на основі математичної моделі з формалізацією алгоритму узгодження суперечливих заявок на пропускну спроможність на підставі визначених критеріїв пріоритетності з подальшим впровадженням її в рамках комплексної системи з управлінням рухом (наприклад, АСК ВП УЗ-Є).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони : Угода Україна від 27.06.2014 : станом на 30 листоп. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text.
2. Прохорченко А. В. Залізничні системи з вертикальним розділенням. Європейська модель : підручник. Дніпро : Ліра, 2022. 316 с.
3. Abderrahman A.-A, Jonas Eliasson. Railway capacity allocation: A survey of market organizations, allocation processes and track access charges. *VTI Working Paper* 2019:1. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/340769445_Railway_Capacity_Allocation_A_Survey_of_Market_ORganizations_Allocation_Processes_and_Track_Access_Charges
4. Abderrahman A.-A. Methods for capacity allocation in deregulated railway markets. Norrköping : Linköping University, 2020. 78 с. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1472247/FULLTEXT01.pdf>
5. Ait Ali A., Eliasson J. European railway deregulation: an overview of market organization and capacity allocation. *Transportmetrica A: Transport Science*. 2021. С. 1–25. DOI: 10.1080/23249935.2021.1885521
6. Дослідження правил пріоритетності руху поїздів у залізничних системах А. В. Прохорченко, Д. Р. Харченко та ін. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2024. Т. 29, № 4. С. 71–82. DOI: 10.18664/ikszt.v29i4.320376
7. Efficient capacity allocation on deregulated railway markets. E. Broman, J. Eliasson, M. Aronsson. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2022. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2021.100294

8. Формалізація процедури розподілу пропускної спроможності залізничної мережі в умовах недискримінаційного доступу до інфраструктури. Т.В. Бутко, С.В. Харланова, М.В. Коваленко. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2022. Т. 27, №2. С. 3-10. DOI: 10.18664/ikszt.v27i2.259688

9. Лаврухін О.В. Визначення цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів зі станції. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2011. Т. 2, № 50. С. 20–22. URL: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/14201/1/Lavrukhin.pdf>

10. Про залізничний транспорт : Закон України від 04.07.1996 № 273/96-ВР : станом на 15 листоп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/273/96-вр#Text>

11. Верховна Рада України. Картка законопроекту про систему та особливості функціонування ринку залізничного транспорту України. *Сайт Верховної Ради України*. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/45100>

12. Establishing a single European railway area: Директива ЄС від 12.12.2012 № 2012/34/EU. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/34/oj>

13. ERegG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis. *Gesetze im Internet*. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/eregg/index.html#BJNR208210016BJNE005201119>

14. Network Statement 2025. *DB InfraGO: Eisenbahninfrastruktur der Zukunft in Deutschland*. URL: https://www.dbinfra.go.com/web-en/rail-network/network_statement/Network-Statement-2025-12612778

15. Union guidelines for the development of the trans-European transport network : Регламент ЄС 13.06.2024 №2024/167. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1679/oj/eng>

16. CID. *Main Page: North Sea – Baltic Rail Freight Corridor*. URL: <https://rfc8.eu/cid>

17. RFC North Sea – Med. Decision of the Executive Board of the Rail Freight Corridor North Sea-Mediterranean. 18 с. URL: https://www.rfc-northsea-med.eu/sites/rfc2.eu/files/telechargements/exbonsm_decision_181212_fca_en.pdf

18. The allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification: Директива ЄС 15.03.2001 № 2001/14/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2001/14/oj/eng>

Надійшла в редколегію 19.09.2025

Прийнята до друку 24.11.2025

A. PROKHORCHENKO, D. KHARCHENKO, M. KRAVCHENKO, A. KYMAN

RESEARCH ON PRIORITY RULES FOR THE ALLOCATION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE CAPACITY

The aim of the study is to develop requirements for the capacity allocation mechanism for JSC Ukrzaliznytsia by using and adapting the priority criteria used in the allocation of capacity in conditions of open competition for railway infrastructure in EU countries. **Methodology.** The study was conducted based on an analysis of the current regulatory framework in EU countries. **Results.** The study of the regulatory framework in Ukraine revealed the absence of requirements for the procedure for allocating capacity and coordinating timetables in the event of a conflict between carriers. An analysis of EU legislation showed that one of the priority criteria is the priority indicator K, which is used when coordinating equivalent applications from carriers. Modelling the allocation of capacity using priority K revealed a lack of complete neutrality towards all carriers and the need for further improvement. In the example considered, carrier B, which has a shorter route length (556 km) but a significantly higher number of days of operation (182 days), received an advantage of more than 72,000 km·days over carrier A, which has a longer route (616 km) but a shorter duration of operation (46 days). The results obtained indicate the key role of infrastructure utilisation intensity in determining access priority. Scientific novelty. **The scientific novelty of the work** lies in the fact that it is the first to model situations of conflict between two railway carriers that are antagonists on an overloaded section using the priority indicator K in the conditions of the Ukrainian railway system. **Practical significance.** The practical significance of the research results lies in the fact that they allow the formation of requirements for the national mechanism for the distribution of railway infrastructure capacity and are capable of ensuring the phased distribution of capacity using regulated priority criteria and non-discriminatory decision-making. **Conclusions.** Based on the results of the study, key requirements for the capacity allocation mechanism to be implemented on the Ukrainian railway network have been formulated. Scenario analysis has revealed that the priority criterion K is highly sensitive to the duration of use of the timetable thread and does not ensure complete neutrality for each carrier when coordinating timetable threads. In the context of the functioning of Ukraine's railway transport and the implementation of the capacity allocation mechanism, indicator K needs further work to improve it.

Keywords: rail transport, deregulation, allocation mechanism, capacity, train flow, priority, conflict.