

Т. Ю. Чаркіна,

д. е. н., професор, завідувач кафедри економіки та менеджменту,

Український державний університет науки і технологій

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-3895-1687>

В. О. Задоя,

к. е. н., доцент, доцент кафедри економіки та менеджменту,

Український державний університет науки і технологій

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9408-4978>

О. А. Юрчик,

аспірант, Український державний університет науки і технологій

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-0717-1658>

DOI: 10.32702/2306-6814.2026.4.68

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКІВ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

T. Charkina,

Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economics and Management,

Ukrainian State University of Science and Technologies

V. Zadoia,

PhD in Economics, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Economics and Management, Ukrainian State University of Science and Technologies

O. Yurchyk,

Postgraduate student, Ukrainian State University of Science and Technologies

A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF UKRAINE'S RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE ACCOUNTING FOR POST-WAR RECOVERY RISKS

Актуальність дослідження зумовлена масштабними руйнуваннями залізничної інфраструктури України внаслідок війни та потребою підвищення ефективності її відновлення в умовах невизначеності. Наукова новизна полягає в розробленні комплексної моделі оцінки ефективності, що поєднує Data Envelopment Analysis (DEA) та імітаційне моделювання ризиків методом Монте-Карло. Методологічну основу становлять підходи до аналізу продуктивності, теорія ризиків і методи сценарного моделювання. Запропонований індекс ІЕЗІ дозволяє кількісно враховувати вплив геополітичних, фінансових, інституційних і технічних ризиків на результативність функціонування залізниці. Практична цінність полягає у можливості застосування результатів для стратегічного планування відбудови транспортної інфраструктури, формування політики стійкості та оптимізації інвестицій. Запропонований підхід може бути адаптований і для оцінювання інфраструктури інших секторів економіки в умовах постконфліктної трансформації.

The relevance of this research is determined by the unprecedented destruction of Ukraine's railway infrastructure during the war and the need to enhance the efficiency of its recovery under conditions of high uncertainty. The scientific novelty lies in the development of a comprehensive assessment model that integrates Data Envelopment Analysis (DEA) with Monte Carlo risk simulation. The methodological framework combines productivity analysis, risk theory, and scenario-based modelling. A new Infrastructure Efficiency Index (IEI) is proposed to quantitatively capture the impact of geopolitical, financial, institutional, and technical risks on railway performance. This approach

reflects not only the baseline technical efficiency of the railway system, but also risk-adjusted resilience in a post-war environment. The study reveals a 20–25% decline in expected efficiency due to aggregated risks, with geopolitical threats accounting for the largest share of potential losses. The practical significance of the research lies in its applicability for strategic planning of railway reconstruction, resilience policy formation, and investment prioritisation. The proposed index may serve as a decision-support tool for government agencies, railway operators, and international donors involved in Ukraine's transport recovery. The model is empirically validated using data from Ukrainian Railways (Ukrzaliznytsia) and benchmarked against the rail systems of Poland and other neighbouring EU countries. Monte Carlo simulations of 10,000 scenarios demonstrate significant volatility in infrastructure effectiveness, highlighting the need for robust recovery strategies. The findings underscore the importance of integrating infrastructure modernisation, technical renewal, and digitalisation into the post-war recovery agenda. Moreover, the model's adaptability makes it applicable for assessing infrastructure resilience in other sectors undergoing post-conflict transformation. Further research may explore integration with climate resilience models and incorporate additional socioeconomic indicators to improve planning accuracy.

Ключові слова: Залізнична інфраструктура, ефективність, DEA-аналіз, Монте-Карло моделювання, транспортна стійкість, ризики, транспортні ХАБи, євроінтеграція.

Key words: Railway infrastructure, efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA), Monte Carlo simulation, transport resilience, risks, transport hubs, European integration.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Залізничний транспорт України традиційно є основою національної логістики та економіки. На залізницю припало понад 60% вантажоперевезень країни і вона відіграє критично важливу роль в експорті (зерно, метали), особливо в умовах повномасштабної війни 2022—2023 рр. [1].

Під час війни залізниця стала гуманітарною артерією — залізничники евакуювали мільйони людей з прифронтових регіонів, забезпечували доставку товарів по всій країні та підтримували експорт продовольства для глобальної продбезпеки [2].

Російські обстріли та диверсії завдали величезної шкоди залізничній інфраструктурі: станом на листопад 2024 року було пошкоджено щонайменше 126 залізничних станцій і понад 500 км колій [2].

Транспортний сектор загалом належить до найбільш постраждалих, складаючи близько 15% від загальних потреб відбудови країни. За оцінками експертів, прямі збитки лише залізничної інфраструктури сягають \$4,3 млрд [3].

У 2025 році атаки на залізничні об'єкти продовжуються, перевищуючи за інтенсивністю навіть попередні роки війни, що створює замкнуте коло "пошкодження — ремонт — повторне пошкодження". На тлі цих викликів особливо актуальним є завдання підвищення ефективності функціонування залізничної інфраструктури та обґрунтування пріоритетів її відновлення.

Разом із безпрецедентними руйнуваннями виникла потреба науково обґрунтувати комплекс заходів післявоєнного відновлення залізничної мережі України.

Проблема полягає у тому, що традиційні методи оцінки інфраструктурної ефективності не враховують екстремальні ризики воєнного та післявоєнного періоду. Це ускладнює ухвалення рішень щодо інвестицій та

реконструкції, адже ефективність залізничної інфраструктури проявляє значну волатильність під впливом воєнних ризиків.

Постає науково-практичне завдання розробки комплексного критерію оцінки ефективності інфраструктури, що поєднує показники продуктивності із врахуванням ризиків, характерних для післявоєнного відновлення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Теоретичні основи оцінки ефективності інфраструктури закладено в працях з продуктивності та аналізу ефективності.

У роботі Т. Коеллі та співавт. обґрунтовано методику Data Envelopment Analysis (DEA) для вимірювання відносної ефективності об'єктів з багатьма входами й виходами [4]. Цей підхід широко застосовувався для транспортних систем, дозволяючи визначати ефективність використання ресурсів підприємств транспорту.

Подальший розвиток методів бенчмаркінгу інфраструктурних об'єктів відображено у дослідженнях П. Богетофта і Л. Отто, які розвинули інструментарій DEA з урахуванням мережевої специфіки та стохастичної межі [5]. Таким чином, методологія DEA сьогодні є загальновизнаною основою для оцінювання продуктивності залізничних компаній і мереж.

Проблематика післявоєнного відновлення інфраструктури досліджувалася переважно на прикладах інших країн.

Досвід відбудови транспорту після конфліктів висвітлено в звітах Світового банку та ООН, зокрема щодо Іраку та Афганістану [6, 7]. З цих досліджень випливає, що швидке і якісне відновлення логістичних мереж є

критично важливим для економічного зростання та інтеграції пост-конфліктних територій.

Важливі уроки міжнародного досвіду — це необхідність комплексного просторового і транспортно-го планування, забезпечення стійкості логістичних маршрутів та баланс між швидким відновленням і модернізацією системи [8].

Наприклад, аналіз ООН щодо української ситуації вказує на потребу поєднання оперативної відбудови з системною модернізацією транспортної інфраструктури, опираючись на кращий світовий досвід [8].

В українському контексті проблеми функціонування та відновлення залізничного транспорту розглядаються у новітніх дослідженнях вітчизняних науковців.

Наприклад у роботі [9] проведено аналіз сучасного стану транспортної інфраструктури України та окреслено перспективи її розбудови у післявоєнний період. Автори підкреслюють необхідність розвитку мультимодальних транспортних вузлів, інтеграції із європейською транспортною мережею та впровадженні цифрових технологій для підвищення ефективності логістики.

Але, зазначене дослідження, як і більшість інших публікацій у цій галузі, не охоплює питання комплексної кількісної оцінки інфраструктурної ефективності з врахуванням воєнних ризиків, що і визначає мету даної роботи.

Ряд аналітичних звітів міжнародних організацій висвітлює масштаби руйнувань та потреби відновлення транспортного сектору України.

За даними спільних оцінок уряду України, Світового банку, ЄС та ООН, прямі фізичні пошкодження транспортної інфраструктури України сягають десятків мільярдів доларів, а непрямі втрати (втрата перевезень, доходів тощо) — ще більших величин [6-8].

У стратегічних документах ЄС (ініціатива "Ukraine Facility", 2023—2025 pp.) пріоритетними визначено проєкти інтеграції української залізниці до європейської мережі через будівництво колій стандарту 1435 мм та модернізацію прикордонних переходів [6].

Також аналітики відзначають наявність значних ризиків, що можуть уповільнити відновлення і класифікують післявоєнні ризики для транспортної інфраструктури як геополітичні (ймовірність нових військових загроз, ескалацій), фінансові (дефіцит коштів, залежність від зовнішніх грантів і кредитів) та інституційні (неефективне управління, корупція) [9].

Міжнародні рейтингові агентства також вказують на фінансові ризики: відновлення української економіки значною мірою залежить від зовнішньої допомоги, зокрема багатомільярдних пакетів ЄС та МВФ, а боргове навантаження залишається високим.

Наприклад, ЄС у межах програми CEF вже надав Україні гранти обсягом 76 млн євро на будівництво евроколії Львів — кордон [7].

Інституційні ризики, передусім корупційні, теж є суттєвими — експерти наголошують на необхідності реформування АТ "Укрзалізниця" та підвищення прозорості управління для успішної реконструкції.

Отже, аналіз літератури показує, що наразі у наукових публікаціях відзначається відсутність інтегрованих моделей оцінки саме залізничної інфраструктури України в умовах війни. Більшість досліджень зосереджені або на макроекономічних оцінках збитків, або на

локальних інженерних рішеннях, а питання комплексної ефективності залізниці (як економічної категорії продуктивності) у поєднанні з факторами ризику залишалося відкритим.

Це і зумовлює наукову новизну даної роботи — спробу синтезувати методи оцінки ефективності з аналізом ризиків для отримання цілісного інструментарію.

МЕТА СТАТТІ

Метою даної статті є розробка комплексної моделі оцінки ефективності залізничної інфраструктури України з урахуванням ризиків післявоєнного відновлення.

Досягнення поставлених цілей сприятиме формуванню науково обґрунтованих підходів до стратегічного планування відбудови залізниці. Запропонована методологія може бути використана урядовими структурами (Міністерством розвитку громад, територій та інфраструктури, АТ "Укрзалізниця"), а також міжнародними фінансовими організаціями для моніторингу результативності інфраструктурних проєктів і оптимізації інвестицій з урахуванням наявних ризиків.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети запропоновано комплексну методику, що поєднує детермінований аналіз ефективності та стохастичне моделювання ризиків.

1. Оцінка базової ефективності методом аналізу оболонки даних даних.

На першому етапі дослідження здійснено оцінювання базової ефективності функціонування залізничної інфраструктури із застосуванням методу аналізу оболонки даних (DEA), який широко використовується для визначення відносної технічної ефективності виробничих та інфраструктурних систем на основі співвідношення залучених ресурсів і досягнутих результатів діяльності [4]. Зазначений метод дає змогу побудувати ефективну межу (оболонку) за емпіричними даними та ідентифікувати ступінь відхилення досліджуваного об'єкта від найкращого досвіду функціонування.

У ролі показників для аналізу розглянуто залізничну мережу України за певний період розвитку, а також, з метою порівняльного аналізу, залізничні системи окремих сусідніх країн Європейського Союзу.

До входних параметрів DEA-моделі включено:

— обсяг капітальних інвестицій в інфраструктуру (млрд грн на рік);

— експлуатаційну довжину колій (тис. км);

— чисельність персоналу залізниці (тис. осіб).

Вихідні параметри моделі відображають результати функціонування інфраструктури та включають:

— вантажообіг (млн тонно-км);

— пасажирообіг (млн пас-км);

— пропускну спроможність мережі (прив. поїзд-км на рік).

Оцінювання ефективності здійснено з орієнтацією на результати діяльності за умови заданого обсягу ресурсів та за припущення змінного ефекту масштабу, що є методично обґрунтованим для аналізу складних інфраструктурних систем з високою капіталомісткістю та неоднорідною структурою [5].

Результатом цього етапу є базове значення показника ефективності E_{DEA} у діапазоні від 0 до 1, яке характеризує здатність залізничної інфраструктури перетворювати наявні ресурси у транспортну роботу і наскільки близько залізниця працює до найкращих світових практик. За оцінками, до 2022 р. Укрзалізниця мала значення близько до 0,8, тоді як залізниця сусідніх країн ЄС (наприклад, Польщі) досягали орієнтовно 0,9—1,0 (ефективність еталону). Зрозуміло, що внаслідок війни ефективність знизилася

2. Коригування ефективності з урахуванням ризиків (метод імітаційного моделювання)

На другому етапі проведено стохастичне моделювання впливу ризиків на ефективність функціонування залізничної інфраструктури в післявоєнний період.

Враховано основні групи ризиків:

- геополітичні (ймовірність повторних руйнувань внаслідок воєнних дій або диверсій);
- фінансово-економічні (нестабільність обсягів міжнародної фінансової допомоги, коливання цін і тарифів);
- інституційні (ризик управління помилок, не-ефективного адміністрування та корупційних проявів);
- технічні (зношеність активів).

Кожному фактору ризику поставлено у відповідність випадкову змінну, що відображає можливий вплив на рівень ефективності.

Так, геополітичний ризик змодельовано шляхом випадкового зменшення вихідних показників на величину потенційних втрат інфраструктури з урахуванням імовірності P_{geo} виникнення нових пошкоджень колій або транспортних вузлів.

Фінансово-економічний ризик враховано через випадкове скорочення обсягів інвестиційних ресурсів внаслідок можливого дефіциту донорського фінансування (наприклад, відхилення до $\pm 30\%$ від базового сценарію надходження грантових коштів ЄС).

Для формування розподілів ризикових сценаріїв застосовано метод Монте-Карло з виконанням 10 000 ітерацій, що забезпечує отримання статистично надійного розподілу результативності системи за різних варіантів розвитку подій. Основні припущення моделювання ризиків подані в таблиці 1.

За результатами моделювання обчислено коефіцієнт ризикових втрат K_p , який інтерпретується як очікувана частка зниження ефективності внаслідок сукупного впливу всіх груп ризиків. Формально він визначається як математичне сподівання втрат за окремими ризик-факторами:

$$K_p = \sum_i p_i \cdot \Delta_i \quad (1),$$

де p_i — ймовірність настання i -го ризикового сценарію;

Таблиця 1. Параметри моделювання ризиків для оцінки ефективності залізничної інфраструктури

Фактор ризику	Припущення моделювання*
Геополітичний	Ймовірність додаткових воєнних ударів по інфраструктурі 20–40% (у моделі - 0,3). У разі реалізації сценарію - разове зниження виходів залізничної на 30%.
Фінансово-економічний	Невизначеність обсягів міжнародної підтримки (грантів ЄС, кредитів тощо) $\pm 30\%$. У моделі – випадкова зміна ефективності в діапазоні до $\pm 10\%$ від базового рівня.
Інституційний	Організаційні та нормативні перешкоди відновлення. У моделі – постійна втрата ефективності до 5% (рівномірний розподіл 0–0,05) через уповільнення проєктів.
Технічні	Високий рівень зношеності рухомого складу та інфраструктурних об'єктів. У моделі - ймовірність 0,4, вплив на ефективність -5% у разі реалізації ризику.

Джерело: складено авторами на основі [1—3, 6—8].

*Примітка: Модельні параметри узгоджуються з експертними оцінками: геополітичні фактори мають найбільший потенційний вплив (оскільки прямі воєнні руйнування були основною причиною інфраструктурних втрат), тоді як інші фактори здебільшого впливають на темпи відновлення, а не знищують існуючу інфраструктуру миттєво.

Δ_i — частка втрати ефективності у цьому сценарії.

Комплексний індекс ефективності залізничної інфраструктури визначається в такому випадку пропонується розраховувати за формулою:

$$IEZI = E_{DEA} \times (1 - K_p) \quad (2).$$

Запропонований показник відображає скоригований рівень ефективності з урахуванням очікуваних ризикових втрат. За відсутності ризиків ($K_p = 0$) комплексний індекс дорівнює базовому значенню ефективності E_{DEA} ; зі зростанням рівня ризиків відбувається пропорційне зниження комплексної оцінки результативності функціонування залізничної системи.

Такий двоетапний підхід дозволяє отримати реалістичну оцінку ефективності залізничної інфраструктури України в умовах невизначеності післявоєнного відновлення та дає змогу моделювати різні сценарії розвитку

Входи для DEA-моделі взято зі статистичних звітів АТ "Укрзалізниця" за 2019—2025 роки та даних Світового банку щодо довжини колій і чисельності працівників [3, 10]. Також за даними Світового банку, значення індексу ефективності логістики (LPI) становило для України у 2023 р. становило близько 2,7 бала (79-те місце зі 139 країн), що вказує на логістичні проблеми та вузькі місця в прикордонних процедурах і координації перевезень [10]. Цей показник враховано, як контекст при інтерпретації результатів DEA.

Для бенчмаркінгу використано показники залізниць Польщі, Чехії, Румунії, Словаччії, Угорщини за 2019—2023 рр. [11].

Загалом, для моделювання ризиків використано експертні припущення, узгоджені з оцінками КСЕ щодо ймовірності продовження бойових дій та офіційними даними про обсяги міжнародної фінансової допомоги на 2023—2025 рр. (наприклад, пакет Ukraine Facility від ЄС обсягом €50 млрд на 2024—2027 рр. спрямований на підтримку макрофінансової стабільності та відновлення, однак його реалізація залежатиме від політичних умов і прогресу реформ) [12].

Поточний стан української залізничної транспортної мережі відображає одночасно значні втрати від війни і зусилля з підтримання перевезень (табл. 2).

Таблиця 2. Основні показники впливу війни на залізничну інфраструктуру та перевезення

Показник (2024 рік)	Значення
Пошкоджено залізничних колій внаслідок війни, км	> 500
Пошкоджено залізничних станцій	≥ 126
Відбудовано (відремонтовано) колій у 2022-2024 рр., км	орієнтовно 1200
Обсяг вантажоперевезень, млн т	174,9
Зміна обсягу вантажоперевезень 2024 р. до 2023 р., %	+17,9%
Частка експорту в структурі вантажоперевезень, %	близько 50% (зерно, руда домінують)

Джерело: складено авторами на основі [13—14].

За 2022—2025 роки загальні руйнування залізничної інфраструктури сягнули масштабів, небачених з часів Другої світової війни. Окрім наведених у таблиці прямих пошкоджень колій та станцій, істотних втрат зазнали залізничні мости, контактні мережі, засоби сигналізації та рухомий склад.

Попри це, залізниці вдалося забезпечити поступове відновлення перевезень у 2023—2025 рр. і обсяг вантажоперевезень у 2024 році досяг 174,93 млн тонн, що на 17,9% більше, ніж у 2023 р. [3]. Це найвищий показник за час війни, досягнутий завдяки частковому розблокуванню експорту (зокрема, функціонуванню альтернативного чорноморського коридору в другому півріччі 2023 р.).

Структура вантажопотоку суттєво змінилася — залізниця перевозить переважно експортно орієнтовані вантажі, близько 40% припадає на зернові, 39% — на руду та метали [3].

Внутрішні перевезення та пасажирський рух значно скоротилися. Через зруйновані ділянки виникла потреба використовувати обхідні маршрути, що збільшило відстані та час перевезення. Це негативно позначи-

лося на ефективності, навіть за зростання тоннажу перевезень продуктивність використання інфраструктури знизилася через простой на вузьких місцях, перевантаженість уцілілих маршрутів і вимушені неоптимальні логістичні рішення.

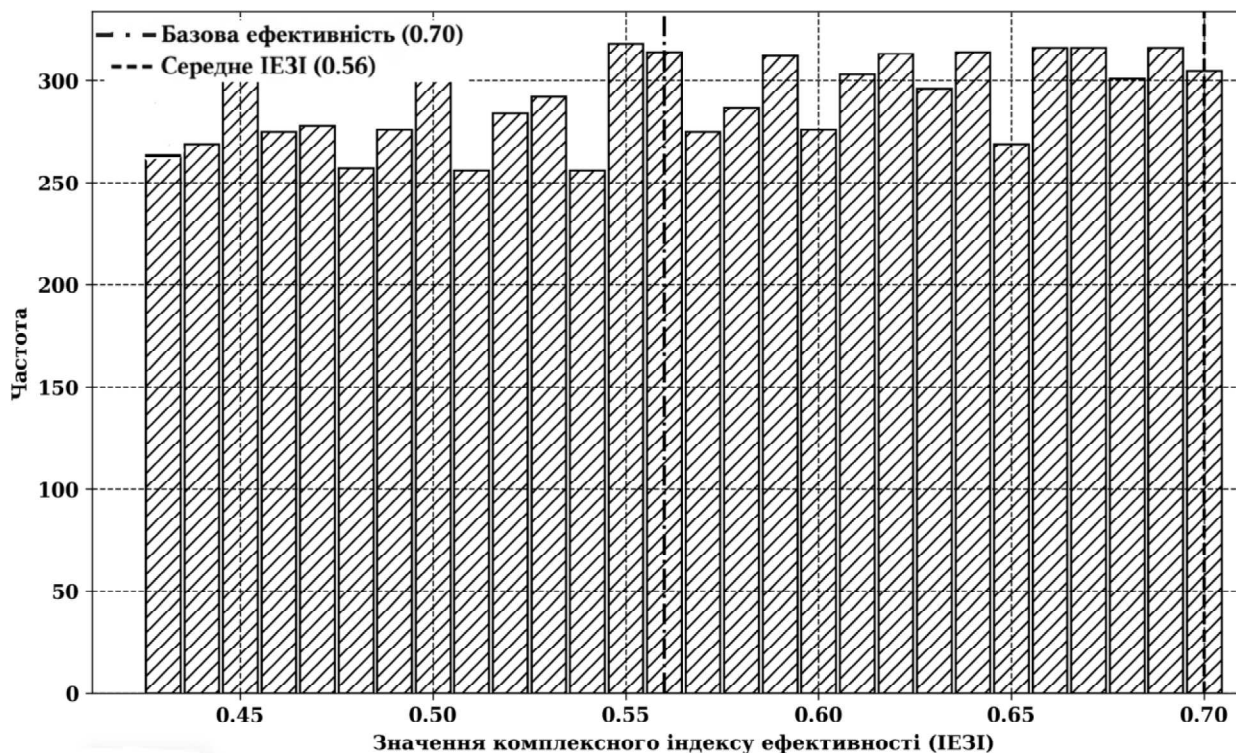
Українська залізниця в нових умовах працює лише на половину потенційно можливого рівня продуктивності, навіть враховуючи скорочення ресурсів. Головні причини — вимушене недовикористання частини активів (особливо на тимчасово окупованих чи при-

фронтових територіях), субоптимальна логістика через пошкодження ключових вузлів та перевантаження альтернативних маршрутів, а також загальне погіршення технічного стану мережі.

Необхідність врахування цих факторів при стратегічному плануванні відновлення зумовила перехід до комплексної оцінки ефективності з урахуванням ризиків. І запропонований індекс ІЕЗІ дозволяє визначити "стійку" ефективність інфраструктури з поправкою на ймовірність подальших негативних подій.

Проведена Монте-Карло симуляція. за результатами 10 000 випадкових сценаріїв, надала розподіл можливих значень комплексного індексу ефективності для залізниці України (рис. 1).

На рисунку пунктирною лінією позначено базовий рівень ефективності без ризиків (близько 0,70), а пунктирною з крапкою — середнє значення ІЕЗІ за всіма сценаріями (близько 0,56). Видно, що врахування ризиків спричиняє помітне зміщення розподілу вліво — очікуване значення ефективності зменшується до приблизно 0,5—0,6 (на 20—25% відносно базового).

**Рис. 1. Розподіл комплексного індексу ефективності залізничної інфраструктури (ІЕЗІ) з урахуванням ризиків**

Джерело: розроблено авторами.

В окремих несприятливих випадках комплексний показник може знижуватися до близько 0,4—0,45 (лівий "хвіст" розподілу), що відображає сценарії із значними додатковими руйнуваннями або браком фінансування.

Ймовірність того, що ефективність впаде нижче критичного рівня 0,5, оцінюється приблизно у 30%. Таким чином, ризики "зрізають" верхні значення показника і роблять результати роботи системи менш передбачуваними.

У дослідженні додатково враховано кількісні оцінки ефективності української залізничної інфраструктури без урахування ризиків і з їх урахуванням та порівняльний орієнтовний рівень ефективності залізниць ЄС (табл. 3).

Як свідчать результати, війна фактично нівелювала досягнутий раніше прогрес у підвищенні ефективності залізниці. Якщо у 2010-х роках УЗ поступово наближалася до європейських показників продуктивності, то станом на 2024—2025 рр. виник розрив і ефективність української інфраструктури приблизно на чверть стала нижчою.

Комплексний показник ІЕЗІ характеризує наявний розрив та додатково враховує ймовірність подальших втрат. Так, середнє значення ІЕЗІ = 0,55 свідчить про те, що за наявних ризиків залізниця спроможна реалізувати лише близько 55 % свого потенціалу за оптимального використання ресурсів.

Моделі розрахунку дозволяють виділити ризики, які найбільше впливають на ефективність.

Найвагомішими є геополітичні ризики, тобто загрози нових руйнувань або блокування шляхів через воєнні дії. За оцінками, цей фактор становить до 70% очікуваних втрат ефективності. Навіть після завершення активної фази бойових дій зберігатиметься ризик диверсій, ракетних ударів або конфліктів малої інтенсивності, які можуть переривати роботу магістральних залізничних коридорів.

Другим за впливом є фінансово-економічний ризик — недостатність чи несвоєчасність фінансування відбудови. Залежність від зовнішніх джерел дуже висока, наприклад, проєкт будівництва євроколії від Львова до кордону з ЄС на 50% фінансується грантом ЄС CEF (76 млн євро) [10]. Якщо обіцяні кошти будуть затримані або скорочені, критично важливі проєкти модернізації можуть зупинитися. За нашими оцінками, фінансові фактори формують близько 20—25% ризикового впливу.

Третя група — інституційні ризики — має дещо меншу, але теж помітну частку (близько 5—10%). Йдеться про можливі управлінські помилки, бюрократичні зволікання, непрозорість в освоєнні коштів.

Як зазначають експерти, успіх післявоєнної відбудови залізниці значною мірою залежить від реформування "Укрзалізниці" та зниження корупційних ризиків у компанії [13].

Водночас суттєвого значення набуває четверта група — технічні ризики, пов'язані зі станом і темпами оновлення виробничих активів залізничної інфраструктури. Тривала експлуатація рухомого складу, колійного господарства, систем сигналізації та енергопостачання без належної модернізації призводить до зростання аварійності, обмеження швидкостей руху та підвищення експлуатаційних витрат.

Таблиця 3. Оцінка ефективності залізничної інфраструктури України (базова та з урахуванням ризиків)

Показник ефективності	Значення для України	Порівняння (референт)
ДЕА-ефективність (базова, 2023-2025 рр.)	0,70	0,90 (Польща)
Комплексний індекс ефективності (ІЕЗІ), середнє	0,55	-
Ймовірність ІЕЗІ < 0,5	30%	-
Очікуване зниження ефективності через ризики	20-25% відносно базового	-

Джерело: складено авторами на основі [10—11].

У післявоєнний період ці ризики посилюються через поєднання бойових пошкоджень, фізичного зносу та відкладених інвестицій у відновлення основних фондів.

За оцінками модельних розрахунків, технічні фактори можуть формувати додатково близько 5—15% втрат потенційної ефективності, особливо в разі затримки програм модернізації рухомого складу та інфраструктури.

Критично важливим є перехід від відновлення за принципом "як було" до оновлення на основі сучасних технологічних стандартів, що дозволяє одночасно зменшити експлуатаційні ризики та підвищити довгострокову продуктивність галузі.

Отримані результати підтверджують гіпотезу про суттєвий негативний вплив воєнних ризиків на ефективність функціонування залізничної інфраструктури.

Комплексна оцінка показала, що навіть у відносно стабільному сценарії (без нових великих ударів) очікувана ефективність приблизно на чверть нижча, ніж могла б бути. Це свідчить про те, що плануючи відновлення, необхідно закладати резерв міцності системи та передбачати заходи мінімізації ризиків.

Зниження ефективності транспорту на 20-30% має ланцюгові наслідки для економіки — зростають логістичні витрати, втрачаються потенційні доходи від транзиту, стримується експортний потенціал. Тому інвестиції у підвищення стійкості інфраструктури можуть мати високу віддачу.

Порівняння з європейськими залізницями (Угорщина, Польща) вказує на значні резерви підвищення продуктивності української залізниці за рахунок модернізації.

Одним із ключових напрямів є технічна інтеграція в систему TEN-T — перехід на європейську ширину колії та сумісність з європейськими стандартами експлуатації.

У 2025 році відкрито першу ділянку євроколії (1435 мм) Чоп — Ужгород довжиною 22 км, що з'єднала Ужгород із залізничною мережею ЄС [10]. Очікується, що продовження цієї колії до Львова та далі на польський кордон (проєкти Скнилів — Мостиська) істотно збільшить пропускну спроможність західного коридору та зменшить операційні простой при перетині кордону.

За оцінками експертів, адаптація інфраструктури до стандартів ЄС здатна підвищити загальну ефективність залізниці щонайменше на 10—15% завдяки зростанню швидкості та обсягів перевезень. Крім того, інтеграція в TEN-T має політичний вимір — вона є передумовою успішної євроінтеграції України та сигналом для інвес-

торів, що країна відкрита до бізнесу навіть в умовах відновлення [2].

Програмні документи з відновлення транспорту наголошують також на необхідності цифровізації та розвитку інтермодальних перевезень.

Впровадження сучасних IT-рішень (єдиної електронної системи керування вантажопотоками, е-квитка для пасажирів, систем прогнозування попиту) може підвищити ефективність використання інфраструктури без значних капіталовкладень [9].

В Україні подібні проекти фактично перебувають на стадії наукового та концептуального обґрунтування, однак створення мультимодальних пасажирських перевезень розглядається як один із ключових напрямів модернізації транспортної системи у післявоєнний період.

Транспортні ХАБи у теоретичних моделях трактується не лише як фізичні вузли, що надають пасажирам транспортні послуги, а як комплексні центри концентрації транспортних потоків, цифрового управління, логістичних сервісів і координації між різними видами транспорту з домінуючою роллю залізничної інфраструктури.

Формування таких вузлів розглядається науковцями як необхідна передумова підвищення ефективності використання транспортної інфраструктури, оскільки концентрація потоків у ключових точках дозволяє зменшити втрати часу, оптимізувати маршрути та знизити навантаження на окремі ділянки мережі.

У контексті післявоєнного відновлення це має особливе значення, оскільки дає змогу перейти від фрагментарного відновлення окремих об'єктів до формування системної просторової моделі транспортної взаємодії.

У межах такої моделі залізниця виступає базовою платформою для розвитку мультимодальних перевезень, навколо якої формуються логістичні центри, складські комплекси та сервісна інфраструктура.

Особливого значення концепція транспортних ХАБів набуває в контексті євроінтеграції, оскільки саме через вузлові точки забезпечується інтеграція національної транспортної системи до європейських логістичних коридорів.

Створення таких центрів на прикордонних територіях і в ключових промислових регіонах може забезпечити ефективніше поєднання залізничної мережі України з транспортною системою Європейського Союзу, підвищити транзитний потенціал та сприяти формуванню нової моделі просторової організації перевезень.

У цьому контексті транспортні ХАБи виступають не лише інфраструктурним, але й стратегічним інструментом економічної інтеграції, який у перспективі здатен суттєво підсилити роль України у міжнародних логістичних ланцюгах.

Важливо врахувати, що результати цього дослідження отримані на основі агрегованих даних та ряду припущень щодо розподілу ризиків.

Обмеженням є те, що DEA-аналіз виконувався на макро-рівні (для всієї системи), тоді як ефективність окремих підрозділів УЗ може відрізнятися. Для подальших досліджень перспективним є застосування мікрорівневих моделей (наприклад, оцінка ефективності окремих регіональних дирекцій УЗ або окремих видів перевезень) із врахуванням локальних ризиків.

Також доцільно дослідити сенситивність результатів до зміни параметрів ризикового середовища — зокрема, оцінити альтернативні сценарії швидкого завершення війни чи навпаки її затягування.

В цілому, запропонований підхід може бути корисним не лише для України, але й універсально застосовним для інших країн, що стикаються з викликами відбудови критичної інфраструктури після збройних конфліктів.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підтвердило системоутворюючу роль залізничної інфраструктури у функціонуванні національної економіки та водночас засвідчило її суттєву вразливість до воєнних і післявоєнних ризиків. Обґрунтовано доцільність переходу від традиційних підходів оцінювання продуктивності до комплексної моделі, що поєднує аналіз ефективності використання ресурсів із урахуванням імовірних втрат у нестабільному середовищі відновлення.

Запропонований комплексний підхід дозволив отримати більш реалістичну характеристику функціонування залізничної системи, визначити масштаб зниження її потенціалу та кількісно окреслити вплив ключових груп ризиків. Доведено, що навіть за відносно сприятливих умов очікуваний рівень результативності істотно поступається довоєнним орієнтирам, що потребує врахування резерву стійкості під час стратегічного планування відбудови та модернізації інфраструктури.

Обмеження дослідження пов'язані з використанням агрегованих статистичних показників і модельних припущень щодо параметрів ризикового середовища, що зумовлює доцільність подальших наукових досліджень на мікрорівні окремих сегментів залізничної системи та сценарного аналізу альтернативних траєкторій відновлення.

Перспективним напрямом є розширення методичного підходу для оцінювання стійкості критичної інфраструктури інших секторів економіки в умовах післяконфліктної трансформації.

Література:

1. Вантажні перевезення "Укрзалізниці" за рік знизилися на 8%. 28.01.2025. URL: <https://epravda.com.ua/biznes/vantazhni-perevezennya-ukrзалізnicі-za-riknizilisya-na-8-817218/> (дата звернення: 02.02.2026).
2. Charkina, T., Zadoia, V., Yurchyk, O. Restoration of the transport infrastructure of Ukraine in the conditions of war: A comparative analysis of economic models and stabilisation mechanisms. *Philosophy, Economics and Law Review*. 4 (2), p 50—61. DOI: <https://doi.org/10.63341/2786-491X-2024-2-50>.
3. АТ "Укрзалізниця". Річна фінансова звітність. URL: <https://www.uz.gov.ua/about/investors/stakeholder/other/623373/> (дата звернення: 04.02.2026).
4. Coelli T. J., Rao D. S. P., O'Donnell C. J., Battese G. E. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis* — 2nd ed. Berlin. Heidelberg: Springer. 2005. 349 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/b136381>.

5. Bogetoft P., Otto L. Benchmarking with DEA, SFA, and R. New York. Springer-Verlag. 2011. 350 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7961-2>.

6. World Bank; Government of Ukraine; European Commission; United Nations. Ukraine Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4), February 2022 — December 2024. 2025. URL: <https://hdl.handle.net/10986/42908> (дата звернення: 02.02.2026).

7. Державна служба статистики України. Транспорт / офіційна статистика. URL: <https://stat.gov.ua/uk/topics/transport> (дата звернення: 04.02.2026).

8. United Nations Development Programme (UNDP) Ukraine; World Bank; Government of Ukraine; European Union. Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4). 25.02.2025. URL: <https://ukraine.un.org/en/290001-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024> (дата звернення: 02.02.2026).

9. Чаркіна Т. Ю., Задоя В. О., Юрчик О. А. Сучасний стан та перспективи розвитку відновлення і розбудови транспортної інфраструктури в Україні. Агросвіт. 2024. № 6. С. 103—112. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.6.103>.

10. Poliukh A. Transport Infrastructure Amid Protracted War: Challenges for Ukraine and Insights from International Post-War Reconstruction Practices. Kyiv. KSE Institute. 2025. 49 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26192.21760>.

11. Eurostat. RAIL_GO_TOTAL — Goods transported by rail. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/rail_go_total (дата звернення: 04.02.2026).

12. Ukraine Facility: Council and Parliament agree on new support mechanism for Ukraine. 6 February 2024. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/06/ukraine-facility-council-and-parliament-agree-on-new-support-mechanism-for-ukraine/> (дата звернення: 04.02.2026).

13. Kyiv School of Economics. The total amount of direct damage to Ukraine's infrastructure caused due to the war as of June 2023 exceeded \$150 billion. 2 August 2023. URL: <https://kse.ua/about-the-school/news/the-total-amount-of-direct-damage-to-ukraine-s-infrastructure-caused-due-to-the-war-as-of-june-2023-exceeded-150-billion/> (дата звернення: 04.02.2026).

14. Balesta O. Ukraine reports record number of attacks on railway infrastructure in 2025. 17 січня 2026. — URL: <https://english.nv.ua/business/ukraine-reports-130-000-damaged-rail-facilities-since-russia-s-full-scale-invasion-50576460.html> (дата звернення: 04.02.2026).

References:

1. epravda (2025), "Ukrzaliznytsia's freight transportation decreased by 8% over the year", available at: <https://epravda.com.ua/biznes/vantazhni-perevezennya-ukrzaliznici-za-rik-znizilisya-na-8-817218/> (Accessed 02.02.2026).

2. Charkina, T., Zadoia, V. and Yurchyk, O. (2024), "Restoration of the transport infrastructure of Ukraine in the conditions of war: A comparative analysis of economic models and stabilisation mechanisms", Philosophy,

Economics and Law Review, vol. 4 (2), pp. 50—61. DOI: <https://doi.org/10.63341/2786-491X-2024-2-50>.

3. Ukrzaliznytsia (2026), "Annual financial statements", available at: <https://www.uz.gov.ua/about/investors/stakeholder/other/623373/> (Accessed 04.02.2026).

4. Coelli, T. J., Prasada Rao, D. S., O'Donnell, C. J. and Battese, G. E. (2005), An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, 2nd ed, Springer, Berlin. Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/b136381>.

5. Bogetoft, P. and Otto, L. (2011), Benchmarking with DEA, SFA, and R, Springer-Verlag, New York, USA. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7961-2>.

6. United Nations Development Programme (UNDP) Ukraine; World Bank; Government of Ukraine; European Union (2025), "Ukraine Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4) February 2022 — December 2024: Joint Report", available at: <https://hdl.handle.net/10986/42908> (Accessed 02.02.2026).

7. State Statistics Service of Ukraine (2026), "Transport", available at: <https://stat.gov.ua/uk/topics/transport> (Accessed 04.02.2026).

8. United Nations Development Programme (UNDP) Ukraine; World Bank; Government of Ukraine; European Union (2025), "Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4)", available at: <https://ukraine.un.org/en/290001-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024> (Accessed 02.02.2026).

9. Charkina, T.Yu. Zadoia, V.O. and Yurchyk, O.A. (2024), "Current state and prospects for the development, restoration, and reconstruction of transport infrastructure in Ukraine", Agrosvit, vol. 6, pp. 103—112. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.6.103>.

10. Poliukh, A. (2025), Transport Infrastructure Amid Protracted War: Challenges for Ukraine and Insights from International Post-War Reconstruction Practices, KSE Institute, Kyiv, Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26192.21760>.

11. Eurostat (2026), "RAIL GO TOTAL — Goods transported by rail", available at: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/rail_go_total (Accessed 04.02.2026).

12. European Council (2024), "Ukraine Facility: Council and Parliament agree on new support mechanism for Ukraine", available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/06/ukraine-facility-council-and-parliament-agree-on-new-support-mechanism-for-ukraine/> (Accessed 04.02.2026).

13. Kyiv School of Economics (2023), "The total amount of direct damage to Ukraine's infrastructure caused due to the war as of June 2023 exceeded \$150 billion", available at: <https://kse.ua/about-the-school/news/the-total-amount-of-direct-damage-to-ukraine-s-infrastructure-caused-due-to-the-war-as-of-june-2023-exceeded-150-billion/> (Accessed 04.02.2026).

14. Balesta, O. (2026), "Ukraine reports record number of attacks on railway infrastructure in 2025", available at: <https://english.nv.ua/business/ukraine-reports-130-000-damaged-rail-facilities-since-russia-s-full-scale-invasion-50576460.html> (Accessed 04.02.2026).

Отримано редакцією журналу / Received: 07.02.26

Процеженовано / Revised: 12.02.26

Схвалено до друку / Accepted: 17.02.26