

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ННІ «ДНІПРОВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНФРАСТРУКТУРИ І ТРАНСПОРТУ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ННІ «ДНІПРОВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНФРАСТРУКТУРИ І ТРАНСПОРТУ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЗАЛЕСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 656.2.001.7:004.9(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

051 ОП «Економіка»
галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Залеський О. В.

Науковий керівник: Чаркіна Тетяна Юріївна,
доктор економічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Залеський О. В. Цифровізація як стратегічний напрямок розвитку залізничного транспорту.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 Економіка (Галузь знань 05 – Соціальні та поведінкові науки). – Український державний університет науки і технологій Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2026.

Дисертація присвячена науковому обґрунтуванню та розробленню теоретико-методологічних і практичних засад управління цифровою трансформацією підприємств залізничного транспорту в умовах воєнного стану, які спрямовані на підвищення їхньої стійкості, ефективності та конкурентоспроможності. Для досягнення цієї мети було вирішено низку взаємопов'язаних завдань, серед яких: узагальнення теоретико-методологічних підходів до визначення сутності цифрової трансформації; обґрунтування необхідності впровадження цифрових технологій для підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень; дослідження тенденцій цифровізації світових залізниць; діагностування рівня цифрової зрілості підприємств; розроблення методики оцінювання ризиків та створення алгоритмічної моделі прогнозування пасажиропотоку.

Сучасний світ переживає період глибоких трансформацій, спричинених геополітичною нестабільністю та воєнними діями (повномасштабне вторгнення Росії в Україну), що суттєво впливають на стійкість і функціонування транспортних підприємств. Підприємства залізничного транспорту України, незважаючи на стабілізацію перевезень (зростання пасажиропотоку в далекому сполученні до 25 млн у 2023 році), стикаються з хронічною кризою, викликаною критичним зношенням основних фондів (майже 90 % рухомого складу потребує заміни або ремонту) та технологічною відсталістю, що зумовлює нагальну необхідність цифрової модернізації. Залізничний транспорт є більш екологічним та енергоефективним порівняно з автомобільним і

авіаційним, що підкреслює його стратегічну важливість. Зважаючи на це, уміння адаптуватися до змін та впроваджувати ефективні цифрові стратегії стає ключовою умовою виживання й подальшого розвитку підприємств.

Актуальність дослідження зумовлена трансформацією ролі залізничного транспорту в умовах воєнного стану, коли цифровізація є не лише інструментом підвищення ефективності, а й чинником забезпечення стійкості критичної інфраструктури. Її значущість визначається поєднанням геополітичних викликів, структурних кризових явищ у транспортній галузі та необхідністю забезпечення безперервності перевезень у воєнний і післявоєнний періоди. У сучасних умовах цифровізація розглядається не лише як інструмент модернізації, вона набуває функцій забезпечення стійкості й адаптивності залізничної системи до зовнішніх загроз і внутрішніх обмежень.

В умовах збройної агресії залізничний транспорт виконує системоутворювальну логістичну функцію, забезпечуючи пасажирські, гуманітарні, військові та економічні перевезення, що зумовлює підвищені вимоги до надійності, керованості та швидкості відновлення інфраструктури. У цьому контексті особливого значення набуває формування механізмів підвищення операційної стійкості та кібербезпеки, здатних зменшити вразливість транспортних систем до техногенних, інформаційних і воєнних ризиків.

Економічна значущість дослідження пов'язана з необхідністю подолання хронічної кризовості залізничної галузі. Зокрема, це стосується високого рівня фізичного зносу основних фондів і обмеженості інвестиційних ресурсів. У таких умовах впровадження інтелектуальних цифрових рішень розглядається як засіб підвищення ефективності експлуатації інфраструктури та рухомого складу на основі прогнозної діагностики, оптимізації графіків та раціоналізації використання ресурсів. Розроблення адаптованих методик оцінювання ризиків цифрової трансформації з урахуванням воєнного чинника, а також алгоритмічних моделей прогнозування пасажиро- і вантажопотоків створює

основу для підвищення обґрунтованості управлінських і фінансово-економічних рішень.

Водночас дослідження має важливе значення в контексті європейської інтеграції, оскільки спрямоване на підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту та адаптацію управлінських і технологічних рішень до стандартів Європейського Союзу. Обґрунтування механізмів публічно-приватного партнерства у сфері цифровізації створює можливості залучення міжнародних інвестицій до відновлення та модернізації залізничної інфраструктури. У сукупності це формує науково обґрунтовану основу для переходу залізничного транспорту України до сучасних стандартів цифрового управління як чинника довгострокової економічної стійкості та післявоєнного відновлення.

Розроблено інтегровану трирівневу модель цифрової модернізації пасажирської інфраструктури залізничного транспорту України в умовах воєнного стану, яка системно поєднує стратегічний, тактичний та операційний рівні управління. Ця модель враховує вимоги стійкості, енергоефективності та клієнтоорієнтованості та є системним інструментом управління цифровими змінами в пасажирському комплексі, забезпечуючи перехід від експлуатаційної моделі «залізничний перевізник» до сервісної моделі «платформа мобільності». Запропоновано портфельну структуру управління цифровою трансформацією залізничної галузі, що охоплює п'ять основних стратегічних напрямів: «Цифрова інфраструктура», «Аналітичні системи та дані», «Цифровий двійник», «Клієнтські сервіси та платформи мобільності» та «Цифрові компетенції персоналу». Ця структура координується Радою з цифрової трансформації залізниці (РЦТЗ) та забезпечує узгодження державної політики, корпоративного менеджменту й технічних підсистем. Удосконалено алгоритмічну модель прогнозування пасажиропотоку для залізничного транспорту, яка базується на рекурентних нейронних мережах та методах оптимізації. Вона адаптована до високої нестабільності транспортних потоків в умовах воєнного стану та дає змогу формувати сценарні розрахунки для

підвищення точності планування доходів і ресурсів. Удосконалено методiku оцінювання ризиків цифрової трансформації транспортних підприємств шляхом формування реєстру критичних ризиків, зокрема і воєнних загроз, та застосування експертного підходу (оцінка ймовірності та впливу). Це підвищило точність визначення рівня цифрової зрілості та пріоритетів інвестування, особливо зважаючи на те, що параметри цифрової готовності залізничних компаній перебувають на критичному рівні. Удосконалено підхід до організації проектного управління цифровими ініціативами шляхом інтеграції гібридних методологій, забезпечення ітеративності та прозорості управління ресурсами. У рамках цього підходу уточнено логіку побудови портфеля цифрових проектів та механізми їх координації. Набули подальшого розвитку теоретичні засади публічно-приватного партнерства (ППП) у цифровізації залізничного транспорту, зокрема механізми залучення міжнародних інституцій та адаптація інструментів PPP до умов обмежених фінансових ресурсів і високих ризиків. Набула подальшого розвитку концепція «Залізниця 4.0» в українському контексті, розширена елементами кіберстійкості, системами ситуаційної обізнаності та компонентами сталого розвитку, зокрема енергоощадністю та цифровою доступністю пасажирського сервісу. Аргументовано необхідність впровадження цифрових технологій для підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень. Визначено сутність цифровізації залізничного транспорту як цілеспрямованої зміни управлінських процесів і бізнес-моделі через інтеграцію даних, аналітики та цифрових платформ. Уточнено зміст поняття «цифрове управління» в контексті сучасних концепцій сталого розвитку.

Виконані в дисертаційній роботі розрахунки підтверджують, що реалізація комплексу заходів цифрової модернізації пасажирського комплексу АТ «Укрзалізниця» забезпечує суттєвий сукупний економічний ефект, сформований за рахунок скорочення експлуатаційних витрат, енергозбереження та зростання доходів від цифрових та інклюзивних сервісів.

Разом підтверджений розрахунками економічний ефект цифрової трансформації пасажирського комплексу перевищує 0,5 млрд грн чистої приведеної вартості в середньостроковому горизонті, що обґрунтовує доцільність цифровізації як основного інструменту підвищення фінансової стійкості та конкурентоспроможності залізничного транспорту України.

Ключові слова: цифровізація, залізничний транспорт, управління, транспортна інфраструктура, сталий розвиток, воєнний стан, пасажирські перевезення, цифрова зрілість, LSTM-мережі, конкурентоспроможність, ризики, мультимодальні перевезення, публічно-приватне партнерство, інтелектуальні транспортні системи, інклюзивність.

ABSTRACT

Zaleskyi O. V. Digitalisation as a Strategic Priority in the Development of Railway Transport

Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 051 Economics (Field of Knowledge 05 – Social and Behavioural Sciences). – Ukrainian State University of Science and Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2026.

The dissertation is devoted to the scientific substantiation and development of theoretical, methodological and practical foundations for managing the digital transformation of railway transport enterprises under martial law, aimed at increasing their resilience, efficiency and competitiveness. To achieve this objective, a set of interrelated tasks was addressed, including the generalisation of theoretical and methodological approaches to defining the essence of digital transformation, substantiation of the necessity for introducing digital technologies to enhance the competitiveness of railway transport, analysis of global railway digitalisation trends, assessment of the level of digital maturity of enterprises, development of a risk assessment methodology, and construction of an algorithmic model for passenger flow forecasting.

The contemporary world is undergoing profound transformations caused by geopolitical instability and military actions, in particular the full-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation, which have significantly affected the resilience and functioning of transport enterprises. Despite the stabilisation of transport operations, including an increase in long-distance passenger traffic to 25 million passengers in 2023, Ukrainian railway enterprises face a persistent crisis resulting from the critical deterioration of fixed assets (nearly 90% of rolling stock requires replacement or major repair) and technological obsolescence, which necessitates urgent digital modernisation. Railway transport remains more environmentally friendly and energy-efficient compared with road and air transport, which underscores its strategic importance. Under such conditions, the ability to adapt to change and implement effective digital strategies becomes a key prerequisite for the survival and further development of railway enterprises.

The relevance of the research is determined by the transformation of the role of railway transport wartime conditions where digitalisation acts not only as a tool for improving efficiency but also as a factor ensuring the resilience of critical infrastructure. Its significance is defined by the combination of geopolitical challenges, structural crisis phenomena in the transport sector, and the need to maintain the continuity of transport operations during wartime and the post-war recovery period. In the current context, digitalisation is no longer viewed solely as a means of modernisation but increasingly performs the function of ensuring the adaptability and resilience of the railway system to external threats and internal constraints.

Under conditions of armed aggression, railway transport performs a system-forming logistical function, providing passenger, humanitarian, military and economic transportation, which imposes heightened requirements for reliability, controllability and rapid infrastructure recovery. In this context, the development of mechanisms for enhancing operational resilience and cybersecurity becomes particularly important, as they are capable of reducing the vulnerability of transport systems to technological, informational and military risks.

The economic significance of the research is associated with the need to overcome the chronic crisis of the railway sector, particularly the high level of physical depreciation of fixed assets and the limited availability of investment resources. In such conditions, the introduction of intelligent digital solutions is regarded as a means of improving the efficiency of infrastructure and rolling stock operation through predictive diagnostics, timetable optimisation and rational resource utilisation. The development of adapted methodologies for assessing the risks of digital transformation, taking into account the wartime factor, as well as algorithmic models for forecasting passenger and freight flows, creates a basis for enhancing the soundness of managerial and financial-economic decision-making.

At the same time, the research is of particular importance in the context of European integration, as it is aimed at increasing the competitiveness of railway transport and adapting managerial and technological solutions to European Union standards. The substantiation of public–private partnership mechanisms in the field of digitalisation creates opportunities for attracting international investment into the recovery and modernisation of railway infrastructure. Taken together, this forms a scientifically grounded basis for the transition of Ukraine’s railway transport to modern standards of digital governance as a factor of long-term economic resilience and post-war recovery.

An integrated three-level model of digital modernisation of passenger railway infrastructure in Ukraine in a wartime environment has been developed, which systematically combines strategic, tactical and operational levels of management. This model takes into account requirements for resilience, energy efficiency and customer orientation and serves as a systemic instrument for managing digital change within the passenger complex, ensuring a transition from the operational model of a “railway carrier” to a service-oriented “mobility platform” model. A portfolio-based structure for managing the digital transformation of the railway sector has been proposed, encompassing five key strategic directions: Digital Infrastructure, Analytical Systems and Data, Digital Twin, Customer Services and Mobility Platforms, and Digital Competencies of Personnel. This structure is coordinated by

the Railway Digital Transformation Council (RDTC) and ensures alignment between state policy, corporate management and technical subsystems.

The algorithmic model for passenger flow forecasting in railway transport has been improved on the basis of recurrent neural networks and optimisation methods. The model is adapted to the high volatility of transport flows wartime conditions and enables scenario-based calculations to improve the accuracy of revenue and resource planning. The methodology for assessing the risks of digital transformation of transport enterprises has been refined through the development of a register of critical risks, including wartime threats, and the application of an expert-based approach (probability–impact assessment), which increased the accuracy of determining digital maturity levels and investment priorities, particularly given the critically low level of digital readiness of railway companies.

The approach to organising project management of digital initiatives has been improved through the integration of hybrid methodologies, ensuring iterative implementation and transparency of resource management. Within this approach, the logic of forming a portfolio of digital projects and mechanisms for their coordination has been clarified. The theoretical foundations of public–private partnership in railway digitalisation have been further developed, including mechanisms for engaging international institutions and adapting PPP instruments to conditions of limited financial resources and high risk. The concept of Railway 4.0 has been further developed in the Ukrainian context through the inclusion of cybersecurity elements, situational awareness systems and components of sustainable development, particularly energy efficiency and digital accessibility of passenger services. The necessity of introducing digital technologies to enhance the competitiveness of railway transport has been substantiated. The essence of railway digitalisation has been defined as a purposeful transformation of managerial processes and business models through the integration of data, analytics and digital platforms. The content of the concept of digital governance has been clarified in the context of contemporary sustainable development paradigms.

The calculations performed in the dissertation confirm that the implementation of a comprehensive set of digital modernisation measures for the passenger complex of JSC “Ukrzaliznytsia” ensures a significant cumulative economic effect, formed through the reduction of operating costs, energy savings and revenue growth from digital and inclusive services. Overall, the economically substantiated effect of digital transformation of the passenger complex is projected to exceed UAH 500 million in net present value over the medium-term horizon, which justifies the feasibility of digitalisation as a key instrument for enhancing the financial resilience and competitiveness of Ukraine’s railway transport.

Keywords: digitalization, railway transport, management, transport infrastructure, sustainable development, martial law, passenger transportation, digital maturity, LSTM neural, competitiveness, risks, multimodal transportation, public-private partnership, intelligent transport systems, inclusiveness.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

статті у виданнях, що внесені до переліку наукових фахових видань і міжнародних наукометричних баз:

1. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Тенденції розвитку залізничних пасажирських перевезень в Україні. *Ефективна економіка*. 2024. № 2. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.2.29>. (Особистий внесок: сформовано механізм розвитку залізничних пасажирських перевезень для підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту України.)

2. Charkina T., Zaleskyi O. Organization of Project Management of Railway Transport Infrastructure Modernization in the Context of Digitalization. *Philosophy, economics and law review*. 2024. Vol. 4, no. 1. P. 103-112. DOI: <https://doi.org/10.63341/2786-491X-2024-1-103-112>. (Особистий внесок: розроблено стратегії управління ризиками та забезпечення високого рівня

захисту інформації з позиції цифрової безпеки для успішної реалізації проєктів транспортної інфраструктури.)

3. Залеський О. В. Цифрове управління на підприємствах транспорту. *Агросвіт*. 2025. № 10. С. 176-182. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.10.176>

4. Залеський О. В. Інноваційні рішення для підвищення стійкості та конкурентоспроможності залізничного транспорту України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025. № 11. С. 202-208. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.11.202>

5. Залеський О. Цифрова трансформація пасажирської інфраструктури залізничного транспорту в умовах обмежених ресурсів. *Економіка та суспільство*. 2025. № 76. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-68>

тези доповідей і матеріали науково-практичних конференцій:

1. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Цифровізація як фактор підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень. *The 7th International scientific and practical conference “Science and innovation of modern world”* (London, 2023, March 23-25). London : Cognum Publishing House, 2023. P. 715-719. *(Особистий внесок: сформовано фактори привабливості поїздки для пасажирів залізничного транспорту.)*

2. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Переваги цифрової економіки для суспільства та бізнесу. *The 7th International scientific and practical conference “Topical aspects of modern scientific research”* (Токуо, 2024, March 21-23). Токуо : CPN Publishing Group, 2024. P. 318-321. *(Особистий внесок: сформовано основні переваги цифрової економіки для суспільства та бізнесу.)*

3. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Застосування цифрових інструментів маркетингу у сфері залізничних вантажних перевезень. *Матеріали двадцятої наук.-практ. міжнар. конф. «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика»* (Харків, 6-7 черв. 2024 р.). Харків, 2024. С. 220-222. *(Особистий внесок: запропоновано інструменти*

цифрового маркетингу для підвищення ефективності перевезень вантажів, створення нових можливостей для бізнесу та розширення географії логістики.)

4. Залеський О. В. Застосування цифрового маркетингу для підвищення якості обслуговування пасажирів на залізничному транспорті. *VIII Міжнародна наук.-практ. конф. «Innovative Development of Science, Technology and Education»* (Ванкувер, 09-11 трав. 2024 р.). Ванкувер, 2024. С. 646-649.

5. Залеський О. В. Використання цифрових технологій HR-менеджменту у сфері залізничних пасажирських перевезень. *The 1st International scientific and practical conference “Science in the modern world: innovations and challenges”* (Toronto, 2024. September 27-29). Toronto : Perfect Publishing, 2024. С. 451-453.

6. Залеський О. В. Розбудова інноваційної логістичної інфраструктури в системі мультимодальних перевезень в Україні. *Актуальні проблеми та тренди розвитку систем управління в сучасних умовах* : матеріали Міжнародної наук.-практ. конф. (Дніпро, 26 березня 2025 р.) / за заг. ред. Ю. Пройдака. Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2025. С. 84-86.

7. Залеський О. В. Цифрова трансформація залізничного транспорту як каталізатор структурної перебудови транспортної економіки України. *Матеріали III Міжнародної наук.-практ. конф. «Цифрова економіка»* (Київ, 5-6 червня 2025 р.). Київ : КНЕУ, 2025. С. 171-173.

8. Залеський О. В. Порівняння бізнес-моделей в умовах класичної та цифрової економіки. *IX International scientific and practical conference «SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF CONTEMPORARY SOCIETY»* (London, 4-6.04.2025). London, 2025. С. 487-489.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЯК ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
1.1. Сутність цифровізації та її роль у ринковій економіці	22
1.2. Необхідність впровадження цифрових технологій для підвищення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень	37
1.3. Підвищення ефективності вантажних перевезень за рахунок впровадження цифрових процесів	48
1.4. Тенденції та закономірності цифровізації залізниць світу.....	57
Висновки до розділу 1.....	62
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ СУЧАСНОГО РИНКУ НА ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАЛІЗНИЦІ.....	66
2.1. Сучасний стан діяльності залізничних перевезень в умовах кризи.....	66
2.2. Вплив цифровізації галузі на зміни в роботі залізничних перевезень..	81
2.3. Перспективи розбудова інноваційної логістичної інфраструктури в системі мультимодальних перевезень в Україні	99
2.4. Модель оцінювання рівня цифрової зрілості підприємств залізничного транспорту.....	110
Висновки до розділу 2.....	117
РОЗДІЛ 3. ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ПАСАЖИРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ЗАЛІЗНИЦІ	121
3.1. Розробка напрямків цифровізації інфраструктури залізничного транспорту	121
3.2. Підходи до організації проектного управління модернізацією інфраструктури залізничного транспорту	135
3.3. Модернізація інфраструктури пасажирського комплексу залізничного транспорту в умовах цифровізації ринку	157
3.4. Алгоритмічні моделі в системі цифрового управління пасажирськими перевезеннями та інфраструктурою.....	173
Висновки до розділу 3.....	178
ВИСНОВКИ.....	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	184
ДОДАТОК А Результати експертного опитування з оцінки ризиків цифрової трансформації залізничного транспорту	201
ДОДАТОК Б Програмна реалізація алгоритмічних моделей цифрового управління пасажирськими перевезеннями.....	203
ДОДАТОК В Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	204
ДОДАТОК Г Акти впровадження.....	207

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Інтенсифікація процесів цифрової трансформації у світі зумовила суттєві зміни у потребах споживачів на ринку транспортних послуг. Сьогодні немає практично жодної галузі, де цифровізація не залишила свій слід і не внесла свої корективи. Транспорт не виняток у цьому списку, а залізниця, що зараз є провідним видом транспорту в Україні, на плечі якого впав тягар війни, потребує кардинальної перебудови механізму надання послуг та сервісного обслуговування. Усі процеси залізничного транспорту повинні бути трансформовані з урахуванням цифрових технологій і сервісів.

Для залізничного транспорту України, який функціонує в умовах воєнного стану, цифровізація набуває критичного значення: вона визначає здатність галузі забезпечувати стійкість операцій, підтримувати економічну активність держави, задовольняти потреби населення в мобільності та адаптуватися до європейських стандартів. Наявні організаційно-економічні механізми управління цифровими процесами є фрагментарними, недостатньо інтегрованими та не враховують особливостей функціонування залізниці в умовах високої турбулентності, збройних загроз і структурних диспропорцій.

Попри значну кількість напрацювань у сфері цифровізації різних систем, якою займалися вітчизняні та закордонні науковці, такі як: О. Коваль, Л. Лишак, Т. Олешко, Н. Касьянова, Ю. Котельникова, С. Смерічевський, Р. Кац, Дж. Грей, Б. Румпе, К. Елдінг, Р. Морріс, М. Мурро, Б. Гейтс та ін., залишається невирішеною проблема формування цілісної системи цифрового управління залізничним транспортом, що поєднувала б стратегічні, тактичні та операційні рішення, була узгоджена з нормативно-інституційним середовищем та відповідає сучасним вимогам кіберстійкості й аналітичної спроможності.

Провідні українські вчені у сфері залізничного транспорту Ю. Бараш, В. Бобиль, В. Дикань, О. Кірдіна, М. Корінь, Л. Марценюк, О. Матусевич, Г. Обруч, О. Орловська, В. Овчиннікова, Б. Остапюк, А. Романюк, В.

Самсонкін, І. Токмакова, В. Торопова, Т. Чаркіна, В. Яновська, В. Задоя, О. Пікуліна та інші займалися проблемами цифрової трансформації й забезпеченням ефективності функціонування залізничного транспорту, проте питання побудови інтегрованих цифрових платформ, цифрового менеджменту та управління ризиками цифрової трансформації досі системно не розкриті. Це зумовлює необхідність комплексного теоретико-методичного дослідження проблематики та формування інноваційної моделі цифрового управління залізничним транспортом.

Значна кількість розробок та пропозицій щодо шляхів підвищення ефективності діяльності залізничного транспорту, кризовий стан, у якому опинилася галузь (особливо тривалі воєнні дії), актуалізують необхідність подальшого дослідження й потребують формування цифрових інструментів та нових підходів до організації управління цифровими технологіями.

З огляду на сучасні умови розвитку галузі, виникає потреба у формуванні теоретико-методичного базису, який би забезпечив підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту через упровадження цифрової моделі управління, цифрових інструментів і сервісів. Їхнє послідовне застосування створює можливості для зміцнення конкурентних позицій залізниці та її поступової інтеграції до європейського транспортного простору.

Такі передумови логічно визначили вибір теми дисертації, її об'єкт, предмет, а також дослідницьку мету й завдання. У цьому контексті особливої актуальності набуває комплексне наукове осмислення процесів цифрової трансформації та розроблення моделі управління, здатної враховувати особливості функціонування галузі в сучасних умовах.

Таким чином, дисертаційне дослідження спрямоване на вирішення актуальної наукової проблеми, пов'язаної з відсутністю методологічно узгодженої системи інтегрованого цифрового менеджменту, адаптованої до викликів воєнного стану, ресурсних обмежень та зростання вимог до цифрової стійкості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати й висновки дисертаційного дослідження є складовою розробок Українського державного університету науки і технологій у межах науково-дослідної роботи кафедри економіки та менеджменту за темою: «Інноваційний розвиток транспортної інфраструктури для мультимодальних перевезень та формування пасажирських хабів в Україні» (номер держреєстрації 0125U001650). У рамках тематики автором розроблено цифрові рішення для підвищення клієнтоорієнтованості та адаптації сервісів залізничного транспорту до вимог ринку.

Дисертація виконувалася з урахуванням і відповідно до основних положень Стратегії АТ «Укрзалізниця» на 2019–2023 роки (затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 червня 2019 р. № 591-р), Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), Стратегії людського розвитку (затверджена Указом Президента України від 02 червня 2021 р. № 225/2021).

Метою роботи є наукове обґрунтування та розроблення теоретико-методологічних і практичних засад управління цифровою трансформацією підприємств залізничного транспорту в умовах воєнного стану для забезпечення їхньої стійкості, ефективності та конкурентоспроможності.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі **завдання**:

1. Узагальнити теоретико-методологічні підходи до визначення сутності, принципів і чинників цифрової трансформації підприємств транспортного сектору, уточнити зміст поняття «цифрове управління» в контексті сучасних концепцій сталого розвитку.
2. Обґрунтувати роль публічно-приватного партнерства та державного регулювання у формуванні цифрової інфраструктури залізничного транспорту; визначити взаємозв'язок цифровізації та інституційного середовища.

3. Виконати діагностику рівня цифрової зрілості підприємств залізничного транспорту України, визначити бар'єри, обмеження й ризики цифрової трансформації в умовах воєнного стану.
4. Проаналізувати ефективність актуальних організаційно-економічних механізмів управління та запропонувати напрями їхньої адаптації до цифрових умов функціонування.
5. Розробити методику оцінювання ризиків цифрової трансформації з урахуванням специфіки транспортної галузі, міжнародних стандартів, визначити їх інтегральний рівень і сформувати реєстр критичних загроз.
6. Створити алгоритмічну модель прогнозування пасажиропотоку на основі методів машинного навчання для підвищення точності планування доходів і ресурсів.
7. Сформувати практичні рекомендації щодо впровадження інтегрованої системи цифрового менеджменту підприємств залізничного транспорту, орієнтованої на підвищення кіберстійкості, ефективності та сталості діяльності.

Об'єкт дослідження – процес управління цифровою трансформацією підприємств залізничного транспорту.

Предмет дослідження – теоретико-методичні підходи, моделі та механізми цифрового управління залізничним транспортом.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети й вирішення вказаних завдань використано такі методи: *порівняльний аналіз* – для аналізу світових тенденцій у напрямку цифровізації залізниць, впровадження смарт-інфраструктури, інтелектуальних систем управління рухом поїздів; *графічний метод* – для відображення показників роботи, тенденцій розвитку залізничного транспорту; *систематизація і класифікація* – для класифікації факторів розвитку залізничного транспорту; *моделювання* – для побудови моделі прогнозування пасажиропотоку з використанням рекурентної нейронної мережі; *системний підхід* – для аналізу залізничного транспорту як складної багаторівневої системи; *процесний підхід* – для розгляду діяльності залізниці як

сукупності взаємопов'язаних операційних процесів; *ризик-орієнтований підхід* – для аналізу впливу цифрових рішень на безпеку, надійність і стійкість функціонування залізничного транспорту; *ситуаційний підхід* – для обґрунтування необхідності адаптації управлінських рішень до конкретних умов функціонування залізниці; *інституційний підхід* – для аналізу цифровізації залізничного транспорту крізь призму нормативно-правових, регуляторних, організаційних та управлінських інститутів; *аналогії та екстраполяції* – для розроблення пропозицій щодо запровадження комплексного підходу до цифровізації в залізничній галузі.

Інформаційну базу дослідження становлять нормативно-правові акти України та країн Європейського Союзу щодо діяльності залізничного транспорту; наукові праці провідних вітчизняних і зарубіжних авторів з питань формування та реалізації ефективних стратегій створення інтегрованої системи цифрового менеджменту на підприємствах залізничного транспорту України, з питань цифрового управління, розвитку цифрових технологій, операційних процесів та інфраструктурних рішень; стратегічні документи та статистичні дані Міністерства інфраструктури України, статистичні дані Державної служби статистики України, ресурси мережі Інтернет.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в поглибленні теоретичних засад, удосконаленні методичних підходів і практичних положень щодо формування та реалізації стратегії створення інтегрованої системи цифрового менеджменту на підприємствах залізничного транспорту України. Найбільш важливі результати дослідження, що містять елементи наукової новизни, полягають у такому:

вперше:

- Розроблено інтегровану трирівневу модель цифрової модернізації пасажирської інфраструктури залізничного транспорту України в умовах воєнного стану, яка поєднує стратегічний, тактичний та операційний рівні. Модель враховує вимоги стійкості, енергоефективності та

клієнтоорієнтованості та є системним інструментом управління цифровими змінами в пасажирському комплексі.

- Запропоновано портфельну структуру управління цифровою трансформацією залізничної галузі, що охоплює п'ять основних напрямів («Цифрова інфраструктура», «Аналітичні системи та дані», «Цифровий двійник», «Клієнтські сервіси та платформи мобільності», «Цифрові компетенції персоналу») та координується Радою з цифрової трансформації залізниці (РЦТЗ). Це забезпечує узгодження державної політики, корпоративного менеджменту та технічних підсистем.

удосконалено:

- *Алгоритмічну модель прогнозування пасажиропотоку для залізничного транспорту, яка базується на рекурентних нейронних мережах і методах оптимізації та адаптована до високої нестабільності транспортних потоків в умовах воєнного стану. Модель дає змогу формувати сценарні розрахунки, підтримувати планування та удосконалювати управління навантаженнями.*
- *Методику оцінювання ризиків цифрової трансформації транспортних підприємств шляхом формування реєстру критичних ризиків, зокрема і воєнних загроз, та застосування експертного підходу (оцінка ймовірності та впливу). Це підвищило точність визначення рівня цифрової зрілості та пріоритетів інвестування.*
- *Підхід до організації проєктного управління цифровими ініціативами шляхом інтеграції гібридних методологій і забезпечення ітеративності, прозорості управління ресурсами та узгодження з державним регуляторним середовищем. Уточнено логіку побудови портфеля цифрових проєктів та механізми їхньої координації.*

набули подальшого розвитку:

- *Теоретичні засади публічно-приватного партнерства у цифровізації залізничного транспорту, зокрема механізми залучення міжнародних*

інституцій та адаптація інструментів ППП до умов обмежених фінансових ресурсів і високих ризиків.

- *Концепція «Залізниця 4.0» в українському контексті* розширена елементами кіберстійкості, системами ситуаційної обізнаності та компонентами сталого розвитку (енергоощадність, екологічні показники, цифрова доступність пасажирського сервісу).
- *Модель управління бізнес-процесами на підприємствах залізничного транспорту*, яка містить Логістику 4.0, Інфраструктуру 4.0, Вокзал 4.0, Інтелектуальні транспортні системи, Сервіс 4.0 тощо. Перевагою моделі є те, що впровадження інтерактивних інформаційних систем на станціях і у вагонах дасть змогу надавати пасажирам актуальну інформацію про розклад, затримки та умови подорожі. Це підвищить зручність і комфорт пасажирів, адже подорожі стануть більш передбачуваними та інформативними.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що обґрунтовані в дисертації теоретичні висновки, методичні підходи й практичні рекомендації можуть бути використані для розроблення моделі цифрового управління, допоможуть сформулювати інструментарій оцінювання цифрової зрілості, дадуть змогу оптимізувати процеси перевезень, підвищити соціально-економічну ефективність і забезпечити стаке зростання залізничного транспорту. Ці положення можуть бути використані в державній політиці цифровізації, корпоративних стратегіях розвитку, а також у навчальних програмах підготовки управлінського персоналу транспортної сфери.

Основні положення й рекомендації дослідження використано підприємствами транспорту. Зокрема, підходи до формування цифрової архітектури «Залізниця 4.0», впровадження аналітичних платформ і моделі управління цифровими проектами впроваджено в діяльність ТОВ «Лебединський МБДЕ завод «Темп» (акт про впровадження 23 вересня 2025 р.).

Теоретичні та практичні розробки, запропоновані в дисертації, використовуються в навчальному процесі Українського державного

університету науки і технологій у ході викладання дисциплін «Управління інноваційною діяльністю», «Управління змінами» і під час виконання кваліфікаційних робіт, що підтверджується актом впровадження від 8 грудня 2025 р.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, отримані в дисертаційній роботі й винесені на захист, здобуто особисто автором і відображено в наукових публікаціях. З наукових праць, опублікованих у співавторстві [2, 8, 10, 26, 75], у дисертації використано лише ті положення, ідеї та висновки, які є результатом особистої роботи автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дослідження пройшли апробацію на 8 міжнародних науково-практичних конференціях: Science and innovation of modern world (London, 2023), Topical aspects of modern scientific research (Tokyo, 2024), «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (Харків, 2024), Innovative Development of Science, Technology and Education (Ванкувер, 2024), Science in the modern world: innovations and challenges (Toronto, 2024), «Актуальні проблеми та тренди розвитку систем управління в сучасних умовах» (Дніпро, 2025), «Цифрова економіка» (Київ, 2025), Scientific achievements of contemporary society (Лондон, 2025).

Публікації. Основні положення й висновки дисертаційної роботи викладено в 13 наукових працях, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях, що внесені до міжнародних наукометричних баз даних; 8 тез доповідей на науково-практичних конференціях. Загальний обсяг наукових праць становить 4,75 друк. арк., з них особисто автору належать 4,00 друк. арк.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 208 сторінок, зокрема основний текст займає 170 сторінок. Матеріали дисертації проілюстровано 33 рисунками, 15 таблицями та містять 4 додатки. Список використаних джерел налічує 136 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЯК ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Сутність цифровізації та її роль у ринковій економіці

Залізничний транспорт України сьогодні перебуває на етапі глибинних цифрових перетворень під тиском світового технологічного прогресу та конкуренції інших видів транспорту. Історично залізниці впроваджували інновації повільніше, проте наразі прискорення цифровізації є критично необхідним для збереження конкурентних позицій і запобігання відтоку клієнтів до автотранспорту.

Додатковим чинником стала війна. В умовах воєнних викликів цифрові технології набули ще більшого значення як фактор стратегічної стійкості залізничного транспорту, даючи змогу підтримувати безперервність перевезень та мобільність населення навіть за обмежених ресурсів.

З огляду на це, постає *наукова проблема* розроблення цілісної програми цифрової трансформації залізничної галузі, яка б урахувала сучасні технологічні можливості, обмежені фінансові ресурси та підвищені вимоги до стійкості транспорту в умовах воєнних ризиків. Іншими словами, необхідно знайти баланс між нагальною потребою модернізації залізниці з допомогою цифрових рішень та реальними обмеженнями воєнного часу, окресливши науково обґрунтований шлях розвитку галузі.

Сучасні процеси цифровізації залізничного транспорту характеризуються неоднорідністю підходів, різною глибиною впровадження технологій та суттєвими відмінностями між науковими моделями цифрового розвитку й фактичною практикою підприємств.

Незважаючи на активне поширення концепцій «Залізниця 4.0», «Розумна мобільність міського транспортного середовища» та «Інтелектуальні транспортні системи», в українських реаліях спостерігається нерівномірність

цифрових перетворень, що зумовлює появу низки наукових суперечностей і потребує уточнення теоретико-методологічних положень цифрової трансформації галузі.

Наукова проблема полягає у відсутності цілісної теоретичної моделі цифровізації залізничного транспорту України, яка б враховувала такі фактори:

- специфіку пасажирського та вантажного секторів;
- вплив війни та обмежених ресурсів на темпи й пріоритети цифрової модернізації;
- необхідність узгодження європейських стандартів інтелектуальної транспортної інфраструктури з реальним технічним станом залізниць України;
- нерозвиненість методів оцінювання цифрової зрілості підприємств галузі.

У результаті аналізу теоретичних джерел виявлено ключові суперечності:

1. *Семантична суперечність*, коли в науковій літературі терміни диджиталізація (digitization), цифровізація (digitalization), цифрова трансформація (digital transformation) часто вживаються як синоніми, хоча стосуються різних рівнів технологічної еволюції.
2. *Методологічна суперечність*, оскільки частина авторів вважають цифровізацію переважно технологічним процесом, інші – управлінською парадигмою, а ще інші – комплексною зміною логіки функціонування підприємства.
3. *Практична суперечність* проявляється в тому, що очікувані ефекти цифровізації (скорочення витрат, підвищення безпеки, точності та швидкості перевезень) суттєво різняться з фактичними результатами, досягнутими УЗ в кризових умовах.
4. *Суперечність між стратегіями та ресурсами* полягає тому, що необхідність цифрових інвестицій зростає, але воєнний стан обмежує інвестиційні можливості.

Узагальнення цих суперечностей дає підстави стверджувати, що цифровізація потребує комплексного теоретичного осмислення та формування

власного авторського підходу до трактування ключових понять, які застосовуються в дослідженні.

Для розв'язання наукової проблеми цифрової трансформації залізничного транспорту в дисертаційному дослідженні застосовано комплекс методологічних підходів, що забезпечують системність, багатовимірність і наукову коректність аналізу досліджуваних процесів.

Системний підхід дає змогу розглядати залізничний транспорт як складну багаторівневу соціально-економічну та техніко-технологічну систему, у якій цифровізація є інтеграційним чинником розвитку. Такий підхід дає можливість ідентифікувати структурні елементи галузі, встановити взаємозв'язки між інфраструктурою, рухомим складом, технологічними платформами, персоналом і сервісною діяльністю та виявити закономірності переходу до цифрової моделі управління.

Процесний підхід орієнтований на розгляд діяльності залізниці як сукупності взаємопов'язаних операційних процесів: перевезень, технічного обслуговування, ремонту, логістичного забезпечення, сервісних операцій. У цьому контексті цифровізація розглядається як інструмент оптимізації, стандартизації та прозорості процесів, що забезпечує підвищення ефективності, безпеки та якості послуг.

Ризик-орієнтований підхід використовується для аналізу впливу цифрових рішень на безпеку, надійність і стійкість функціонування залізничного транспорту. Він охоплює оцінювання техногенних, кібернетичних, фінансових та операційних ризиків, що виникають у процесі цифрової трансформації, а також формування механізмів їх мінімізації. У межах цього підходу цифрові технології розглядаються не лише як інструмент підвищення ефективності, а і як засіб забезпечення безперервності роботи критичної інфраструктури, особливо в умовах воєнної загрози та нестабільності.

Ситуаційний підхід обґрунтовує необхідність адаптації управлінських рішень до конкретних умов функціонування залізниці. Він передбачає, що

характер і темпи цифрових перетворень повинні залежати від поточного стану галузі, ресурсних обмежень, технологічного рівня, ринкової кон'юнктури та зовнішніх загроз. Ситуаційний підхід дає змогу формувати гнучкі моделі управління цифровими змінами, що особливо важливо в умовах війни, постійних пошкоджень інфраструктури та необхідності швидкого відновлення перевезень.

Інституційний підхід забезпечує аналіз цифровізації залізничного транспорту крізь призму нормативно-правових, регуляторних, організаційних та управлінських інститутів, які визначають можливості, обмеження й траєкторію цифрових змін. Він дає змогу розглядати цифровізацію не лише як технологічний проект, а як комплексну інституційну реформу галузі, що змінює її структуру управління, нормативне поле, систему відповідальності та роль стейкхолдерів.

Використання системного, процесного, ризик-орієнтованого, ситуаційного та інституційного підходів створює комплексне методологічне підґрунтя для дослідження цифрової модернізації залізничного транспорту. Сукупність цих підходів дає змогу:

- відобразити багаторівневу структуру галузі;
- оцінити вплив цифровізації на процеси, ризики та інститути;
- обґрунтувати управлінські рішення щодо цифрової трансформації;
- сформуванати теоретичну базу для подальших моделей, що будуть розроблені в дисертації.

У контексті цифровізації залізничного транспорту в міжнародній науковій та практичній площині дедалі більшого поширення набуває концепція «Залізниця 4.0», яка є галузевим аналогом загальноекономічної парадигми «Індустрія 4.0», адаптованої до особливостей функціонування залізничних систем. Концепція визначає стратегічні напрямки розвитку цифрових технологій, операційних процесів та інфраструктурних рішень, що забезпечують створення «розумної», інтегрованої й стійкої цифрової залізниці майбутнього.

Концепція «Залізниця 4.0» базується на таких основних елементах:

1. *Кіберфізичні системи*, що об'єднують інфраструктуру, рухомий склад та інформаційні системи в єдиний цифровий простір, де дані генеруються, аналізуються та використовуються в реальному часі.
2. *Інтернет речей*, який забезпечує безперервний збір телеметрії про стан інфраструктури та рухомого складу, підтримує автоматичну діагностику та предиктивне технічне обслуговування.
3. *Штучний інтелект та машинне навчання*, що використовуються для оптимізації графіка руху, диспетчеризації, розподілу ресурсів, прогнозування попиту та зниження ризиків експлуатації.
4. *Цифрові двійники інфраструктурних об'єктів і поїздів*, які дають змогу виконувати симуляції, тестування сценаріїв, оптимізувати ремонти та інвестиційні рішення.
5. *Технології оброблення великих масивів даних та аналітичні платформи*, які забезпечують комплексну інтеграцію інформаційних потоків, підвищують обґрунтованість управлінських рішень та формують передумови для запровадження моделі управління залізничною галуззю, що ґрунтується на даних.
6. *Автоматизовані та автономні системи управління рухом*, які підвищують пропускну спроможність мережі, точність графіка, енергоефективність та безпеку.
7. *Централізоване управління інфраструктурою та логістикою через цифрові платформи*, що інтегрують діяльність усіх сегментів галузі – пасажирського, вантажного, інфраструктурного, сервісного.
8. *Стандартизація даних і взаємодії*, що забезпечують сумісність цифрових рішень на європейському рівні та формують спільний цифровий простір залізниць ЄС.

Концепція передбачає перехід від традиційних ієрархічних моделей управління до інтегрованих цифрових екосистем, де основну роль відіграють

взаємодія систем, автономність процесів, прискорена аналітика та безперервна підтримка рішень на основі даних. Загалом це забезпечує:

- підвищення надійності та безпеки транспортної системи;
- скорочення операційних витрат;
- підвищення точності графіка та пропускної спроможності;
- зниження впливу людського фактора;
- розвиток клієнтоорієнтованих сервісів у пасажирських і вантажних перевезеннях;
- формування стійкості інфраструктури в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних ризиків.

Для України концепція «Залізниця 4.0» має особливе значення, адже дає змогу:

- інтегрувати національну залізничну систему у європейський цифровий простір;
- забезпечити відновлення та модернізацію інфраструктури після воєнних пошкоджень;
- побудувати стійку, масштабовану та інноваційну модель управління галуззю;
- підвищити ефективність використання ресурсів в умовах їхньої обмеженості.

З огляду на це «Залізниця 4.0» може бути розглянута як концептуальна основа для формування в дисертації моделі цифрового управління залізничною інфраструктурою та персоналом, що робить її важливою складовою теоретико-методологічного блоку роботи.

Цифровізація є одним з ключових напрямів глобального розвитку, який охоплює всі сфери людської діяльності. Вона суттєво змінює спосіб життя, ведення бізнесу та взаємодію між людьми. Використання цифрових рішень сьогодні розглядається не лише як засіб підвищення ефективності процесів і забезпечення зручності, а і як необхідна умова стабільного розвитку та конкурентоспроможності на ринку.

Цифровізація – це процес інтеграції цифрових технологій у всі сфери людської діяльності: від особистого спілкування й побутових процесів до промисловості, освіти й сфери послуг. Вона передбачає поступовий перехід багатьох операцій і взаємодій у цифрове (онлайн) середовище.

Сутність цифровізації полягає не лише в удосконаленні наявних систем за допомогою новітніх технологій, але й у створенні абсолютно нових цифрових продуктів і сервісів. Активне впровадження таких рішень спричиняє масштабні зміни у всіх сферах суспільного життя, підвищуючи ефективність процесів і формуючи нові конкурентні переваги на глобальному рівні [1].

Загальна цифровізація різних галузей відбувається швидкими темпами в усьому світі. Усі сектори економіки розвинених країн поступово трансформуються в напрямі цифрової моделі розвитку й цифровізації бізнес-процесів. Це не обійшло транспортну галузь світу та України.

Якщо не використовувати цифрові технології на залізничному транспорті, існує загроза втратити можливість щодо ефективної конкуренції на ринку перевезень та забезпечення високого рівня якості послуг для пасажирів і вантажовідправників.

У розвинених країнах світу залізничні компанії давно вже активно впроваджують концепції «інтелектуальних поїздів», «розумних вокзалів», «смарт-інфраструктури» та розширюють спектр цифрових сервісів для користувачів [2].

Аналіз наукових публікацій свідчить про те, що поняття «цифровізація» досліджувалося багатьма вченими, тож існують різні його трактування. Наприклад, автор Р. Кац [3] визначає «цифровізацію як соціально-економічну трансформацію, яка ініційована масовим впровадженням використання цифрових технологій, тобто технологій створення, обробки, обміну і передачі інформації».

Науковці із Брукінгського інституту [4] наполягають, що «...цифровізація перетворює світ праці, набуття навичок роботи із цифровими технологіями

стало необхідною умовою для індивідуального, промислового, регіонального та національного успіху».

Дослідники Дж. Грей та Б. Румпе у своїй праці [5] визначили: «...цифровізація – це процес впровадження цифрових технологій, який трансформує бізнес-модель підприємства, відкриваючи нові можливості для отримання прибутку».

Науковці К. Елдінг та Р. Морріс [6] розкрили, що «цифровізація має суттєвий вплив на ключові економічні показники, зокрема на рівень конкуренції, продуктивність праці, зайнятість, а також на взаємодію з інституціями та системами управління», тож стає зрозуміло, чому останнім часом у неї вкладають такі значні гроші.

У своїй роботі [7] дослідник Б. Гейтс обґрунтовує перевагу цифровізації, наголошуючи, що вона забезпечує компаніям здатність своєчасно та адекватно реагувати на будь-які зміни в зовнішньому середовищі, враховувати потреби споживачів і дії конкурентів, адаптуючи свою діяльність до нових умов.

Ґрунтуючись на наукових дослідженнях, для залізничного транспорту ми можемо запропонувати таке авторське визначення: цифровізація залізничного транспорту – це цілеспрямована зміна управлінських процесів і бізнес-моделі підприємства через інтеграцію даних, аналітики та цифрових платформ для оптимізації управління перевезеннями, підвищення безпеки та якості послуг, що забезпечує стійкість і ефективність функціонування транспортної системи в умовах невизначеності.

За останні п'ятнадцять років дуже швидко поширилися цифрові технології. Життя людства стрімко змінюється з появою великої кількості мобільних додатків, онлайн-сервісів, використання штучного інтелекту, цифрових платформ. Ці технології змінили наші звички, наші вподобання та потреби.

Змінюється наша економіка, яка теж стає цифровою. Цифрові технології з'являються в різних сферах життя та бізнесу. Зараз відбувається поступовий перехід від фізичного світу до віртуального. Навіть управління бізнесом стає

повністю цифровим, використовуючи різноманітні додатки, цифрові платформи, сервіси, віртуальні сховища, інструменти диджитал-маркетингу та інше. Керівник за допомогою декількох кліків може отримати інформацію про своє підприємство, бачити його проблеми та переваги.

Сьогодні цифровізація розглядається як один із головних чинників зростання світової економіки в найближчі 5–10 років. Вона дає можливість підвищити конкурентоспроможність компаній, ефективність праці, економити час завдяки сучасним технологіям, а також створювати нові товари й послуги з кращою якістю та доданою цінністю. Цифровізація стає ключовим драйвером успіху та підвищення рівня якості та комфорту життя людей.

Зараз значення цифровізації та її вплив на світову економіку є надзвичайно важливим. Особливо прискорили розвиток цифрових технологій пандемія та воєнні дії в Україні. Через неможливість нормального спілкування, здійснення поїздок, купівлі товарів і послуг дуже поширилося використання цифрових технологій, що пришвидшило розвиток цифрової економіки. Велика кількість людей у компаніях перейшла на віддалений формат роботи.

Навчальні заклади пропонують різні форми навчання, зокрема очну, заочну, дистанційну та змішану (комбіновану) форми. Це дає змогу студентам обирати найбільш зручний формат освіти залежно від їхніх потреб, можливостей та особистого розкладу.

Цифрова економіка відображає перехід від традиційних економічних моделей до економіки, де цифрові технології відіграють ключову роль у всіх сферах суспільства. Вона постає важливим чинником розвитку сучасного суспільства, впливаючи на економіку, соціальні структури та політичні процеси, і її успішна реалізація потребує не лише технологічних інновацій, а й адаптації правових, економічних та соціальних систем.

У транспортній сфері впровадження цифрових технологій сприяє підвищенню ефективності та якості перевезень, а також розширює спектр послуг для пасажирів. До таких послуг належать: електронні системи бронювання та оплати квитків; надання актуальної інформації про рух поїздів

за всіма напрямками; ознайомлення з новими маршрутами та туристичними пропозиціями, а також доступ до спеціальних акцій і бонусних програм.

Серед основних переваг, що вказані в таблиці 1.1, слід виокремити прозорість економічних операцій, що відкриває шлях до знищення корупційних схем. У рамках цифрової економіки всі фінансові операції стають прозорими та підлягають точному контролю, що практично унеможливує фальсифікацію декларацій або ухилення від сплати податків у умовах «мережевого» нагляду. Крім того, цифрові технології дають змогу оптимізувати виробничі та обслуговуючі процеси, автоматизувати окремі етапи роботи, що сприяє підвищенню продуктивності праці на різних рівнях [8].

Таблиця 1.1

Основні переваги цифрової економіки для суспільства та бізнесу

(розроблено автором)

Переваги цифрової економіки для суспільства	Переваги цифрової економіки для бізнесу
Моніторинг та прозорість економічних операцій	Комунікація із клієнтами 24/7
Збільшення продуктивності праці, скорочення робочого часу	Підвищення конкурентоспроможності через поширення інновацій
Поява нових інноваційних продуктів, послуг та сервісів	Ефективне просування товарів та послуг. Поява нових цифрових інструментів, нових бізнес-моделей
Доступ до нових ринків, нової продукції	Удосконалення бізнес-процесів
Швидка доступність до товарів і послуг, сервісів	Поява нових напрямків та можливостей бізнесу, поява цифрових клієнтів
Підвищує якість життя	Зростання електронної комерції

Перехід до цифрової економіки дає нові можливості для підвищення якості життя суспільства. Поява цифрових додатків, сервісів та платформ забезпечує швидкий доступ до інформації, необхідної для споживачів, що прискорює отримання більшої кількості товарів та послуг.

Якщо розглядати переваги цифрової економіки з боку бізнесу, то тут очевидними є такі позитивні моменти:

- цілодобова взаємодія з клієнтами, яка передбачає надання підтримки, відповіді на їхні запитання та забезпечення індивідуального підходу, створює комфорт та зручність для користувачів. Такі канали сприяють поліпшенню взаємодії з клієнтами та пришвидшують вирішення питань;
- суттєве підвищення конкурентоспроможності компаній досягається завдяки можливості пропонувати якісні товари та послуги за доступнішими цінами, організовувати різноманітні акції та спеціальні пропозиції. Крім того, використання цифрових технологій сприяє формуванню позитивного іміджу, що дає змогу залучати більшу аудиторію потенційних клієнтів;
- створення можливостей для появи «цифрових клієнтів», коли клієнти починають співпрацю з бізнесом через цифрові платформи та сервіси; диджиталізація дає можливість цифрової трансформації підприємств, формується нова модель співпраці, розвивається електронна комерція, що дає додаткову привабливість для бізнесу;
- ефективне просування товарів відчутне в разі застосування необхідних стратегій маркетингу щодо аналізу ринку, проведення рекламних кампаній в інтернеті, соціальних мережах, створення мобільних додатків та інше. У наш час ми багато чого дізнаємося просто із світлин інтернет-простору, вже не кажучи про рекламу, яка постійно там присутня.

Зазвичай, коли користувачі шукають необхідний продукт, вони віддають перевагу інтернет-ресурсам з великою інформаційною базою. Саме тому багато початківців-підприємців відразу роблять акцент на використанні інтернету та цифрових технологій для просування свого товару чи послуги на етапі запуску та розвитку бізнесу.

Проте, як і будь-яке явище в нашому житті, цифровізація має дві сторони.

Серед основних недоліків цифрової економіки можна виділити такі (рис. 1.1):

- зростання безробіття – автоматизація та впровадження цифрових технологій призводять до скорочення деяких професій, які стають зайвими або замінюються машинами й програмним забезпеченням;

- ризик витоку інформації – зберігання та обробка даних у цифровому форматі створює загрозу несанкціонованого доступу, втрати або викрадення конфіденційної інформації;
- тотальний контроль – цифрові технології дають змогу здійснювати постійний моніторинг діяльності як компаній, так і окремих осіб, що може обмежувати свободу дій;
- залежність від інтернету – більшість процесів у цифровій економіці потребують стабільного доступу до мережі, а збої або відключення можуть призводити до порушення роботи бізнесу та надання послуг.



Рис. 1.1. Недоліки цифрової економіки (розроблено автором)

Окреслимо деякі аспекти ролі цифровізації в ринковій економіці [9]:

1. Підвищення продуктивності бізнесу: завдяки цифровим технологіям багато процесів у компанії можна автоматизувати, що прискорює роботу та робить її більш ефективною. Використання електронних систем управління ресурсами, CRM-платформ, хмарних сервісів та інших цифрових інструментів сприяє оптимізації виробничих процесів і поліпшенню обслуговування клієнтів.

2. Глобалізація бізнесу: цифрові технології дають компаніям можливість легко взаємодіяти та конкурувати на міжнародному рівні. Завдяки електронній комунікації, онлайн-торгівлі підприємства можуть розширювати свою діяльність, залучаючи клієнтів і партнерів з різних країн світу.
3. Інновації та дослідження: цифрові технології стимулюють розвиток наукових досліджень і впровадження інновацій. Вони дають можливість компаніям швидше освоювати нові технології та ефективно адаптуватися до змін на ринку.
4. Поліпшення взаємодії з клієнтами: реалізується через використання сучасних цифрових інструментів і платформ. Компанії можуть застосовувати месенджери, чат-боти, соціальні мережі та електронну пошту для швидкого і зручного спілкування з клієнтами цілодобово.
5. Збільшення конкурентоспроможності: підприємства, які ефективно впроваджують цифрові технології, можуть бути більш гнучкими та конкурентоспроможними на ринку. Вони можуть швидше реагувати на зміни, приділяти увагу інноваціям та надавати нові сервіси.
6. Підвищення продуктивності працівників: застосування цифрових інструментів для автоматизації повсякденних завдань допомагає співробітникам зосередитися на стратегічних і креативних обов'язках, що підвищує їхню ефективність і задоволеність роботою.
7. Нові моделі бізнесу: цифрові технології стимулюють появу нових моделей бізнесу. Наприклад, поділ на платформи, екосистеми, абонентські сервіси тощо. Це відкриває нові можливості для підприємств з різних галузей.

Протягом останніх років впровадження процесів цифровізації в Україні є одним з основних напрямів у державній політиці модернізації економіки та суспільного розвитку.

Цифрова трансформація визначена урядом як стратегічний пріоритет, що має забезпечити підвищення ефективності управління, формування нових

бізнес-моделей, удосконалення інфраструктурних систем та розширення цифрових компетентностей населення.

У 2022 р. Україна долучилася до програми «Цифрова Європа», що відкрило можливості для отримання фінансування за напрямками розвитку штучного інтелекту, хмарних обчислень, цифрових навичок, а також практичного застосування цифрових технологій в економічних та соціальних процесах. Це стало важливим кроком до інтеграції національної цифрової політики у загальноєвропейський простір та поглиблення співпраці у сфері інноваційних технологій.

Наукові дослідження останніх років показують, що Україна впевнено рухається шляхом цифрових трансформацій, і ці процеси поступово набувають системного характеру. У середньостроковій перспективі очікується подальше зростання масштабів цифровізації, її поширення на всі галузі економіки, а також формування нових інституційних умов, що сприятимуть реалізації міжнародних, національних і регіональних цифрових проєктів.

Поступове впровадження сучасних технологій формує підґрунтя для модернізації ринку праці, оптимізації виробничих процесів та розбудови цифрової інфраструктури, що є критично важливим для підвищення стійкості економіки у воєнний період.

В економічній площині цифровізація перетворилася на один з визначальних чинників розвитку ринкових систем, що забезпечує зростання бізнесу, посилення інноваційної активності, підвищення конкурентоспроможності підприємств та створення доданої вартості на основі інтелектуальних технологій.

Цифрові рішення стали невід'ємною складовою функціонування сучасних організацій та економічних моделей, оскільки вони не лише оптимізують операційні процеси, скорочують трансакційні витрати й підвищують якість управлінських рішень, але й формують нові можливості для залучення інвестицій, розвитку клієнтоорієнтованих сервісів і розширення глобальної присутності підприємств.

Особливої ваги для України це набуває в умовах воєнної агресії, адже цифрові технології допомагають підтримувати економічну активність, забезпечувати безперебійність критичних процесів та зберігати функціональність ключових секторів економіки.

На підставі критичного аналізу літератури обґрунтовано такі визначення базових термінів, що забезпечують теоретико-методологічний фундамент дослідження.

Цифровізація залізничного транспорту – це комплексний процес інтеграції цифрових технологій (інтернет речей, штучний інтелект, технології оброблення великих даних, хмарні сервіси, автоматизовані та кіберфізичні системи тощо) в усі функціональні сфери діяльності залізничної галузі.

Метою цифровізації є оптимізація управління інфраструктурою та рухомим складом, підвищення надійності, точності та ефективності перевезень, формування нової якості сервісних рішень на основі data-driven підходів. За своєю суттю цифровізація трансформує традиційну залізницю у кіберфізичну систему, здатну гнучко реагувати на зміну попиту, забезпечувати ситуаційну обізнаність у реальному часі та оперативно розв'язувати технологічні та логістичні проблеми.

Цифрове управління на залізничному транспорті – це сучасна управлінська концепція, яка ґрунтується на застосуванні цифрових технологій, інформаційно-аналітичних систем та інтегрованих платформ підтримки рішень для координації та оптимізації діяльності галузі.

Цифрове управління охоплює всі рівні функціонування залізниці, від оперативно-диспетчерського керування рухом поїздів до стратегічного планування розвитку інфраструктури, забезпечуючи автоматизацію, підвищення точності прогнозування та прозорість управлінських процесів. Воно створює єдиний інформаційний простір, у межах якого взаємодіють інфраструктура, рухомий склад, логістика та системи безпеки, що забезпечує синергію та зменшує ризики, властиві традиційним моделям управління.

Цифрова трансформація пасажирської інфраструктури – це глибинна системна зміна моделі функціонування інфраструктури пасажирських перевезень шляхом упровадження інноваційних цифрових рішень, що охоплюють вокзали, станції, поїзди, навігаційні комплекси та сервісні підрозділи.

До основних елементів такої трансформації належать: створення «розумних» вокзалів і транспортних хабів, обладнаних IoT-пристроями для моніторингу пасажиропотоків; використання автоматизованих систем керування рухом (АТО) на окремих маршрутах; застосування цифрових двійників інфраструктурних об'єктів для прогнозування технічного стану; розвиток клієнтоорієнтованих цифрових сервісів (е-квиток, мобільні додатки, інтегровані інформаційні платформи) [10].

У результаті пасажирська інфраструктура стає частиною єдиної цифрової екосистеми залізниці, що підвищує комфорт, безпеку, операційну стійкість та адаптивність перевезень. Важливо, що цифрова трансформація не зводиться до впровадження окремих технологій, а передбачає перебудову управлінських процесів, зміни в структурі взаємодії між суб'єктами транспортних послуг і формування нової якості пасажирського досвіду.

1.2. Необхідність впровадження цифрових технологій для підвищення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень

Залізничний транспорт в Україні є по праву однією з головних складових транспортної системи. Варто зауважити, що вигідне географічне положення України, проходження її територією транзитних вантажних та пасажиропотоків створює додаткові конкурентні переваги для розвитку.

Останніми роками залізничний транспорт почав відновлюватися після карантинних заходів і нарощувати свої обсяги перевезень, адже пандемія

завдала великих збитків усій транспортній галузі країни. Проте воєнні дії, що почалися на території України та тривають уже четвертий рік, знову додали збитків Укрзалізниці через руйнування інфраструктури та рухомого складу, який і так мав дуже значний знос. А на деяких напрямках пасажирські поїзди взагалі припинили перевезення, тому що була загроза для рухомого складу та пасажирів.

Загалом 2022 рік показав, що перевезення пасажирів залізничним транспортом на початку війни було чи не єдиним найбезпечнішим способом врятуватися. Так, у 2022 році АТ «Укрзалізниця» перевезло приблизно 1,4 мільйона пасажирів до країн ЄС. Зараз залізничний теж є найбільш затребуваним транспортом. Хоча колії та інфраструктура піддаються постійному руйнуванню, наші залізничники швидко відновлюють транспортне сполучення.

Укрзалізниця, незважаючи на нестачу рухомого складу, декілька тижнів у кризовому стані цілодобово вивозила біженців з небезпечних регіонів країни. Пізніше в міру розвитку подій багато людей повернулися додому. І пасажирські перевезення залізничним транспортом поступово почали відновлюватися. Зокрема, щодо перевезень пасажирів залізничним транспортом у далекому сполученні за підсумками 2023 року (рис. 1.2) ми бачимо, що кількість перевезених пасажирів зросла порівняно з 2022 роком до 25 мільйонів у далекому сполученні, тобто спостерігається збільшення практично на 48 %. Це свідчить про стабілізацію перевезень у пасажирському секторі, тому що це був практично єдиний доступний безпечний вид транспорту, який працює в будь-яких погодних умовах.

Але, незважаючи на збільшення обсягів пасажирських перевезень у 2023 році, коли сектор пасажирських залізничних перевезень вийшов на довоєнні показники щодо далекого сполучення, хронічна криза галузі залишається, на жаль, актуальною.

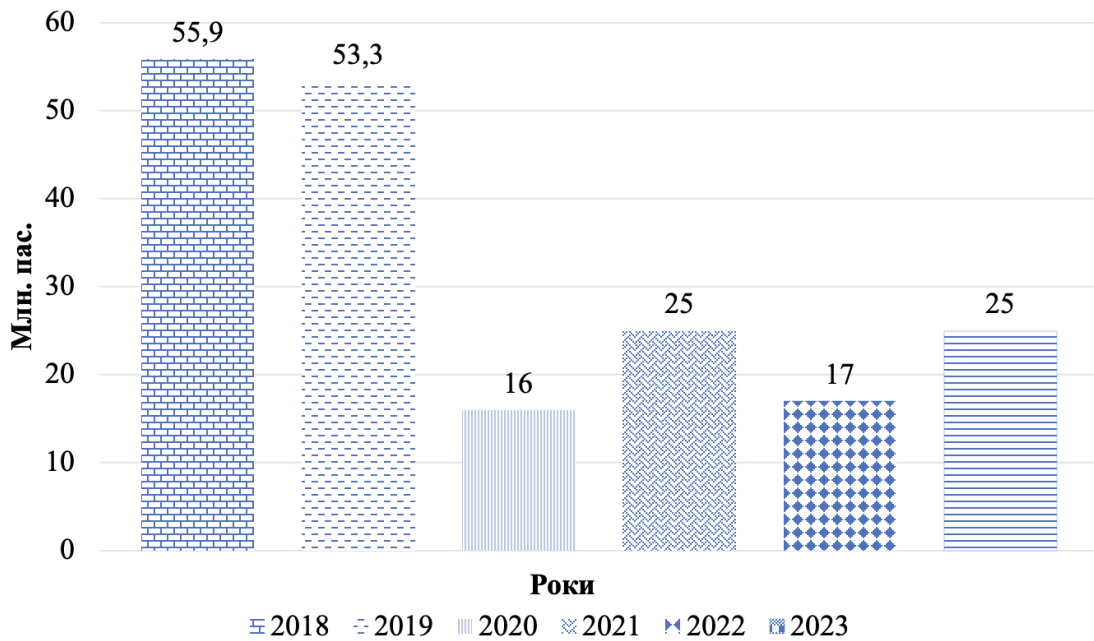


Рис. 1.2. Кількість перевезених пасажирів у поїздах далекого сполучення протягом 2018–2023 рр. (сформовано на основі [11])

До основних проблем, з якими стикається сфера пасажирських залізничних перевезень, варто віднести такі:

1. Критичний ступінь зношення основних фондів галузі.

Майже 90 % основного рухомого складу на залізничному транспорті потребує заміни або капітального ремонту.

З початку становлення незалежності України і до 2021 року інвентарний парк пасажирських вагонів був зменшений більш ніж у півтора раза. Якщо звернутися до фактів останніх років, то через аварійний стан рейок у 2021 році показник сходження поїздів з рейок виріс на 40 % порівняно з таким самим періодом попереднього року. Найбільш небезпечний випадок був з поїздом «Інтерсіті+» у березні 2021 року біля Запоріжжя, коли з колій зійшло шість з дев'яти вагонів [12]. Однією з причин цього стало повільне оновлення рухомого складу.

Зважаючи на низку аварій, керівництво УЗ почало оголошувати тендери на закупівлю вагонів. Так, у кінці вересня 2023 року було підписано договір із Крюківським вагонобудівним заводом на закупівлю 44 пасажирських вагонів

для нічних потягів на суму понад 2 млрд грн. У листопаді 2023 року Укрзалізниця підписала договір на 22 пасажирські вагони з Крюківським вагонобудівним заводом; вартість нових вагонів становила майже 1 млрд грн, а їхня якість повністю відповідає сучасним вимогам та характеристикам.

2. Зниження обсягів перевезень через низьку якість обслуговування та відсутність необхідного сервісу та комфорту під час перевезень.

Сьогодні пасажир прагне отримати всі необхідні для нього умови під час подорожі, але через застарілу інфраструктуру основного рухомого складу, вокзалів, станцій чи проміжних станцій це стає практично неможливим. Відсутність сучасних інформаційних засобів, кондиціонерів, Wi-Fi у поїздах та в місцях очікувань, неналежний стан санітарних вузлів на багатьох вокзалах і в поїздах, низький рівень комфорту, корупційні схеми, неефективне управління залізницею та багато інших факторів призвели до зниження якості обслуговування. Але, попри наявні проблеми, залізниця залишається економічно ефективним та надійним видом транспорту для великої кількості пасажирів.

3. Збитковість приміського сполучення.

Залізничні пасажирські перевезення, зокрема в приміському сполученні, є соціально спрямованими. Тобто, відповідно до свого призначення, залізниця здійснює перевезення громадян пільгових категорій, тому пасажирські перевезення у багатьох країнах світу здебільшого є збитковими. Ця проблема існувала на залізниці дуже давно, але раніше вона вирішувалася за рахунок перехресного субсидування (покриття цих збитків за рахунок прибутку від вантажних перевезень, які становлять 81 % від загального прибутку залізниці), а зараз місцеві бюджети не покривають вартість перевезень за пільговими тарифами. Це при тому, що на сьогодні Укрзалізницею здійснюється перевезення за 25 категоріями пільгових тарифів. Також існує велика кількість пасажирів без квитків або тих, хто частково оплачує проїзд. Тому потрібно розробити додаткові заходи для стабілізації цих процесів, зокрема нормально

запустити механізм компенсації коштів для Укрзалізниці за пільгові перевезення пасажирів.



Рис. 1.3. Напрямки впровадження цифрових технологій у секторі залізничних пасажирських перевезень (розроблено автором)

4. Зниження привабливості послуг залізничного транспорту для населення.

Останнім часом спостерігається зниження привабливості залізничних перевезень для населення. Це відбувається через відсутність рухомого складу

нового покоління, низький рівень комфорту, відносно низькі швидкості руху поїздів, невідповідність транспортних послуг європейським стандартам. Йде переорієнтація пасажирів на автомобільний транспорт. Але Євросоюз бажає бачити лідером серед видів транспорту на транспортному ринку залізницю через її екологічність та розгалуженість транспортної мережі, тому необхідно вжити заходів для відновлення лідерських позицій на ринку транспортних послуг.

5. Відсутність сучасної транспортної інфраструктури.

Сучасний стан транспортної інфраструктури Укрзалізниці не відповідає європейським нормам та має значний знос. Зношений рухомий склад, застарілі колії та обмежені швидкості – це все призводить до низької гнучкості, вищих операційних витрат і повільної доставки вантажів/пасажирів. Необхідна модернізація стримується обмеженим фінансуванням, а застарілість інфраструктури впливає на ефективність перевезень, впровадження нової смарт-інфраструктури, що визначає конкурентоспроможність країни на транспортному ринку.

Усі перераховані проблеми сектору пасажирських залізничних перевезень знижують загальну конкурентоспроможність галузі. За умов вчасного та ефективного вирішення цих питань можливо повернути привабливість та позитивний імідж галузі та економіці України загалом. Одна з таких можливостей – цифровізація залізничних пасажирських перевезень. Цей напрямок зараз розвивають багато залізниць світу. Виокремимо його основні аспекти:

1. Застосування цифрового маркетингу для підвищення якості обслуговування пасажирів. Цифровий маркетинг – це стратегія маркетингу, яка використовує електронні технології й канали зв'язку для просування продуктів чи послуг [13]. Його основне завдання полягає в тому, щоб використовувати Інтернет, мобільні пристрої, соціальні мережі, електронну пошту та інші цифрові платформи для спілкування з потенційними клієнтами, підтримки, роз'яснення та відповіді на запитання, що виникають.

У сфері залізничного транспорту цифровий маркетинг може бути використаний для підвищення обізнаності щодо послуг, поліпшення взаємодії з клієнтами та збільшення попиту на перевезення. Ось приклади цифрових маркетингових стратегій у цій галузі:

– соціальні мережі: залізничні компанії можуть використовувати соціальні мережі для комунікації з пасажирами та клієнтами транспортних послуг. Регулярні оновлення щодо розкладу, акцій та новин можуть бути розміщені на таких платформах, як Twitter, Facebook чи Instagram;

– мобільні додатки: розробка мобільного додатка для зручного планування поїздок, купівлі квитків, перегляду розкладів, інформації про затримки чи зміни в рейсах;

– контент-маркетинг: створення цікавого та корисного контенту, такого як блоги, відео, інфографіка, що допомагає пасажиром зрозуміти переваги та можливості залізничного транспорту. Для прикладу, це може бути встановлення дисплеїв для трансляції рекламних позицій. Саме тут пасажир зможуть побачити анонси унікальних маршрутів залізницею, що будуть запропоновані найближчим часом. Сюди також відносимо рекламу нових послуг, що будуть доступні для користування не тільки в поїздах, але й на вокзалах, станціях очікування та проміжних пунктах.

Запропоновані цифрові технології дають змогу залізничним компаніям виводити свої послуги на новий рівень ефективності, привертаючи увагу та поліпшуючи взаємодію з клієнтами через цифрові канали.

2. Запровадження єдиних стандартів управління рухом поїздів. Впровадження єдиних стандартів управління рухом поїздів може поліпшити ефективність та безпеку залізничного транспорту. Такий процес вимагає впровадження спільних технологічних, процедурних та організаційних стандартів для всіх систем управління рухом, зокрема дотримання технічних рішень європейської системи управління рухом поїздів ETCS і застосування цифрової сигналізації, перехід до технологій радіозв'язку нового покоління. Стандартизація в управлінні рухом поїздів допомагає уникнути непорозумінь

та конфліктів між різними залізничними системами, забезпечує рух поїздів та забезпечує його ефективність [14].

3. Підвищення безпеки під час користування послугами залізничного транспорту на основі цифрових технологій. Запровадження технологій «інтелектуальних потягів та розумних вокзалів».

Основні напрямки для використання цифрових технологій:

- встановлення бортових і колійних пристроїв безпечної ідентифікації рухомого складу;
- використання аналітичних алгоритмів для прогнозування можливих проблем, таких як зіткнення, зупинки або інші надзвичайні ситуації;
- використання систем автоматизованого блокування для автоматичного управління рухом поїздів та запобігання зіткнень;
- впровадження технологій, які автоматично вимикають та гальмують поїзд у випадку виявлення небезпечних умов;
- використання дронів для моніторингу великих ділянок залізничних магістралей та швидкого реагування на виявлені проблеми;
- розробка електронних систем, які дають змогу ефективно керувати та взаємодіяти з екстреними службами під час надзвичайних ситуацій;
- підвищення управління безпекою на залізничних станціях за допомогою цифрового двійника на основі моделювання [15].

На сьогодні *інтелектуальні потяги* — це концепція, яка здебільшого асоціюється з розвитком транспортної системи та застосуванням сучасних технологій для поліпшення функціональності та безпеки поїздів. Їхня сутність полягає в тому, аби забезпечити максимально комфортні умови під час подорожі залізничним транспортом. Зараз, наприклад, уже доступні послуги із вибору вагона пасажиром із огляду на температурний режим, у якому поїздка буде максимально комфортною. Також впроваджено функції «розумного вікна» або «розумного скла» – такі технології дають змогу автоматично регулювати прозорість скла залежно від зовнішніх умов або від побажань пасажирів. Тобто пасажирі мають можливість індивідуально керувати затемненням вікон на

своїх сидіннях, користуючись панелями управління або мобільним додатком. Зменшення проникання сонячних променів у поїзд, зі свого боку, зможе допомогти знизити теплове навантаження на систему кондиціонування, що приводить до економії електроенергії.

Інтелектуальні вокзали – це концепція, яка передбачає використання інноваційних технологій та систем для поліпшення ефективності, безпеки та зручності перебування пасажирів на залізничних станціях. Ця ідея спрямована на створення інтелектуальної інфраструктури, яка може забезпечити більш сучасний та зручний сервіс.

Прикладом цієї технології є електронні системи продажу квитків, інтерактивні інформаційні табло на станціях.

Цифровий двійник (Digital Twin) – програмний аналог певного фізичного пристрою, що моделює внутрішні процеси, технічні характеристики та поведінку реального об'єкта в умовах впливу перешкод та навколишнього середовища. Іншими словами віртуальна чи цифрова копія реального об'єкта, системи чи процесу (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Модель цифрового двійника у Німеччині (сформовано на основі [16])

Використання цифрового двійника може значно підвищити рівень безпеки та ефективності на залізничних станціях. Створення цифрового двійника може бути реалізовано для моделювання, наприклад, потоків пасажирів на станції, враховуючи різні умови, такі як час доби, свята; моделювання процесу евакуації в разі надзвичайних ситуацій, таких як пожежа або інші аварії тощо.

4. Аналіз та розробка майбутнього прогнозу пасажиропотоку. Аналіз та розробка майбутнього прогнозу пасажиропотоку за допомогою цифрових технологій може бути важливим етапом для підготовки транспортної інфраструктури до зростання або зменшення обсягу пасажирського руху. Наприклад, визначення днів тижня, у які пасажиропотік досягає максимального значення: зазвичай це п'ятниця та неділя. А от вівторок та четвер вважаються днями з мінімальними потоками.

5. Запровадження екологічних та енергоефективних цифрових технологій у поїздах. Екологічні цифрові системи управління в поїздах можуть містити різноманітні технології та інновації, спрямовані на зменшення викидів, оптимізацію енергоспоживання та поліпшення сталості залізничного транспорту. Сюди варто віднести:

- системи автоматичного керування енергозатратами для ефективного використання електроенергії в поїздах;
- використання систем адаптивного керування швидкістю, які оптимізують швидкість для забезпечення ефективного використання пального та зменшення опорів повітря;
- перехід до гібридних поїздів, які використовують альтернативні джерела енергії, такі як водень, наприклад;
- встановлення систем «розумних» освітлювальних та кондиціювальних систем, які реагують на пасажирський попит та оптимізують енергоспоживання;

- розробка мобільних додатків для пасажирів, які надають інформацію про екологічні аспекти подорожей, стимулюють використання громадського транспорту та зменшують вплив особистого транспорту на довкілля.

Розширення інтелектуальних систем управління енергоспоживанням та цифрових технологій моніторингу використання ресурсів на залізничному транспорті може призвести до ефективного використання енергії, зменшення викидів, поліпшення безпеки та оптимізації ресурсів. Так, японський виробник рухомого складу Hitachi Rail представив у Берліні на виставці InnoTrans 2022 сучасний акумуляторний гібридний поїзд, що значно скорочує викиди вуглецю та витрату палива до 50 %. Потяг використовує акумуляторну, електричну та дизельну енергію. Унікальним є той факт, що потяг здатний працювати і на електрифікованих, і на неелектрифікованих лініях [16].

6. Розширення функцій формування графіка руху поїздів на основі цифрових технологій. Завдяки розширенню функцій формування графіка руху поїзда на основі цифрових технологій можна значно поліпшити ефективність та точність планування залізничного руху, а саме використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування пасажирського попиту на різних маршрутах, автоматизоване планування графіків руху на основі попиту, графіків підтримки та інших факторів.

7. Використання цифрових технологій HR-менеджменту у сфері пасажирського господарства залізничних перевезень. Застосування сучасних цифрових технологій у сфері пасажирського господарства може значно полегшити й поліпшити процеси управління людськими ресурсами (HR-менеджмент).

HR-менеджмент сьогодні – це цілеспрямована діяльність керівника організації, що має на меті розробку концепції, стратегій та методів управління людськими ресурсами. У процесі цієї діяльності важливим аспектом є використання сучасних цифрових технологій.

Оскільки до основних функцій HR-менеджменту відносять саме підбір та навчання персоналу, організаційну роботу з його розвитку та мотивації,

операції з переміщення та звільнення, то саме цифрові технології допомагають ефективніше виконувати свої основні функції. Наприклад, у навчанні це полегшує проведення різноманітних тренінгів, корпоративних навчань, електронного навчання тощо. Основні аспекти, де цифрові технології можуть знайти застосування у сфері пасажирських залізничних перевезень:

- Електронні платформи для рекрутингу: використання онлайн-платформ для пошуку, оцінки та добору кандидатів може значно прискорити й полегшити процес найму персоналу. Це передбачає аналітику даних для підбору кандидатів, які найбільше відповідають вимогам посади.

- Системи управління персоналом (HRIS): цифрові системи для зберігання та обробки інформації про співробітників можуть спростити адміністративні завдання, такі як облік робочого часу, відпустки, оплати й податки [17].

- Електронна система оцінки та звітності: використання цифрових систем для оцінки робочої продуктивності та підготовки звітів може сприяти об'єктивності та ефективності оцінювання працівників.

- Системи електронного зберігання документів: заміна паперової документації цифровими системами для зберігання та обробки документів (наприклад, електронні кадрові досьє) сприяє безпечному зберіганню даних та забезпечує легкий доступ до них.

Отже, використання вказаних цифрових технологій у секторі залізничних пасажирських перевезень дасть змогу підвищити загальний показник конкурентоспроможності перевезень та підвищити дохід від перевезень пасажирів залізничним транспортом.

1.3. Підвищення ефективності вантажних перевезень за рахунок впровадження цифрових процесів

Залізничні вантажні перевезення відіграють важливу роль у світовій та регіональній торгівлі, транспортуванні товарів та забезпеченні ефективності логістичних ланцюгів.

Залізничні вантажні перевезення – це вид господарської діяльності, що надає послуги з професійного транспортування продукції виробничо-технічного призначення та виробів народного споживання з одного місця в інше.

Напередодні війни в Україні за величиною тонно-кілометрів переважали вантажні перевезення залізничним транспортом, а за тоннами – автомобільним. Зокрема, у 2021 році за тонно-кілометрами перевезення залізничним транспортом становили 51 % від загального обсягу, 32 % забезпечив автомобільний транспорт, 16 % трубопровідний, 1 % водний і лише 0,02 % авіа [18].

Після початку повномасштабних воєнних дій на території України обсяги залізничних вантажних перевезень значно скоротилися. Це відбулося, насамперед, у результаті спаду економіки України (скорочення ВВП на 33 % у 2022 р.). Водночас відбувалися значні масовані руйнування основної інфраструктури міст: доріг, мостів та мостових переправ, залізничної мережі та залізничних мостів. Тільки за перший рік внаслідок бойових дій пошкоджені або зруйновані 311 мостів і мостових переправ, 24,8 тис. км доріг. Станом на 23 січня 2023 року сума збитків транспортної інфраструктури становила 35–40 млрд дол. США [19].

Розглянемо основні причини спаду кількості вантажних перевезень залізницями України (рис. 1.5).

1. Збільшення конкурентоспроможності з боку автомобільного транспорту. Останнім часом спостерігається значне зростання ролі автомобільного транспорту, який стає одним з головних конкурентів залізничного транспорту.

2. Зміна логістики та обмеженість маршрутів. Військові дії на території України суттєво вплинули на логістичні процеси та маршрутну мережу

залізничного транспорту. Це призвело до значних змін у логістиці та створило нові виклики для вантажних перевезень.

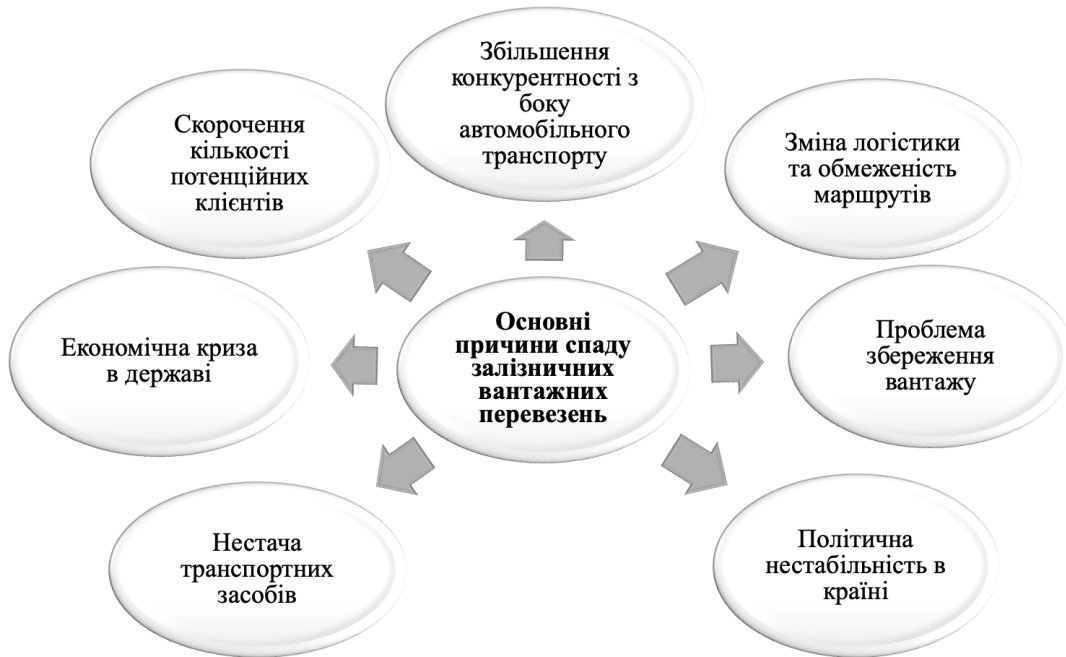


Рис. 1.5. Основні причини спаду ринку залізничних вантажних перевезень України в умовах військових подій (розроблено автором)

3. Неможливість повного збереження вантажу через постійні обстріли території України та її основних інфраструктурних об'єктів.

4. Нестача транспортних засобів через руйнування або пошкодження рухомого складу.

5. Зменшення потенційних клієнтів через велику кількість міграції населення в західні регіони країни та закордон.

6. Вплив політичних дій та міжнародних відносин. Політичні дії та міжнародні відносини значно впливають на вантажні залізничні перевезення, особливо в умовах війни. Для успішного функціонування в цих умовах необхідно адаптувати логістичні стратегії, впроваджувати нові технології та активно співпрацювати з міжнародними партнерами.

7. Економічна криза в державі, викликана воєнними діями на її території. Економічна криза, викликана війною, може призвести до зниження попиту на перевезення вантажів, що впливає на обсяги залізничних перевезень.

В умовах воєнного стану АТ «Укрзалізниця» спростила правила вантажних залізничних перевезень. Зокрема, спрощено механізм продовження терміну дії договорів про подання та забирання вагонів та інших документів, що укладаються відповідно до Правил обслуговування під'їзних шляхів, за допомогою обміну відповідними листами; дали дозвіл на застосування, без проведення регламентних робіт, усіх засобів ваговимірювальної техніки, що використовуються для зважування вантажів. Це сприяло відносному відновленню транспортування вантажів залізницею. У 2022 році в секторі вантажних залізничних перевезень переважало транспортування залізної та марганцевої руди (46 %), зерна (28 %), металу (10 %) [20] (рис.1.6).

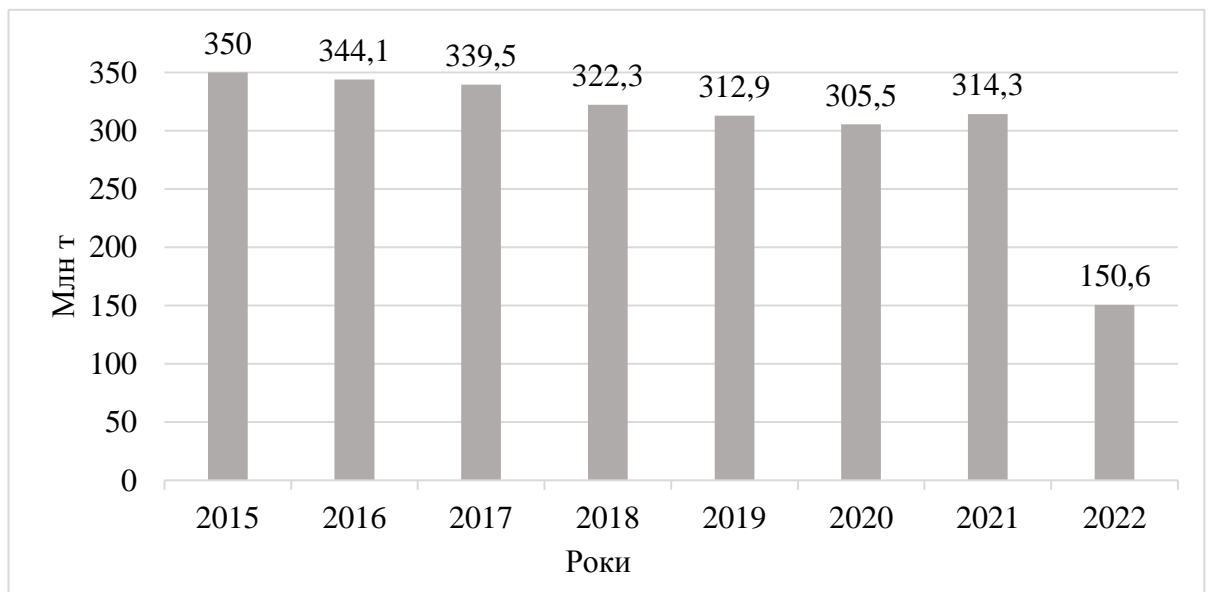


Рис.1.6. Динаміка зміни залізничних вантажних перевезень за 2015–2022 рр.

(сформовано на основі [11, 21])

Усі вищезгадані обставини зумовили закономірне зменшення обсягів перевезень в українській галузі транспорту та логістиці. За останніми даними щодо тенденцій розвитку ринку вантажних перевезень у 2022 році [22], війна спричинила зниження обсягів у таких видах перевезень:

- автомобільних перевезеннях – на 22 %;
- залізничних – на 48 %;
- морських – на 85 %;
- авіаційних – майже на 100 %.

Зниження обсягів вантажних перевезень у розрізі окремих сегментів відповідного ринку наведено на рис. 1.7.

Варто зауважити, що ключову роль у вантажних перевезеннях відіграли саме міжнародні перевезення, адже в умовах обмеження експорту основних статей аграрної промисловості України (таких, як пшениця, кукурудза, ячмінь тощо) виникла гостра потреба в забезпеченні зовнішньоторговельного обороту, що є необхідним для притоку іноземної валюти до України й певної стабілізації економічного стану.

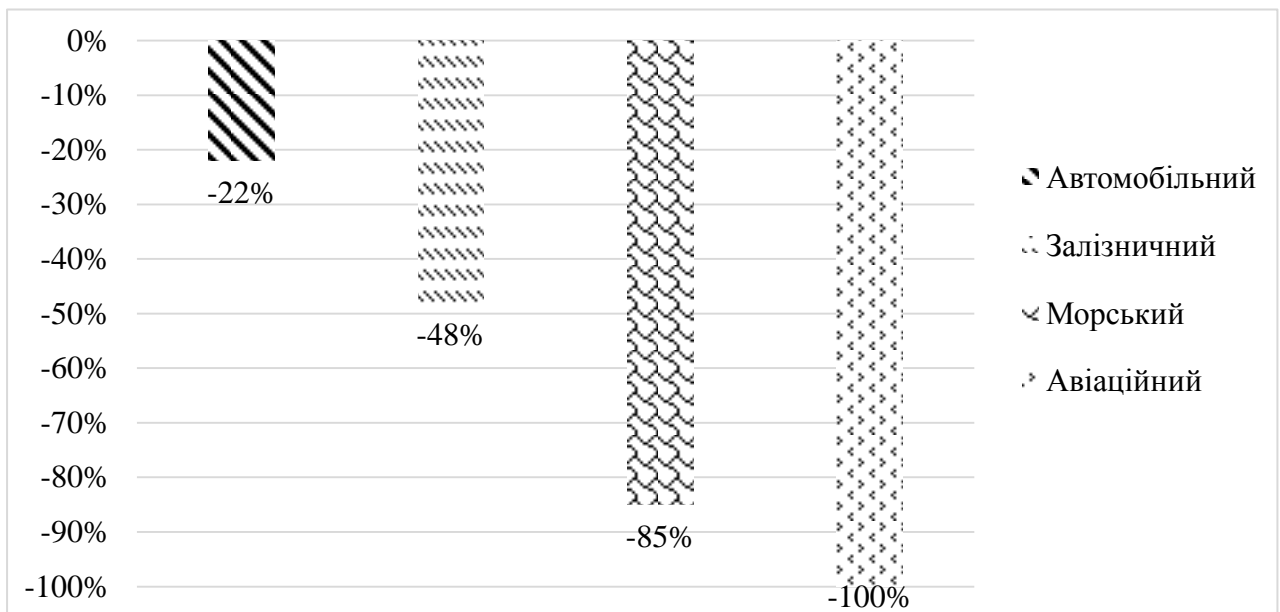


Рис. 1.7. Спад обсягів вантажних перевезень на території України після початку повномасштабного російського вторгнення, %

(сформовано на основі [11, 21])

Одним з основних пріоритетів розвитку транспортної галузі, визначених Національною транспортною стратегією [23], є запровадження й використання в перевізному процесі сучасних інформаційних технологій та електронного документообігу. Зважаючи на це, АТ «Укрзалізниця» презентувала програму

цифрової трансформації вантажних перевезень [24]. Ця програма розрахована на три роки, тому пропонуємо детальніше її розглянути:

1. Роботи, які вже почалися:

- розробка підсистеми «Е-Портал» (особистий кабінет клієнта);
- створення Єдиної автоматизованої системи ведення договорів;
- розробка підсистеми «Е-Замовлення» (планування перевезень);
- розробка АС електронного документообігу для розгляду претензій;
- окремі електронні сервіси: переадресування вантажів, автоматичне повідомлення про прибуття вантажів;
- розробка і впровадження в електронному вигляді всіх документів, пов'язаних з перевезенням та розрахунками за них;
- електронна взаємодія з митницею;
- впровадження електронних документів на міжнародні перевезення;
- застосування технології мобільних пристроїв;
- замовлення інших додаткових послуг в електронному вигляді;
- створення сучасної CRM системи для контакт-центру перевізника.

2. Досягнуто станом на сьогодні:

- запроваджено електронний документообіг;
- використовуються нові електронні сервіси, що значно прискорюють процедури укладання договорів, оформлення перевізних та інших документів;
- стабільність фінансових розрахунків з клієнтами здійснюються в онлайн-режимі;
- запроваджено автоматизований контроль за дотриманням вимог нормативних документів та договорів;
- значною мірою зникла залежність від помилкових дій працівників. Якісна інформація стала доступною. Оптимізовано бізнес-процеси та персонал.

3. Недоліки:

- необхідність клієнту реєструватися та працювати в різних автоматизованих системах, тим самим витрата часу на дублювання інформації;
- методи побудови IT-рішень не відповідають сучасним вимогам сервісного обслуговування користувачів.

Зважаючи на останні події глобального характеру, пов'язані з масштабними процесами цифровізації економічних процесів, нові розробки у сфері штучного інтелекту, інтернету речей, блокчейну та хмарних технологій набувають все більшого значення в господарстві транспорту, сприяючи, зокрема, підвищенню ефективності перевезень вантажів, створенню нових можливостей для бізнесу та розширенню географії логістики.

Розглянемо детальніше можливості штучного інтелекту та його застосування у сфері вантажних перевезень на залізниці, що наразі постає незамінним помічником у господарстві логістики та перевезень (рис.1.8).

Штучний інтелект (ШІ) – це галузь комп'ютерних наук, яка фокусується на розробці машин і систем, здатних виконувати завдання, що зазвичай вимагають людського інтелекту, такі як навчання, розв'язання проблем і прийняття рішень.

Штучний інтелект (artificial intelligence, AI) – це метод змусити комп'ютер чи програмне забезпечення «мислити» як людський мозок. Це досягається шляхом вивчення закономірностей роботи людського мозку та аналізу когнітивних процесів. Результатом цих досліджень є розробка інтелектуального програмного забезпечення та систем.

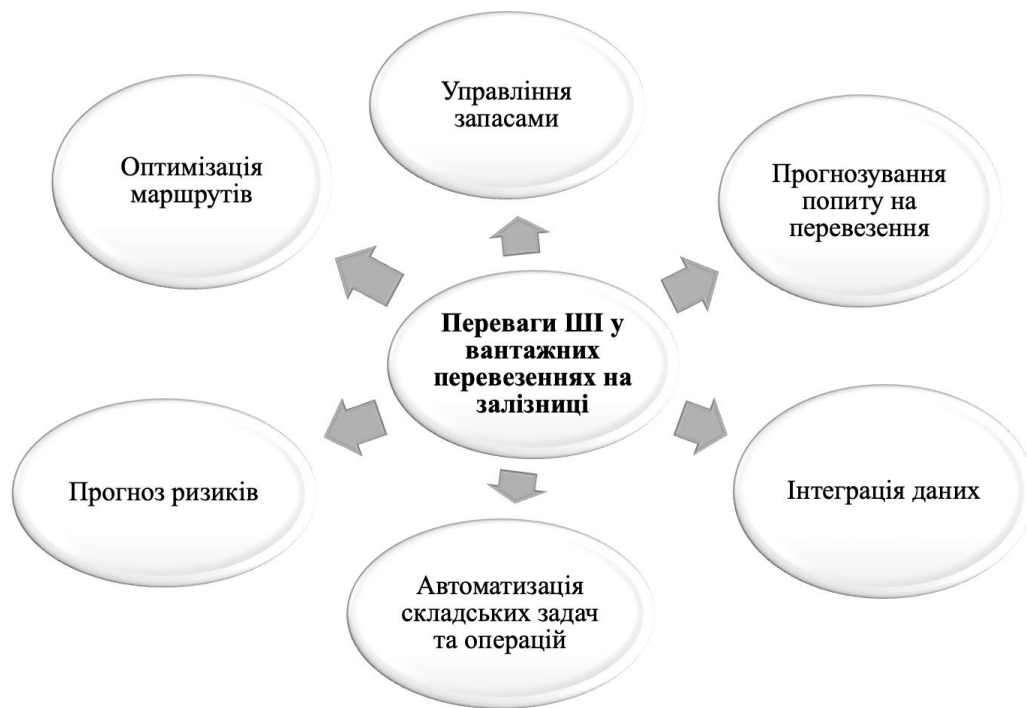


Рис. 1.8. Переваги застосування штучного інтелекту у сфері залізничних вантажних перевезень (розроблено автором)

Штучний інтелект може вивчати величезні набори даних будь-якого масштабу. Аналізуючи дуже багато залізничних поїздок, штучний інтелект може використовувати як історичні дані, так і події в режимі реального часу для точнішого операційного прогнозування майбутніх подій [25].

– *Оптимізація маршрутів.*

Штучний інтелект може вдосконалювати маршрутизацію транспортних засобів, оптимізуючи шляхи доставки, розподіл інформації про трафік, з урахуванням різних умов та обмежень.

– *Управління запасами.*

Автоматизовані системи можуть моніторити рівень запасів у реальному часі, сповіщати про необхідність поповнення та розробляти стратегії управління запасами, щоб уникнути надмірного або недостатнього запасу.

– *Прогнозування попиту.*

Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати величезні обсяги даних, враховуючи різні фактори, щоб точніше прогнозувати попит на товари.

Це дає змогу оптимізувати запаси та планувати постачання відповідно до реальних потреб.

– *Автоматизація складських операцій.*

Роботи та автоматизовані системи, які використовують ШІ, можуть ефективно виконувати завдання, такі як сортування товарів, вибірка, пакування та відправлення, зменшуючи час та помилки.

– *Інтеграція даних.*

ШІ допомагає узгоджувати та інтегрувати дані з різних джерел, що полегшує спільну роботу всіх елементів логістичного ланцюга та сприяє зниженню помилок.

– *Прогнозування та управління ризиками.*

ШІ може аналізувати різні ризики, пов'язані з логістикою, враховуючи такі фактори, як погодні умови, політична нестабільність, та розробляти стратегії для їх управління.

Взагалі, впровадження цифрових технологій наразі інтенсивно використовують у транспортних компаніях по всьому світу. Окрім технології штучного інтелекту, що була розглянута вище, застосовують також:

1. *Системи відстеження та моніторингу:* з використанням сучасних систем GPS та супутникового зв'язку дає змогу в реальному часі відстежувати рух вантажних потягів та їхній стан, визначити швидкість потяга та знати їх точне місцезнаходження для повної безпеки перевезень [26].

2. *Інтернет речей (IoT):* датчики та IoT-технології можуть бути використані для моніторингу стану вантажу, температурних умов, вологості та інших факторів. Це дає змогу забезпечити відповідність умов перевезення й попереджати про можливі проблеми [27].

3. *Цифрові платформи для логістики:* створення цифрових логістичних платформ дає змогу різним учасникам системи (вантажовласникам, перевізникам, терміналам) обмінюватися даними, розраховувати оптимальні маршрути та забезпечувати потрібну інформацію в режимі реального часу. Так, АТ «Укрзалізниця» в кінці 2023 року впровадила єдине цифрове вікно для

роботи клієнтів з вантажних перевезень – «е.Портал УЗ-Карго» [28], що є більш сучасною та зручною альтернативою використанню програмних продуктів «АС Клієнт-УЗ» та «МЕСПЛАН», робота яких наразі припинена. Ця система показала ефективність у вирішенні таких завдань:

- забезпечення обміну електронними документами та даними з клієнтами у сфері надання послуг з вантажних перевезень та пов'язаних з ними;
- забезпечення єдиного середовища опрацювання та оперативного зберігання електронних документів та даних клієнтів;
- відстеження статусу виконання перевезення;
- оптимізація людських та витратних ресурсів.

4. *Електронні та цифрові документи:* заміна традиційних паперових документів електронними форматами (наприклад, електронні накладні) спрощує облік та обробку даних, зменшує кількість помилок та прискорює обслуговування.

5. *Використання Blockchain:* технологія блокчейн може використовуватися для підвищення безпеки та надійності транзакцій, забезпечення автентифікації та відстеження документів та вантажів.

Блокчейн (або blockchain-технологія) – це децентралізована система зберігання та обробки даних, що розглядається як спосіб зберігання й узгодження бази даних, копія якої є в кожного учасника.

Технологія блокчейн робить значний внесок у вантажні залізничні перевезення, поліпшуючи безпеку та ефективність процесів, адже може служити як безпечна інфраструктура для електронних накладних, договорів та інших документів, що зменшує ризик втрати чи фальсифікації документації та спрощує процес обробки. У міжнародних вантажних перевезеннях блокчейн може допомагати вирішувати проблеми, пов'язані зі складністю міжнародних транзакцій, мовними бар'єрами та різними правовими системами [29].

Отже, можна констатувати, що цифрові технології сприяють підвищенню конкурентоспроможності, ефективності, зменшенню витрат та поліпшенню загальної продуктивності вантажних залізничних перевезень.

1.4. Тенденції та закономірності цифровізації залізниць світу

Цифровізація та цифрові інновації стоять за багатьма суттєвими змінами в нашому житті й переміщенні, зокрема. Цифровізація є основною тенденцією, що розвивається у світовому бізнесі та повсякденному житті. Це означає прийняття або збільшення використання цифрових і комп'ютерних технологій організацією, галуззю або країною (рис. 1.9).

Протягом останніх двох десятиліть залізничні компанії по всьому світу впроваджують нові технології, щоб зробити подорожі пасажирів більш комфортними. Тому сьогодні вже чітко визначено, що майбутнє залізничного транспорту – за цифровими рішеннями та технологіями, які вже сьогодні відіграють і продовжують грати значущу роль у розвитку залізничного транспорту та мають великий потенціал впливати на його майбутнє.



Рис. 1.9. Основні тенденції цифровізації залізниць у світі
(розроблено автором)

Саме тому, щоб прискорити темпи цифровізації залізниць і, таким чином, забезпечити майбутнє залізничної галузі, зацікавлені сторони повинні змінити спосіб роботи галузі, налаштувавшись на нові тенденції розвитку в цій сфері.

1. Поява цифрової смарт-інфраструктури та інтелектуального рухомого складу.

Залізнична інфраструктура Європи та інших країн світу активно модернізується з використанням сучасних цифрових технологій та інтелектуальних систем, що сприяє підвищенню ефективності, безпеки та зручності перевезень. Цей процес передбачає впровадження інтелектуальних вокзалів, депо та рухомого складу, а саме: інтелектуальні вокзали, інтелектуальні депо, інтелектуальний рухомий склад тощо. Наприклад, Німеччина Deutsche Bahn активно впроваджує інтелектуальні депо, зокрема в рамках проєкту Smart Rail Connectivity Campus.

2. Цифровізація клієнтського сервісу.

Клієнтський досвід стає ключовою темою для оператора залізничних перевезень. Пасажири вимагають кращих пропозицій послуг та інформації в режимі реального часу. Очікування пасажирів рухаються швидше, а конкуренція з боку нових гравців у сфері мобільності зростає, залізничним компаніям потрібно впроваджувати нові технології та пропонувати цифрові «новинки», щоб залишатися актуальними. Одним із таких рішень є цифрова комунікація з пасажиром за допомогою *додатків штучного інтелекту*.

Штучний інтелект має вирішальне значення для виявлення та зв'язку закономірностей із даних, створених передовими технологіями. Популярність штучного інтелекту значно зросла в центрах підтримки клієнтів на залізничних станціях.

Найпоширенішими застосуваннями штучного інтелекту на залізничному транспорті є:

- клієнтська аналітика;
- управління операціями в режимі реального часу;
- інтелектуальна система продажу квитків;

- технічне обслуговування;
- планування та розклад поїздів.

Європейський досвід впровадження цифрової комунікації з пасажирами за допомогою штучного інтелекту показує, що за останні 10 років європейські залізниці досягли найзначніших успіхів у формуванні прозорих комунікацій з пасажирами на станціях і зупинках. Ці послуги містять:

- більш інформативні та зручні вебсайти;
- інформацію в режимі реального часу про місцезнаходження поїзда або часу затримки;
- попереднє бронювання та купівлю квитків;
- бортові інформаційно-розважальні послуги;
- інформацію про розклад руху тощо.

Кілька залізничних операторів зробили мультимедійні інтернет-портали доступними для пасажирів на борту. Наприклад, у Австрії, Австрійська федеральна залізниця (ÖBB) використовує яскравий слоган, щоб залучити пасажирів до своїх залізничних послуг. У Німеччині пасажири залізниці можуть отримати доступ до Інтернету на більш ніж 135 станціях, у залах очікування Deutsche Bahn (DB) та на борту поїздів Inter-city Express (ICE).

Японський досвід на прикладі East Japan Railway Company, що розробила і впровадила в Токіо комунікаційного робота JR East з використанням технологій обробки природної мови (NLP) і розпізнавання образів. Багатомовний гуманоїдний робот здатний надавати відповіді, пов'язані із системами громадського транспорту, прилеглими об'єктами та екскурсійними заходами. Його дані складаються з 216 поширених запитань (FAQ) і відповідей, що базуються на інтерв'ю з туристичним і комерційним персоналом «обслуговування клієнтів». Цей комунікаційний робот може зменшити кількість запитів, з якими стикається персонал «обслуговування клієнтів» на станціях та вокзалах.

Для пасажирів з обмеженими можливостями використовуються роботи-помічники, які допомагають пересуватися по станціях, вокзалах та під час посадки-висадки в поїзд.

3. Цифрові системи управління та сигналізації.

Доведено, що цифрові рішення можуть радикально підвищити надійність і продуктивність залізничних перевезень. Наприклад, DB Netz є великою дочірньою компанією Deutsche Bahn, яка володіє та управляє більшістю залізничної системи Німеччини. Вона оцифрувала свої системи управління поїздами на майбутнє в рамках дослідницької програми, а саме «цифрової технології управління командами та сигналізації» [30].

Цифрові системи управління поїздами (ETCS - European Train Control System). ETCS є стандартом для автоматизованого управління рухом поїздів у Європі. Використовує цифрові комунікаційні пристрої та забезпечує безпечне управління швидкістю та відстань між поїздами та сигналізацією. Так, нещодавно Швейцарія оновила стратегію запровадження систем управління рухом поїздів ERTMS/ETCS [31].

4. Цифрові технології управління персоналом (HR - менеджменту) на підприємствах залізничного транспорту.

Використання цифрових технологій управління персоналом на підприємствах залізничного транспорту може значно полегшити рутинні процеси, підвищити ефективність та забезпечити оптимальне використання робочих ресурсів. Зокрема, це електронний кадровий документообіг, автоматизовані системи планування графіків робочого процесу та чергових відпусток, цифрові платформи для проведення навчань та тренінгів працівників, надання працівникам доступу до онлайн-ресурсів для самонавчання, можливості спілкування з професіоналами своєї справи та розвитку професійних навичок тощо [32].

5. Інтелектуальні системи енергоспоживання та енергозберігання на підприємствах залізничного транспорту.

Мова йде про інтелектуальні системи управління енергоспоживанням на залізницях, що може значно підвищити ефективність використання енергії та сприяти сталому розвитку транспортної інфраструктури, наприклад:

- систем на основі цифрових платформ, які дають змогу оптимізувати використання енергії для освітлення станцій, платформ та інших зон;
- систем, які автоматично регулюють кондиціонування повітря у вагоні залежно від зовнішніх умов та потреб пасажирів;
- систем для автоматичного регулювання напруги та потужності в електричних мережах.

Щодо запровадження інтелектуальних систем управлінням ресурсозбереженням на залізницях, це може бути використано для оптимізації використання різних ресурсів, зменшення витрат та поліпшення ефективності операцій. Серед цих заходів розгортання сонячних панелей, вітряних турбін, водневих елементів та інших джерел енергії на станціях та в інших точках залізничної інфраструктури.

У кінці 2022 року в Китаї запустили перший міський потяг на водневому двигуні, максимальна швидкість руху якого 160 км/ год. Він дає змогу проїхати до 600 км на одному заряді.

Максимальна пасажиромісткість такого потяга становить 1502 пасажири. Поїзд оснащений функцією інтелектуального водіння: автоматичне пробудження, старт та зупинка та функція повернення в депо. Додатково поїзд має зв'язок 5G, інтелектуальні датчики та системи моніторингу рухомого складу.

Також у Китаї нещодавно завершилися випробування власного вакуумного поїзда, який теоретично здатний розвивати швидкість понад 1000 км/год у вакуумному тунелі. У разі успішної реалізації проекту він стане найшвидшим засобом наземного транспорту. Поїзд під назвою *T-Flight* встановив максимальну швидкість понад 623 кілометри на годину в трубі з низьким вакуумом завдовжки два кілометри [33].

Отже, як бачимо із вищевикладеного матеріалу, процеси цифровізації залізничного транспорту є ключовим вектором досягнення його привабливості та сталого, продуктивного й ефективного розвитку галузі.

Висновки до розділу 1

Дослідження теоретичних засад цифровізації залізничного транспорту дає змогу сформулювати цілісне уявлення про сутність, передумови та стратегічне значення цифрових трансформацій у сучасній економіці та транспортній галузі зокрема. Цифровізація є ключовим вектором розвитку не лише високотехнологічних секторів, а й традиційних інфраструктурних галузей, зокрема залізничного транспорту, де вона забезпечує оновлення виробничих процесів, управлінських механізмів та сервісної взаємодії з користувачами.

По-перше, встановлено, що цифровізація як економічне та соціально-технологічне явище означає впровадження цифрових технологій у всі сфери діяльності, формування кіберфізичних систем та перенесення значної частини комунікацій, сервісів і управлінських функцій у цифрове середовище. Цей процес передбачає як модернізацію наявних технологічних і організаційних рішень, так і створення принципово нових цифрових продуктів, платформ і сервісів. Стрімке поширення цифрових технологій зумовлює трансформації економічних систем, формуючи нові конкурентні переваги для держав і підприємств.

По-друге, обґрунтовано, що цифрова економіка постає як стратегічний напрям еволюції сучасної ринкової системи, який охоплює використання цифрових платформ, аналітики даних, штучного інтелекту, інтегрованих інформаційних систем та електронних комунікацій. Вона сприяє підвищенню продуктивності, якості послуг, інноваційності бізнес-моделей та розширенню ринкових можливостей. Для України, яка інтегрується у європейський цифровий простір, розвиток цифрової економіки створює передумови для

модернізації інфраструктури, підвищення інвестиційної привабливості та формування економічної стійкості у воєнних умовах.

По-третє, визначено основні напрями використання цифрових технологій у сфері пасажирських перевезень. До них належать: розвиток цифрового маркетингу та персоналізованих сервісів; застосування інтелектуальних систем управління рухом поїздів; впровадження технологій «розумних вокзалів»; прогнозування пасажиропотоків із використанням великих даних та алгоритмів штучного інтелекту; впровадження енергоефективних технологій; цифровізація HR-процесів у пасажирському господарстві; розширення можливостей цифрового планування графіка руху. Реалізація цих напрямів підвищує конкурентоспроможність пасажирських перевезень, якість сервісу та фінансовий результат діяльності залізничного транспорту.

По-четверте, доведено, що цифрові технології мають вагомий потенціал підвищення ефективності вантажних перевезень. Використання систем моніторингу та відстеження рухомого складу, інтернету речей, цифрових логістичних платформ, електронних документів та блокчейн-технологій дає змогу оптимізувати логістичні процеси, скоротити витрати, підвищити надійність постачань і якість обслуговування клієнтів. Таким чином, цифрові інновації є фундаментом для формування стійкої, адаптивної та конкурентоспроможної системи вантажних перевезень.

По-п'яте, узагальнення світового й національного досвіду свідчить про те, що цифровізація залізниць є невідворотним та стратегічно незамінним процесом. Цифрові технології забезпечують стрибкоподібне підвищення ефективності роботи галузі: від зростання пропускнуєї спроможності інфраструктури до зменшення експлуатаційних витрат, підвищення точності графіка та енергоефективності. Інтеграція цифрових рішень у «єдину інформаційну платформу» формує нову якість керованості та стійкості залізничної системи, що має особливе значення в умовах війни, коли збереження та безперервність функціонування транспортної інфраструктури прямо впливають на безпеку держави.

По-шосте, існуючі міжнародні практики підтверджують результативність цифровізації: предиктивне технічне обслуговування знижує аварійність та витрати, цифрові сервіси прискорюють процеси обслуговування, а використання великих даних та алгоритмів оптимізації дає змогу збільшити пропускну спроможність без фізичного розширення інфраструктури. Для України це створює можливість інтеграції у європейську цифрову транспортну систему, зокрема шляхом впровадження стандартів CER, UIC та архітектури «Digital Rail».

Водночас дослідження виявили наявність методологічних і практичних суперечностей у визначенні змісту цифровізації, оцінці результатів впровадження цифрових рішень та застосуванні моделей цифрової трансформації у середовищі обмежених ресурсів. Це зумовлює потребу у формуванні системного підходу до розвитку цифрових компетентностей, оновлення нормативної бази та впровадження механізмів державно-приватного партнерства для фінансування цифрових проєктів.

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що цифровізація та цифрове управління є фундаментальними чинниками розвитку залізничного транспорту в XXI столітті. Для України цифрова трансформація залізниці має подвійну природу: це не лише інструмент підвищення ефективності галузі, але й ключовий фактор її стійкості в умовах війни та основа для післявоєнної відбудови. Реалізація інтегрованої програми «Цифрова залізниця» («Залізниця 4.0») створює потенціал для формування сучасної, технологічно розвиненої, безпечної та клієнтоорієнтованої моделі залізничного транспорту та забезпечить інтеграцію України у європейський транспортний простір.

Таким чином, розділ 1 формує теоретико-методологічний фундамент подальших досліджень, визначає наукову проблематику, окреслює ключові поняття та формує змістовні напрями для аналізу цифрової зрілості, ринкових впливів та механізмів цифрового управління інфраструктурою.

Наукові результати першого розділу знайшли відображення в наукових працях [2, 8, 10, 26, 32] за списком використаних джерел

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ СУЧАСНОГО РИНКУ НА ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАЛІЗНИЦІ

2.1. Сучасний стан діяльності залізничних перевезень в умовах кризи

В Україні третій рік поспіль тривають повномасштабні воєнні події. Безумовно, цей час є вкрай важким для економіки нашої держави. За оцінками експертів KSE, станом на 1 вересня 2023 року загальна сума прямих задокументованих збитків, завданих інфраструктурі України через повномасштабне вторгнення, сягнула 151,2 млрд дол. США. А загальні втрати економіки на весну 2023 року експерти оцінювали на рівні 545-600 млрд дол. США [34].

Але криза, яка зараз існує в Україні, це ще й нові можливості для поліпшення діяльності всіх галузей, і залізничний транспорт не виняток. Впроваджуючи сучасні тренди розвитку залізниць світу, ми прискоримо вихід галузі з кризового стану та розвинемо нові цифрові технології в умовах тотальної цифровізації.

На ринку транспортних послуг України процеси цифровізації стають ключовим фактором збільшення привабливості та конкурентоспроможності галузі, тож впровадження цифрових трендів стане ще однією перевагою залізничного транспорту.

Розвиток смарт-інфраструктури та інтелектуальний рухомий склад. Зарубіжний досвід показує, що в розвитку мультимодальних залізничних перевезень пасажирів важливу роль відіграють транспортно-пересадкові вузли – хаби, які узгоджують взаємодію між учасниками різних видів транспорту, поліпшуючи сервіс для клієнтів. У пріоритеті поява «розумних вокзалів», «цифрових депо», «інтелектуальних потягів», цифрових платформ, цифрових сервісів, які будуть забезпечувати додаткові послуги для клієнтів, безпеку пасажирів, вантажу, швидкий доступ до будь-якої інформації, узгодженість

графіків руху під час організації мультимодальних пасажирських і вантажних перевезень декількома видами транспорту за єдиним документом, можливість швидко обирати будь-який вид транспорту для перевезення пасажирів та вантажів, розвиток залізничного туризму, розробку бонусних програм, програм лояльності. «Інтелектуальні потяги» необхідні нам для поліпшення комфорту. У них передбачені: крісла-трансформери, які дають змогу змінити положення, якщо поїздка є тривалою; можливість зміни температури повітря у вагоні за допомогою системи кондиціонування; наявність «розумних вимикачів» для світла з дистанційним керуванням та інших приладів. Усе це поліпшить клієнтський сервіс і якість обслуговування [2].

Цифровізація клієнтського сервісу. Для Укрзалізниці це означає задовольнити очікування пасажирів: зменшення часу поїздки, збільшення якості та комфорту перевезень, максимальна інформованість, широкий спектр додаткових послуг, клієнтоорієнтованість послуг, а це дає можливість додаткових доходів.

Проте потрібно пам'ятати, що для різних поколінь необхідні різні підходи до цифрового сервісу. Молоде покоління дуже активно використовує соціальні мережі, віддає перевагу онлайн-самообслуговуванню, для них дуже зручно використання різних цифрових додатків, цифрових сервісів, чат-ботів, клієнтських портфелів. Ключовий фактор тут – доступність 24/7. Споживачі старшого покоління обирають інші канали, наприклад довідка телефоном. Практично всі компанії обслуговують змішану аудиторію, тож важливо пропонувати кілька варіантів взаємодії, враховуючи вподобання кожної групи. Це потребує глибокого розуміння потреб клієнтів та інтеграції цих знань у цифрову стратегію.

Цифрові системи управління та сигналізації (ETCS), які автоматизують процеси управління рухом, перемиканням стрілок та різними елементами інфраструктури. Вони функціонують у Європі, забезпечуючи максимальну безпеку, сумісність та безперешкодний рух поїздів між країнами.

Україні це теж необхідно, адже забезпечує поїздки, знижує ризики впливу людського фактору та обсяги використання палива [31].

Екологічність і енергоефективність залізничних перевезень. Залізничний транспорт є набагато більш екологічним, ніж автомобільний і авіаційний, тому багато країн надають йому перевагу та розвивають залізничне сполучення. Окрім цього, залізниця дуже енергоефективна, тому що в розрахунку на одиницю енергії може перевезти набагато більше пасажирів та вантажів. Тож коли ми обираємо залізничний транспорт, ми заощаджуємо різні ресурси та робимо крок назустріч збереженню нашої планети, піклуючись про довкілля.

Розвиток транскордонного сполучення залізниць. Для того щоб наша країна могла мати ще один додатковий прибутковий напрям діяльності, необхідно розвивати транскордонне сполучення. Така робота вже почалась у західному регіоні країни. Щоб налагодити тісний зв'язок з європейськими країнами, виконується трансформація залізничної інфраструктури. Україна почала будівництво європейської колії 1435 мм від прикордонного міста Чоп до Ужгорода. У 2025 році відбулося відкриття цієї залізниці, що поєднало через Ужгород міста України і Європи. Це дасть додаткову можливість збільшити пропускну спроможність залізниць України до Євросоюзу. Важливо прискорити модернізацію залізничного сполучення України з огляду на перспективу її членства в ЄС. Це зміни надзвичайно важливі для нової економіки України.

Звичайно, економічна криза, спричинена подіями останніх років в Україні, не могла не торкнутися транспортної галузі, зокрема залізничного транспорту. Робота залізниці під час воєнного стану взагалі варта окремої уваги, адже з перших годин незаконного вторгнення російських загарбників вона забезпечувала надзвичайно важливу функцію, від якої залежало існування Української держави, а саме: перевезення воєнної та гуманітарної допомоги. За часів дефіциту пального АТ «Укрзалізниця» забезпечувала потреби військово-цивільних адміністрацій зі своїх запасів, завдяки чому вдалося зберегти ритмічне постачання та запобігти деструктивним явищам у країні [35]. АТ

«Укрзалізниця» безкоштовно виконувала масштабні евакуаційні заходи. Так, із зони бойових дій та прилеглих до них територій до західних областей України були евакуйовані майже 4 млн осіб (причому за перші 8 днів ця цифра наближалася до 1 млн людей), понад 600 тис. осіб евакуйовані за кордон.

До 24 лютого 2022 року на українську залізницю припадало 60–75 % усього вантажообігу України. Для порівняння, у країнах ЄС така частка становить 15–18 % від усіх вантажних перевезень.

Залізничний транспорт має деякі переваги, які роблять його привабливим для вантажоперевезень, зокрема здатність перевозити великі обсяги вантажів на великі відстані та відносно низькі витрати порівняно з іншими видами транспорту.

Сьогодні залізниця продовжує демонструвати незламність, забезпечуючи стабільну роботу всіх підрозділів для швидкого та безпечного перевезення пасажирів, при цьому з урахуванням надійності та безперебійності руху. Керівники вищих підрозділів та президенти країн користуються саме залізничним транспортом для своїх візитів.

З початку повномасштабного вторгнення та введення воєнного стану була запроваджена комендантська година, яка сьогодні триває з 0.00 до 5.00 години ранку відповідно. Та попри це поїзди продовжують курсування, виконуючи посадку та висадку пасажирів навіть під час повітряних тривог.

За майже чотири роки повномасштабної війни та викликаної нею економічної кризи українські залізниці відмінно пристосувалися та навіть здійснили певний «стрибок» у розвитку. Розглянемо детальніше позиції, на яких УЗ закріпила свої вдалі проєкти:

1. Розширення міжнародного пасажирського сполучення.

Міжнародне залізничне сполучення в Україні має велике значення, особливо зважаючи на припинення авіаційного сполучення на невизначений термін. У період геополітичних та економічних викликів залізничний транспорт може стати важливим засобом не тільки для перевезення пасажирів, але й для забезпечення торговельних та транспортних зв'язків між Україною та іншими

країнами. Питання актуальності міжнародного залізничного сполучення у сфері пасажирських перевезень в Україні підтверджують такі тези:

- залізничні квитки значно дешевші за авіаперельоти, особливо на короткі відстані, що робить їх доступнішими для певних категорій пасажирів;
- для деякої частини пасажирів залізничний транспорт може бути більш комфортним та менш стресовим, особливо в тих випадках, коли авіаційні подорожі для них є не зовсім прийнятними через питання безпеки, стресу або обмеження багажу;
- залізничний транспорт – це екологічно чистий вид транспорту, що має менший вуглецевий слід порівняно з авіаперевезеннями, тому він може бути привабливим для тих, хто піклується про зменшення впливу на навколишнє середовище.

Таким чином, міжнародне залізничне пасажирське сполучення в Україні залишається актуальним та важливим, особливо за відсутності авіаперевезень, забезпечуючи зв'язок з іншими країнами та надаючи альтернативу для подорожей.

Починаючи з кінця 2021 року, після закінчення пандемії УЗ поступово почала відновлювати пасажирські поїзди. Одним з перших відновив свою роботу поїзд № 67/68 сполученням Київ–Варшава. Пізніше, у 2022 році, було запущено новий пасажирський поїзд за напрямком Харків–Київ–Хелм. Серед останніх оновлень щодо міжнародних пасажирських рейсів, то варто назвати поїзд №119/120 Дніпро–Хелм, який почав курсувати у 2024 році, зі зручним стикуванням у напрямку Варшави, що на цілих 4 години пришвидшує дорогу до столиці Польщі порівняно зі сполученням через Перемишль; розвиток хабового сполучення через Чоп: нові міжнародні поїзди Чоп–Відень та Чоп–Прага стикуються відразу з низкою поїздів по Україні [36].

2. Збільшення обсягів пасажирських перевезень.

Якщо подивися на динаміку перевезених пасажирів, то за 2023 рік залізничним транспортом України в далекому сполученні перевезено 25 млн пасажирів. Про таку кількість компанія повідомила у власному телеграм-каналі

[37]. У 2022 році цей показник становив 16,9 млн пасажирів, а у 2021 році – 25,6 млн пасажирів (рис. 2.1).

У розрізі міжнародного залізничного сполучення до Європи у 2023 році відповідно перевезено 2,1 млн пасажирів. У 2022 році цей показник становив 1,4 млн пасажирів (600 тис. перевезено евакуаційними рейсами), що у 10 разів більше за показник 2021 року – 146,9 тис. пасажирів (рис. 2.2).

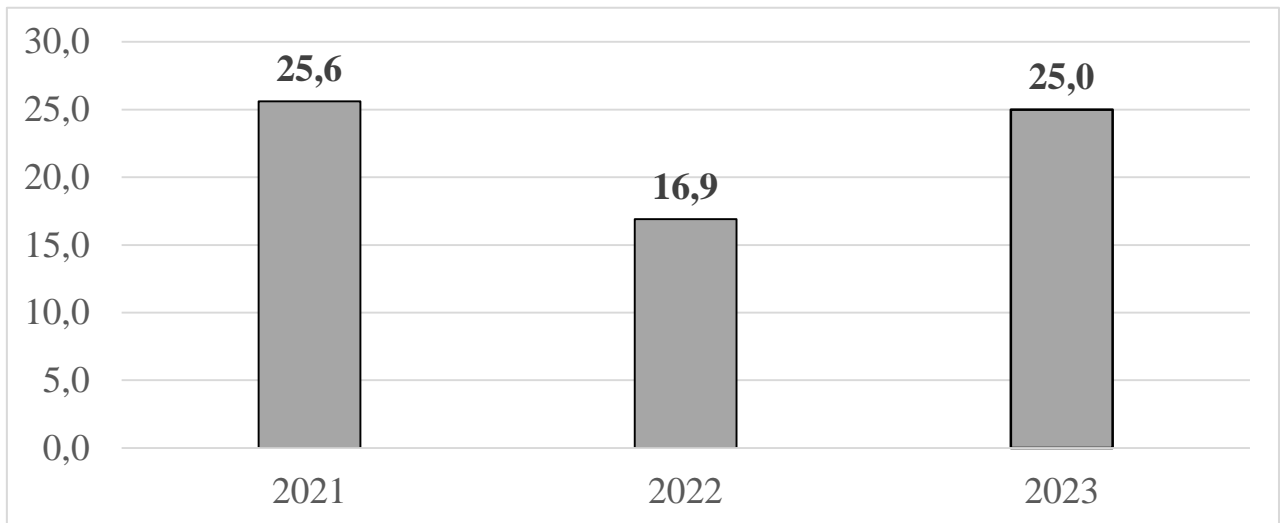


Рис. 2.1. Динаміка кількості перевезених пасажирів у далекому сполученні протягом 2021–2023 рр., млн пас. (сформовано автором на основі [37])

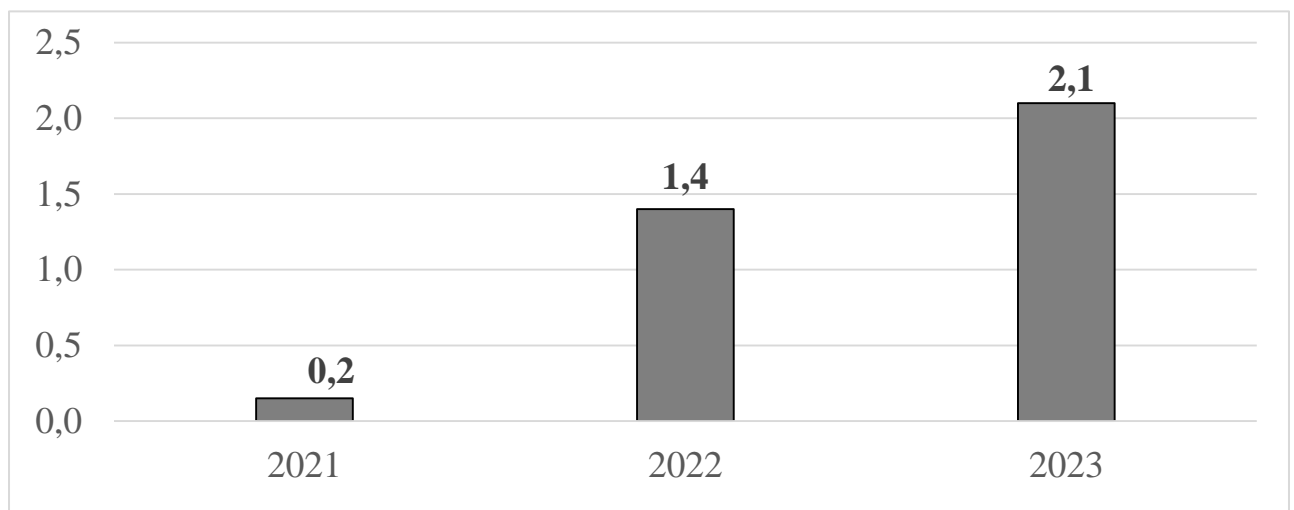


Рис. 2.2. Динаміка кількості пасажирів у міжнародному сполученні з країнами ЄС за 2021–2023 рр., млн пас. (сформовано автором на основі [37])

3. Зменшення вантажних перевезень.

Україна, маючи важливе географічне розташування між Європою та Азією, є потенційно важливим транзитним шляхом для товарів, які перевозяться між цими двома регіонами. Порівняно з авіаперевезеннями, залізничний транспорт позиціонує себе як економічно вигідніший, особливо для великих обсягів вантажів або довгих відстаней. Залізничний транспорт є ефективним способом доставки важких та великогабаритних товарів, які не підходять для перевезення авіаційним шляхом.

Упродовж 2023 року залізничним транспортом у всіх видах сполучень було перевезено 148,4 млн т вантажів. Загалом, обсяг вантажних перевезень в Україні за підсумками 2022 року скоротився майже на 50 % порівняно з 2021 роком (рис. 2.3 та рис. 2.4) у розрізі щомісячних даних вантажних перевезень за 2021–2023 роки відповідно.

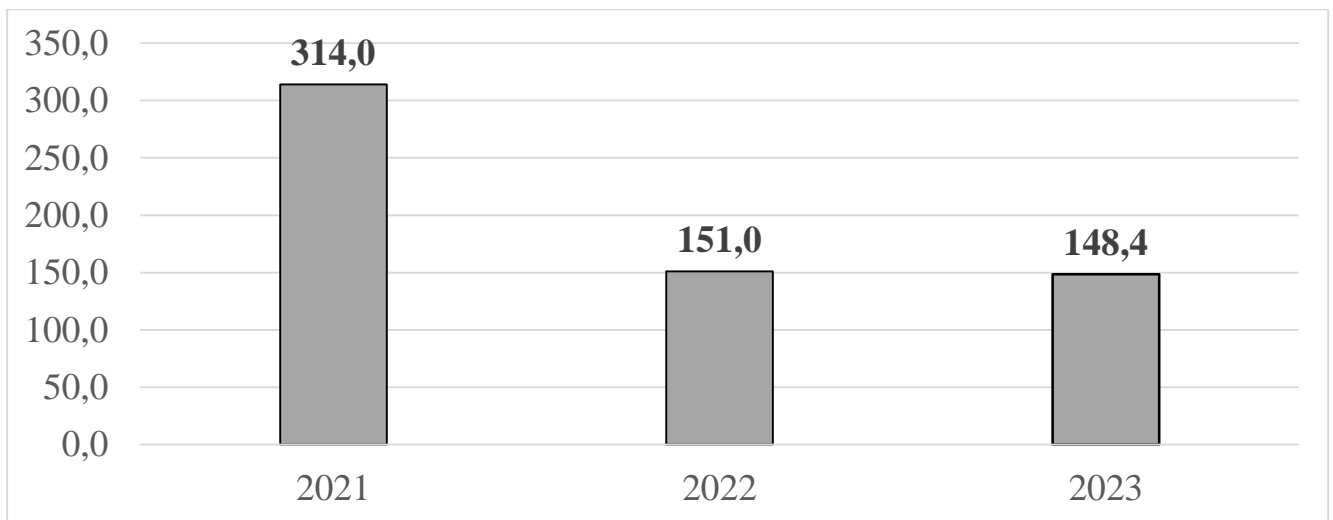


Рис. 2.3. Динаміка вантажообігу у 2021–2023 рр., млн т

(сформовано автором на основі [37])

Як бачимо, динаміка вантажообігу в 2021–2023 роках (див. рис. 2.3) значно залежала від економічних, політичних та соціальних факторів, зокрема пандемії COVID-19, економічних криз, геополітичних конфліктів та змін в глобальних ланцюгах постачання.

У 2021 році відбувалося поступове відновлення вантажообігу після спаду, викликаного пандемією COVID-19. Відновлення економічної активності сприяло зростанню попиту на транспортні послуги.

Початок війни в Україні в лютому 2022 року суттєво вплинув на вантажообіг, особливо в Східній Європі. Залізнична інфраструктура в регіоні зазнала серйозних пошкоджень, що призвело до перебоїв у перевезеннях. У 2023 році відновлення економічної активності в умовах нових реалій (війна, інфляція та зміни в глобальних ланцюгах постачання) привело до часткової стабілізації вантажообігу.

Загалом, динаміка вантажообігу в 2021–2023 роках була складною та залежала від багатьох факторів, зокрема економічних та політичних криз, а також адаптації до нових умов ринку.

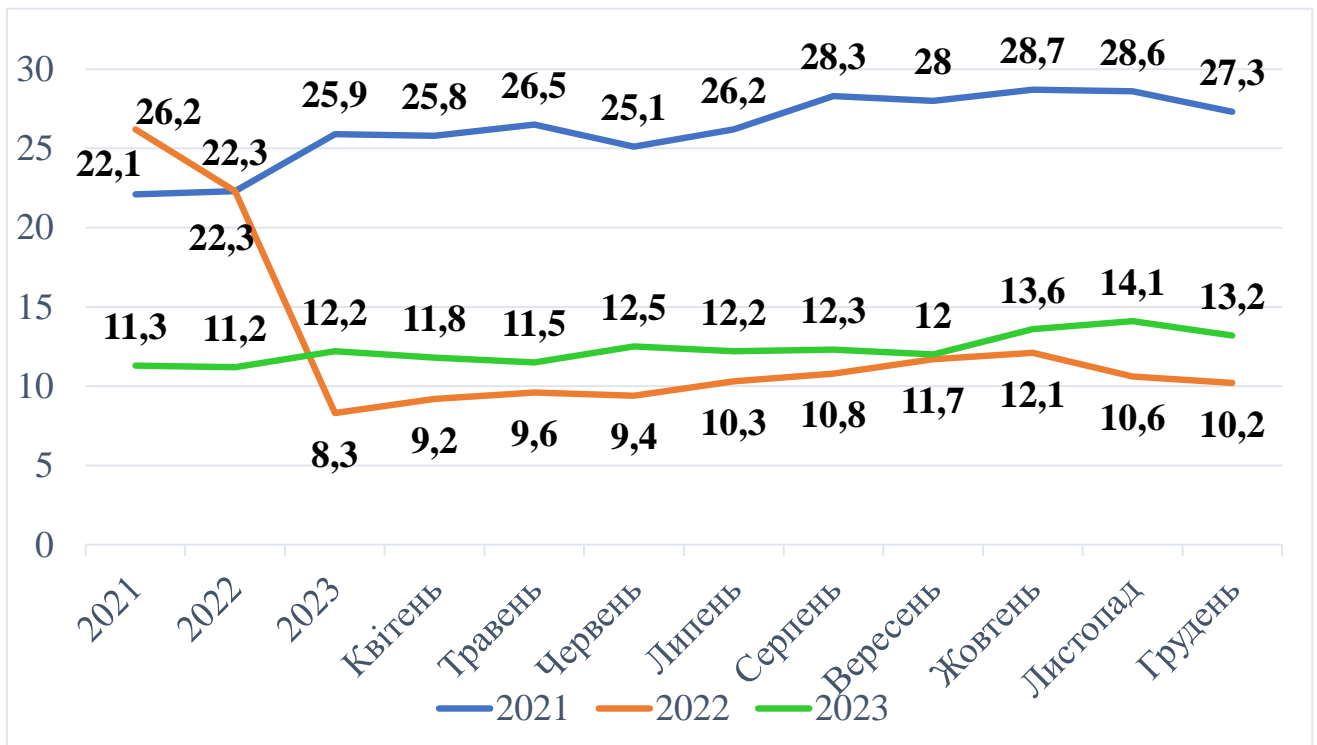


Рис. 2.4. Динаміка обсягів вантажних перевезень залізничним транспортом протягом 2021–2023 рр., млн т (сформовано автором на основі [38])

Характеризуючи вантажні перевезення залізничним видом транспорту, можливо відмітити, що за інформацією [37], у лютому 2024 року Укрзалізниця перевезла 14,5 млн т вантажів, що на 30 % більше, ніж за аналогічний період минулого року.

4. Збільшення показників фінансової доходності від перевезень залізничним транспортом.

Фінансовий стан галузі залізничних перевезень у сучасних умовах кризи, безумовно, є важливим фактором. Розглянемо детальніше фінансовий стан УЗ протягом останніх років. На рис. 2.5 зображено динаміку доходів від діяльності залізничних перевезень протягом 2021–2023 років.

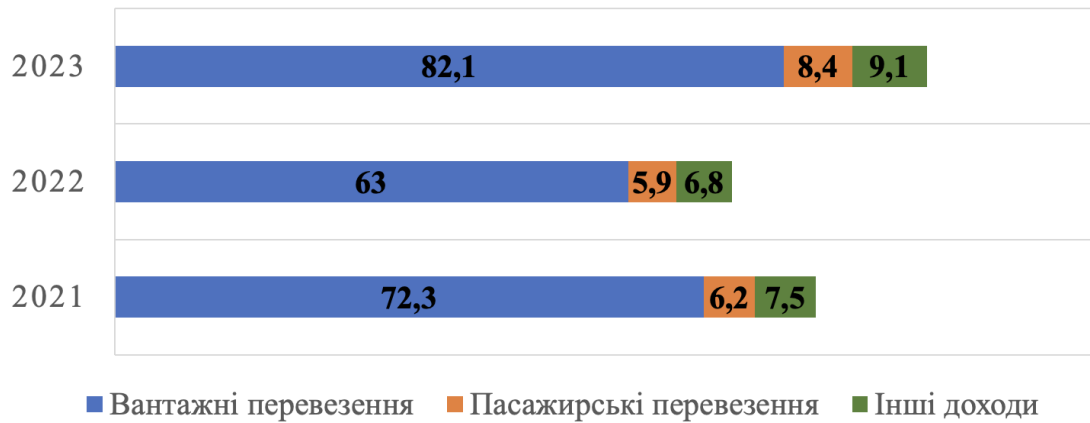


Рис. 2.5. Динаміка доходів від діяльності залізничних перевезень протягом 2021–2023 рр., млрд грн (сформовано автором на основі [38])

З рисунків 2.5 та 2.6 наочно видно, що починаючи з 2023 року спостерігається позитивна динаміка доходів від діяльності пасажирських та вантажних перевезень відповідно, а також збільшення чистого прибутку та рівня прибутковості відповідно (від збиткового показника – 12,6 % до 7,6 % прибутку).

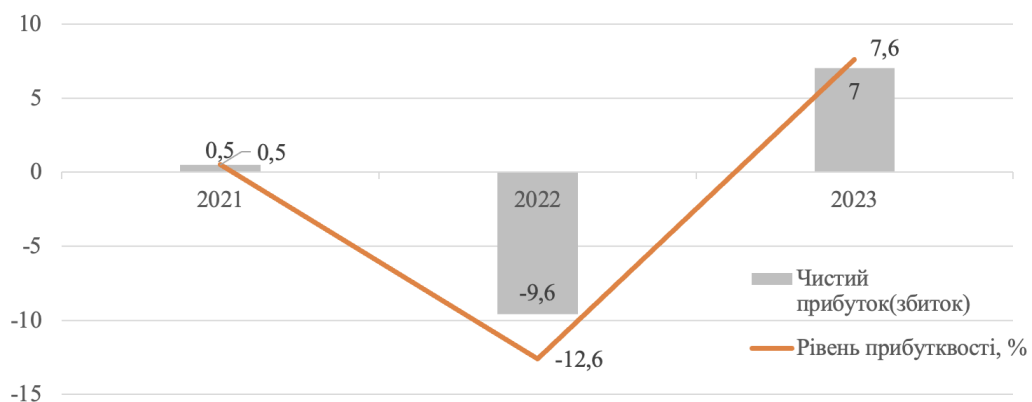


Рис. 2.6. Динаміка чистого доходу (збитку) від перевезень залізничним транспортом протягом 2021–2023 рр., % (сформовано автором на основі [38])

5. Сталі інвестиції у сектор пасажирських та вантажних перевезень.

У 2023 році Укрзалізниця продовжила, незважаючи на ситуацію в країні, інвестувати в рухомий склад та відповідну інфраструктуру. Так, у секторі вантажних перевезень:

- виконано ремонт 26 од. дизельних локомотивів та 36 од. електровозів;
- відремонтовано 8 102 вантажних вагони;
- збудовано 287 фітінгових платформ.

Сектор пасажирських перевезень:

- виконано ремонти 15 електровозів та 1 дизель-поїзда;
- здійснено підготовку до капітальних ремонтів рейкових автобусів PESA;

- отримано 15 нових пасажирських вагонів;
- закуплено 66 нових вагонів;
- виконано ремонт 401 пасажирського вагона.

6. Підтримка залізничників.

Попри складну ситуацію в країні, Укрзалізниця продовжує надавати фінансову допомогу пораненим та сім'ям загиблих залізничників:

- поранені середнього та тяжкого ступеня – компенсація в розмірі 30 тис. грн;
- для сім'ї загиблого – 100 тис грн.

Загалом станом на кінець 2023 року 10 257 співробітників УЗ проходили службу в лавах ЗСУ, 987 залізничників звільнилися з військової служби, 233 з яких через проблеми із здоров'ям. Понад 1400 працівників залізниці отримали поранення, 30 % з них мають інвалідність або важкі поранення. І страшна цифра для залізничної родини: 555 залізничників загинуло.

У сфері вантажних перевезень для забезпечення виконання умов стабільного та ефективного експорту українських товарів до Європи у найближчому майбутньому АТ «Укрзалізниця» потрібно інтегрувати до єдиної європейської транспортної мережі TEN-T. Але постає нове відкрите питання щодо зміни ширини колії з 1520 мм, яка є дійсною зараз на території України,

до показника 1435 мм. За останніми даними, найпоширенішою у світі шириною колії є 1435 мм (4 фути та 8,5 дюймів). Саме таку колію мають 65 % залізниць світу, зокрема залізниці Північної Америки, Китаю і Європи (за винятком країн СНД, Балтії, Фінляндії, Ірландії, Іспанії і Португалії).

У межах вирішення цього питання вже в березні 2023 року спеціалісти із залізничної інфраструктури Іспанії *Adif* та АТ «Укрзалізниця» сумісно почали розробляти пілотний проект, що дасть змогу автоматизовано змінювати ширину колії в межах 1435–1668 мм відповідно [28].

Проте варто наголосити, що перехід з однієї ширини колії на іншу може бути дуже складним і дорогим процесом, який потребує узгодження з різними зацікавленими сторонами, зокрема залізничними компаніями, урядом, міжнародними організаціями та іншими структурами. Такий перехід може зайняти значний час і вимагати великих інвестицій.

Процеси цифровізації залишаються надзвичайно актуальними для галузі залізничних пасажирських перевезень та продовжують значно впливати на її функціонування.

Роль Укрзалізниці під час повномасштабного вторгнення для держави та українців – колосальна. Саме тому навіть після початку запровадження в країні воєнного стану та відповідно виникнення додаткових економічних труднощів залізниця продовжувала роботу та навіть більше – почала вдосконалювати цифрові канали комунікації.

Цифрові канали комунікації є важливим інструментом для передавання інформації та взаємодії з різними аудиторіями. Для Укрзалізниці, особливо в умовах війни, вони можуть бути використані для ефективної комунікації з пасажирями, персоналом та громадськістю. У наш час до найбільш поширених цифрових каналів комунікації відносять (рис.2.7):

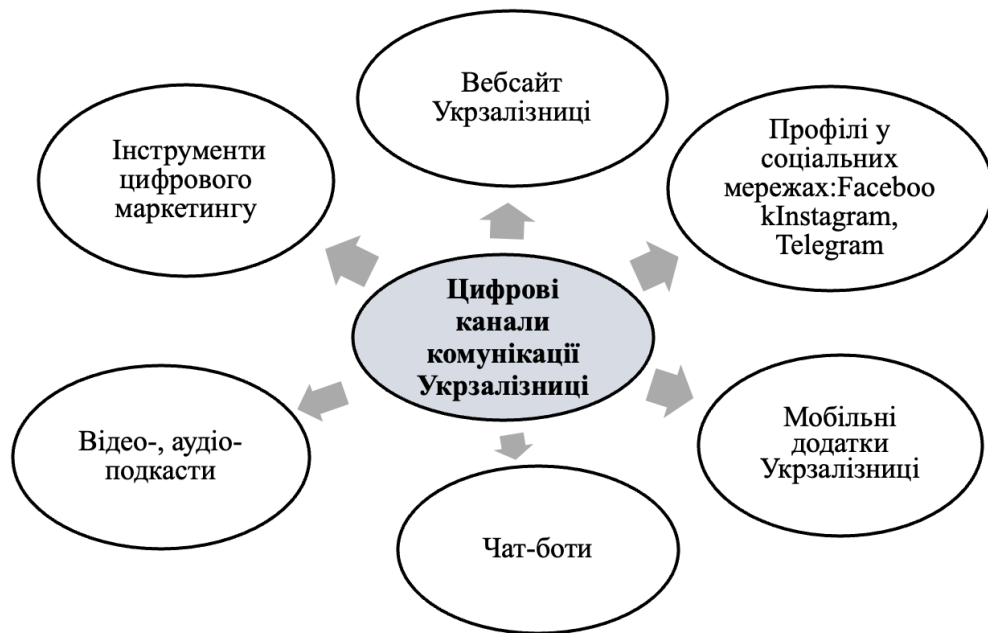


Рис. 2.7. Найбільш поширені канали комунікацій Укрзалізниці у пасажирських перевезеннях (розроблено автором)

1. Вебсайт Укрзалізниці – центральне джерело інформації про розклади, новини, послуги та безпеку (<https://www.uz.gov.ua>). Важливо, щоб вебсайт був інтуїтивно зрозумілим та легко доступним для всіх користувачів.

2. Профілі в соціальних мережах, таких як Фейсбук, Твіттер, Інстаграм, Телеграм тощо, дають змогу Укрзалізниці спілкуватися з аудиторією, надавати оновлення та важливу інформацію, а також взаємодіяти з користувачами через коментарі та приватні повідомлення. Щодо останнього, то саме 24 лютого найперша новина щодо роботи Укрзалізниці з’явилася в телеграм-каналі вже о 06:58. Це повідомлення прочитало понад 140 тис. користувачів. Це при тому, що напередодні офіційний канал Укрзалізниці мав лише близько 15 тис. підписників. Працівники Укрзалізниці 24/7 надавала інформацію про зміни в графіку руху поїздів, евакуаційні рейси, щовечора публікувала розклад руху на наступну добу. На піку в телеграм-каналі зібралось близько 500 тис. підписників. Для порівняння: у березні 2022 року в Телеграмі було опубліковано 366 повідомлень, а в січні того самого року – 29. Пізніше командою фахівців УЗ були створені відповідні додатки у Вайбері та Інстаграмі.

Ці показники є доказом того, що під час форс-мажорних ситуацій, якими є бойові дії, інформація, отримана із онлайн офіційних джерел, є надзвичайно важливою, а іноді навіть може врятувати життя та здоров'я.

3. Мобільні додатки Укрзалізниці дають змогу пасажирам зручно переглядати розклади, бронювати квитки, отримувати оновлення та іншу інформацію про подорожі.

4. Чат-боти здатні надавати автоматизовані відповіді на запитання користувачів через вебсайт або месенджери, а також допомагати в розв'язанні проблем у реальному часі.

5. Відео- та аудіо-подкасти використовуються для надання інструкцій, оглядів послуг та подорожей, а також для поширення важливих оголошень та оновлень.

6. Інструменти цифрового маркетингу: розширення меж контекстної реклами, постійні короткі Reels-історії в соціальних мережах, регулярні публікації тощо, що дають змогу на постійній основі залишатися «на зв'язку» із пасажирами 24 на 7 [32].

Ці цифрові канали комунікації допомагають Укрзалізниці ефективно спілкуватися з різними аудиторіями, надаючи їм інформацію, підтримку та зручність у взаємодії під час війни та, сподіваємося, після неї.

Розглянемо основні оновлення у сфері цифровізації пасажирських залізничних перевезень, починаючи з 2022 року.

Особливу увагу до себе привернув залізничний транспорт після 24 лютого 2022 року, коли залізничні пасажирські перевезення набули особливого значення. З огляду на це, з метою оперативного інформування населення про можливі затримки в русі поїздів, зокрема і міжнародних рейсів, призначення низки додаткових безкоштовних евакуаційних рейсів та для вчасного отримання іншої важливої інформації керівництво УЗ з літа 2022 року запустило спеціальний сайт: uz-vezemo.com [39].

Згодом, уже в серпні 2022 року, компанія УЗ презентувала власний мобільний додаток з метою продажу квитків та інформування пасажирів про

зміни в розкладі руху та відстежування іншої важливої інформації. Уже з листопада 2022 року в пасажирів з'явилася можливість через застосунок купувати квитки на міжнародні рейси. З березня 2023 року через мобільний додаток стало можливим придбати пільгові квитки, зокрема ця функція стала доступною для людей з інвалідністю та тих, хто їх супроводжує.

У червні 2023 року в мобільному додатку відкрили продаж квитків у жіноче купе (рис. 2.8). На початку дії проєкту жіночі купе були доступні в таких поїздах:

№81 Київ – Ужгород;

№41 Дніпро – Трускавець;

№75 Київ – Кривий Ріг;

№15 Харків – Ясіня.

Пізніше додалися ще 4 поїзди:

№ 17/18 Харків – Ужгород;

№ 29/30 Київ – Ужгород;

№ 3/4 Запоріжжя – Ужгород;

№ 26/236 Одеса – Рахів.

У липні 2023 року Укрзалізниця анонсувала оновлення власного мобільного застосунку, що містить найзручніші варіанти пересадок:

- було встановлено мінімальний час на пересадку між різними поїздами – 20 хвилин (щоб пасажери мали час зорієнтуватись на станції);
- максимальний час у дорозі – 36 годин (пересадки, які вимагатимуть більшого часу в дорозі, не пропонуватимуться пасажирам);
- орієнтація на максимально зручні рейси для пересадок з мінімальною відстанню по маршруту [37].

Водночас саме в застосунку доступні додаткові можливості пересадки:

- пасажир може переміститися всередині одного й того самого поїзда;
- якщо в поїзді немає одного вільного місця протягом всього маршруту, система запропонує пасажиру під час поїздки просто переміститися на

інше місце, яке звільнить пасажир, що виходить раніше. У такому випадку пасажиру прийде два квитки на один і той самий поїзд.



Рис. 2.8. Загальний вигляд процесу бронювання квитка в жіноче купе в застосунку УЗ (сформовано автором на основі [39])

У грудні 2023 року УЗ запровадила новий онлайн-сервіс – можливість замовлення квитків для військовослужбовців [41]. У разі виникнення ситуації з відсутністю квитків у продажу забронювати їх військовослужбовці можуть онлайн. Цей сервіс квитків доступний на 17 поїздів, які найпопулярніші серед військовослужбовців. Зокрема, це маршрути до міст, наближених до зони ведення бойових дій та у зворотному напрямку.

Розглянемо оновлення у сфері цифровізації вантажних залізничних перевезень, починаючи з 2022 року.

З липня 2023 року в рамках продовження роботи з оцифрування процесів вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця» запровадила послугу переадресації вантажів онлайн. Як зазначено в офіційній заяві представників залізниці, ці нововведення значно скоротять витрати часу й прискорять обмін інформацією між Укрзалізницею та вантажовласниками, а також поліпшать організацію логістики перевезень [37].

У грудні того самого року АТ «Укрзалізниця» запустила єдине цифрове вікно для роботи клієнтів із вантажних перевезень у межах подальшої

диджиталізації клієнтського сервісу. Як повідомили в представництві, новий сервіс для вантажовласників значно спростить оперативну роботу та пришвидшить вирішення низки питань.

2.2. Вплив цифровізації галузі на зміни в роботі залізничних перевезень

Сьогодні людство увійшло в нове цифрове століття, для якого характерне широке впровадження цифрових технологій у всіх сферах життя, від бізнесу до особистого користування, перехід на безпаперові процеси, електронні документи та цифрові платформи. Розглянемо еволюцію всіх відомих нам промислових революцій:

– *перша промислова революція*, яка відбувалася із середини 18-го до початку 19-го століття, стала переломним моментом у історії людства. Вона означала перехід від ручного виробництва до механізованого, що суттєво змінило соціальні, економічні та культурні структури. Перша промислова революція стала початком серії технологічних змін, які вплинули на розвиток усіх сфер життя, заклавши основу для подальших промислових революцій. Вона визначила нові стандарти у виробництві, транспорті, соціальній та економічній структурі суспільства, сприяючи переходу до індустріальної ери;

– *друга промислова революція*, яка відбувалася з другої половини 19-го століття до початку 20-го століття, принесла значні зміни у виробничі процеси та суспільство загалом. Вона ознаменувалася впровадженням нових технологій, джерел енергії та організаційних підходів до виробництва. Друга промислова революція значно прискорила економічний розвиток і привела до фундаментальних змін у соціальній структурі суспільства. Вона заклала основи для сучасної індустріальної економіки та сприяла розвитку нових галузей промисловості, технологій і методів управління.

– *третья промислова революція* заклала основу для сучасних інформаційних та комунікаційних технологій, значно змінивши спосіб

виробництва, управління та взаємодії між людьми. Вона підготувала ґрунт для наступної, четвертої промислової революції, яка продовжує змінювати світ завдяки новітнім цифровим технологіям та інноваціям.

– *четверта промислова революція*, або Індустрія 4.0, характеризується інтеграцією новітніх цифрових технологій у виробничі та економічні процеси. Вона охоплює широке коло інновацій та підходів, які радикально змінюють спосіб ведення бізнесу, управління виробництвом і взаємодії між людьми. Характерні риси Індустрії 4.0 – це повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в режимі реального часу з урахуванням мінливих зовнішніх умов [6].

Сьогодні більшість організацій активно готуються до Індустрії 4.0, тому дослідники виявили чотири основних парадокси:

1. Стратегічний парадокс.

Багато компаній спрямовують цифрову трансформацію насамперед на поліпшення оперативної ефективності та убезпечення бізнесу. Вони розглядають цифрову трансформацію як «захисні» інвестиції, орієнтовані на оптимізацію існуючих процесів та зменшення ризиків, а не на їх розвиток.

2. Інноваційний парадокс.

У сучасному конкурентному середовищі, де інновації швидко стають основним фактором розвитку, компаніям важливо бути готовими до впровадження нових ідей та технологій. Ті компанії, які активно просувають інновації та розглядають їх як стратегічний пріоритет, матимуть перевагу перед конкурентами й зможуть забезпечити стабільний розвиток у майбутньому.

3. Парадокс ланцюга постачання.

Ланцюг постачання стає все більш важливою сферою для майбутніх інвестицій через зростання конкуренції, зміну клієнтських вимог та швидкість технологічних змін.

Організаціям важливо переглянути роль директорів з управління ланцюгами постачання і врахувати їхню важливість у прийнятті стратегічних рішень щодо цифрової трансформації. Крім того, їхні функції та обов'язки

можуть потребувати перегляду та узгодження зі стратегічними завданнями компанії загалом. Це допоможе забезпечити інтеграцію ланцюгів постачання в загальну стратегію розвитку компанії та забезпечити успішну цифрову трансформацію.

4. Парадокс персоналу.

«Парадокс персоналу» (або «парадокс кадрів») є концепцією, що відображає виклик, з яким стикаються організації у зв'язку із залученням, утриманням та ефективним управлінням персоналом у сучасному бізнес-середовищі. Парадокс полягає в тому, що, незважаючи на зростаючу автоматизацію й впровадження новітніх технологій, людський капітал залишається критично важливим для успіху організацій.

Високий попит на кваліфікованих фахівців у сфері цифрових технологій для залізничного транспорту є ключовим аспектом сучасної трансформації цієї галузі. Впровадження новітніх технологій вимагає спеціалістів з різноманітними навичками та компетенціями, які здатні забезпечити ефективно та безпечно функціонування залізничних перевезень. Організації повинні інвестувати в навчання та розвиток своїх кадрів, а також створювати умови для залучення та утримання талантів, щоб залишатися конкурентоспроможними на сучасному ринку.

Нехтувати процесами глобальної цифровізації немає сенсу, адже це може привести до негативних наслідків, таких як, наприклад, ситуація із компанією Nokia, яка колись була провідним виробником мобільних телефонів, зазнала значних змін у своєму бізнесі з 2000-х років, втративши свої конкурентні позиції через нехтування процесами цифрової трансформації.

Якщо сфера залізничного транспорту відмовиться від сучасних процесів цифрової трансформації, це може призвести до негативних наслідків, які вплинуть на її ефективність, конкурентоспроможність та загальну здатність забезпечувати якісні послуги. Розглянемо основні проблеми, які можуть виникнути в такому випадку (рис. 2.9).

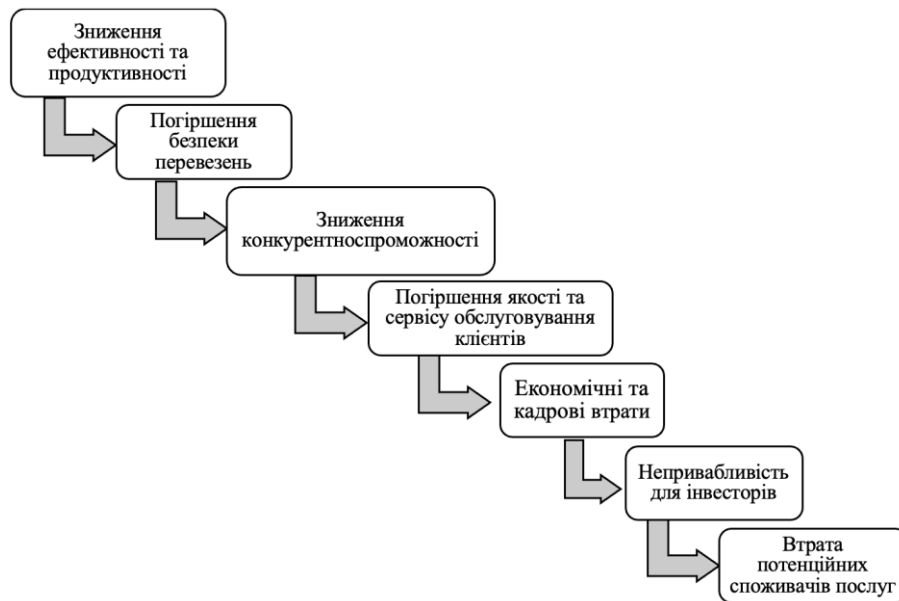


Рис. 2.9. Модель ризиків і втрат у разі відмови від цифрової трансформації на залізничному транспорті (складено автором)

1. Зниження ефективності та продуктивності

Старі методи управління та контролю: використання застарілих систем управління рухом поїздів, технічного обслуговування та моніторингу стану інфраструктури призведе до зниження ефективності роботи.

Неоптимальні розклади та логістика: відсутність сучасних аналітичних інструментів для планування розкладів і управління ресурсами може спричинити затримки та збільшення часу в дорозі.

2. Погіршення безпеки перевезень

Недостатній моніторинг стану інфраструктури: без сенсорів та IoT-пристроїв, що відстежують стан колій та обладнання, ризик аварій і поломок значно збільшується.

Недостатня кібербезпека: підвищується вразливість до кіберзагроз через використання застарілих систем, що не мають сучасних заходів захисту.

3. Зниження конкурентоспроможності

Відставання від інших видів транспорту: інші види транспорту, які активно впроваджують цифрові технології, можуть стати більш привабливими

для пасажирів та вантажовідправників завдяки своїй ефективності та якості обслуговування.

Втрата ринкової частки: компанії, які не інвестують в цифрову трансформацію, можуть втратити свою частку ринку на користь тих, хто активно впроваджує інновації.

4. Погіршення якості та сервісу обслуговування клієнтів

Відсутність сучасних інформаційних систем: пасажирів можуть бути незадоволені через відсутність актуальної інформації про розклад, затримки та інші важливі аспекти поїздок.

Низький рівень комфорту: звичайно, відсутність автоматизованих систем клімат-контролю, освітлення та інших аспектів комфорту може негативно вплинути на задоволення пасажирів.

5. Економічні та кадрові втрати

Зростання експлуатаційних витрат: використання застарілих технологій може призвести до збільшення витрат на технічне обслуговування, ремонт та енергоспоживання.

Неефективне використання ресурсів: без сучасних систем оптимізації ресурсів компанії можуть стикатися з перевитратами матеріалів, палива та робочого часу.

Невдоволення працівників: талановиті працівники можуть звільнитися через те, що компанія не інвестує в сучасні технології та професійний розвиток, шукаючи більш інноваційні робочі місця.

Складнощі з найманням: застарілі технології та підходи можуть відлякувати молодих фахівців, які прагнуть працювати з передовими технологіями.

6. Непривабливість для інвесторів та партнерів

Відсутність інвестицій: інвестори можуть відмовлятися фінансувати компанії, які не демонструють прогресу в цифровій трансформації, оскільки це підвищує ризики та знижує потенційну прибутковість.

Втрата партнерства: потенційні партнери почнуть відмовлятися від подальшої співпраці та інвестування в розвиток сфери перевезень на залізничному транспорті.

7. Втрата потенційних споживачів послуг

Загроза втратити потенційних споживачів послуг, тобто пасажирів, для залізничного транспорту постає реальною загрозою, особливо в період зростання конкуренції з боку автомобільного транспорту.

Тож, як бачимо, нехтування процесами цифрової трансформації у сфері залізничного транспорту може мати серйозні наслідки для ефективності, безпеки, конкурентоспроможності та якості обслуговування. Впровадження сучасних технологій є необхідним для забезпечення стійкого розвитку галузі, зниження експлуатаційних витрат та підвищення задоволення пасажирів. Компанії, які активно інвестують у цифрову трансформацію, мають кращі шанси залишатися успішними в сучасному конкурентному середовищі.

Загалом, цифрова трансформація в економіці – це процес, у якому організації, галузі та економічні системи використовують цифрові технології для перетворення своїх бізнес-моделей, процесів, операцій та взаємодій з клієнтами та партнерами з метою досягнення нових рівнів ефективності, конкурентоспроможності та створення цінності.

Основні аспекти цифрової трансформації в економіці (рис. 2.10) полягають у такому:

Перетворення бізнес-моделей: компанії переглядають свої бізнес-моделі з використанням цифрових технологій для створення нових продуктів та послуг, переосмислення способів їх постачання та монетизації.

Оптимізація процесів: цифрові технології допомагають автоматизувати та оптимізувати рутинні бізнес-процеси, що сприяє збільшенню продуктивності, зниженню витрат та поліпшенню якості продукції та послуг.

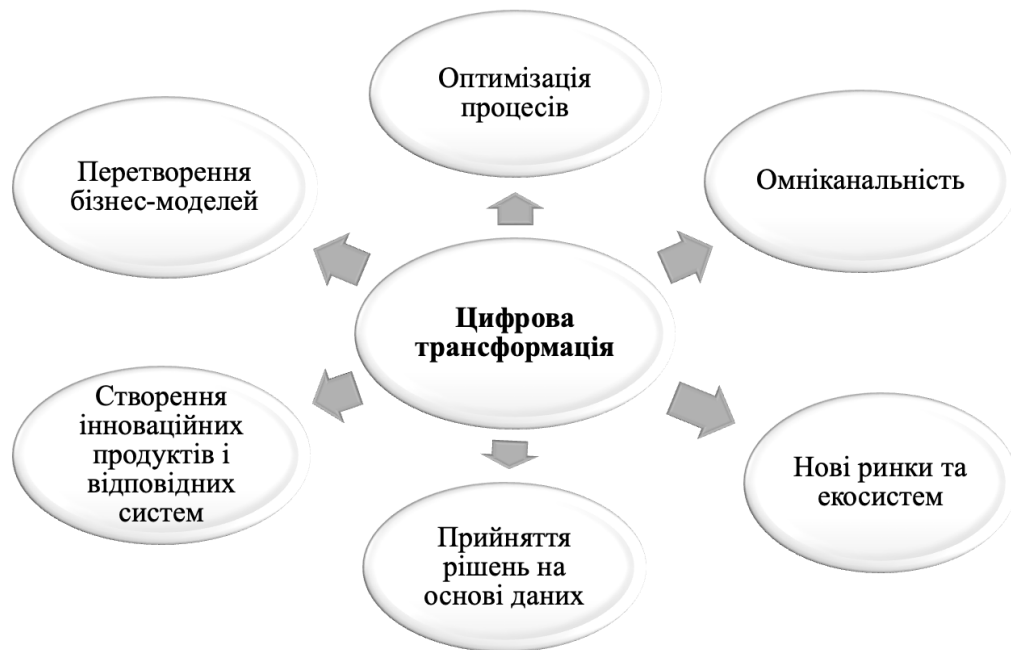


Рис. 2.10. Складові цифрової трансформації в економіці (*сформовано автором на основі [13], [43]*)

Оmnіканальність: цифрові канали комунікації, такі як вебсайти, соціальні медіа та мобільні додатки, дають змогу компаніям поліпшити способи взаємодії з клієнтами, надаючи персоналізовані послуги та забезпечуючи кращий рівень обслуговування.

Створення нових ринків та екосистем: цифрові технології відкривають нові можливості для створення цифрових ринків та екосистем, де компанії, клієнти та партнери можуть взаємодіяти, обмінюватися даними та створювати цінність.

Прийняття рішень на основі даних: за допомогою аналітики даних компанії можуть отримувати цінні інсайди про свої операції, клієнтів та ринки, що допомагає їм ухвалювати кращі рішення та реагувати на зміни в реальному часі.

Створення інноваційних продуктів та систем: цифрові технології стимулюють розробку нових продуктів і послуг, таких як мобільні додатки, інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та блокчейн.

У галузі залізничного транспорту як готовий продукт, що є результатом впливу цифрової трансформації, може розглядатися цифрова платформа:

1. Цифрова платформа для логістики та управління вантажами: ця платформа може об'єднувати різні інструменти для керування логістичними процесами, зокрема це відстеження вантажів, маршрутизація, оптимізація навантажень та прогнозування попиту. Вона може також надавати інформацію про стан транспортних засобів, розклади та обслуговування.

2. Платформа для моніторингу та підтримки інфраструктури: вона дає змогу відстежувати стан рухомого складу, ремонту та технічного обслуговування рейок, сигнальної системи та інших частин інфраструктури.

Цифрова трансформація в економіці є невід'ємною частиною сучасного бізнесу, яка впливає на всі галузі та аспекти економічної діяльності. З її впровадженням компанії стають більш конкурентоспроможними, адаптивними та інноваційними в умовах швидко змінного ринку.

Успішні приклади впровадження цифрових технологій у залізничному транспорті демонструють, що цей шлях є перспективним і необхідним для сучасних залізничних компаній.

Ось кілька прикладів успішного використання цифрових технологій у різних залізничних компаніях світу. Зокрема, Deutsche Bahn (Німеччина) активно використовує IoT-системи для моніторингу стану колій, вагонів та локомотивів у реальному часі. Сенсори встановлюються на різних елементах інфраструктури та рухомого складу, що дає змогу виявляти несправності на ранніх стадіях та запобігати аваріям [42].

Nederlandse Spoorwegen (Нідерланди) використовує віртуальну реальність для навчання персоналу, зокрема машиністів та інженерів. Віртуальні симуляції відтворюють різні сценарії, що сприяє кращій підготовці працівників до реальних ситуацій на залізниці.

Слід нагадати, що *віртуальна реальність (VR)* – це технологія, яка створює імітацію реального або вигаданого середовища, даючи змогу користувачу зануритися в нього та взаємодіяти з ним за допомогою

спеціальних пристроїв. Віртуальна реальність надає можливість відчутти присутність у іншому місці, здійснювати дії та впливати на навколишнє середовище в рамках віртуального світу.

Нижче подано порівняльну таблицю бізнес-моделей в умовах класичної та цифрової економіки (табл. 2.1), де наочно показано, що в цифровій економіці бізнес-моделі стають більш гнучкими, інноваційними та орієнтованими на дані, що допомагає компаніям та підприємствам досягати більшого успіху в умовах постійних змін ринку [40].

Як бачимо з таблиці 2.1, основними відмінностями в класичній та цифровій бізнес-моделях є загальні підходи. Тобто у класичній моделі це лінійна робота, що виконувалась у кабінетах та лінійних відділах. Якщо ми будемо розглядати цифрову модель, то тут вже є можливість вибору – працювати віддалено чи на підприємстві.

Щодо питання використання ресурсів у класичній моделі акценти зроблено здебільшого на матеріалах, праці та капіталі. У цифровій бізнес-моделі додається найголовніший момент – цифрові інструменти.

Таблиця 2.1

Порівняння бізнес-моделей в умовах класичної та цифрової економіки
(сформовано автором)

Характеристика	Класична бізнес-модель	Цифрова бізнес-модель
Загальна модель	Лінійна, конвеєрна робота	Віддалена, мережева робота
Використання ресурсів	Фізичні ресурси (матеріали, праця, капітал)	Фізичні ресурси (матеріали, праця, капітал, цифрові)
Спілкування з клієнтами	Особистий контакт, дзвінки, листування	Соціальні мережі, онлайн-чати, боти, електронна пошта
Швидкість змін	Повільні зміни в діяльності підприємства	Швидкі та динамічні зміни в діяльності підприємства

Щодо спілкування з клієнтами цифрова модель теж зазнала змін, зокрема додалися можливості комунікації через соціальні мережі, чат-боти, електронну пошту тощо.

Значною мірою підвищилася швидкість змін у діяльності самого підприємства. Якщо раніше процес змін був повільним, то нині він швидкий та динамічний.

Загалом, концепція «Індустрія 4.0» і поняття «розумне підприємство» у сфері пасажирських залізничних перевезень тісно пов'язані, оскільки застосування передових технологій значно підвищує ефективність, безпеку, зручність і економічність залізничних послуг. Основні зміни в очікуваннях пасажирів під впливом цифрової трансформації наведено на рис. 2.11.



Рис. 2.11. Очікування пасажирів залізничного транспорту в умовах цифрової трансформації (сформовано автором на основі [43])

Як ми бачимо, пасажирів очікують значних змін від цифрової трансформації на залізничному транспорті, зокрема очікування стосуються змін

в інформованості пасажирів щодо актуального розкладу руху поїздів, можливих змін у розкладі, додаткового спектру послуг.

У аспектах сервісу та комфорту результатом впровадження цифрових платформ є оптимізація процесів висадки та посадки пасажирів, забезпечення швидкого та безперешкодного доступу до поїздів та іншого спектру додаткових послуг, використання біометричних даних з метою забезпечення ще більш якісного контролю доступу до поїздів та відповідної інфраструктури тощо.

Як бачимо, цифрова трансформація значно впливає на очікування пасажирів залізничного транспорту. Завдяки впровадженню новітніх технологій пасажирів розраховують на вищий рівень сервісу, зручності та безпеки.

Також варто приділити увагу ще одному перспективному напрямку – це використання *сенсорів на залізничному транспорті*, що є ключовим аспектом цифрової трансформації, адже одночасно сприяє підвищенню ефективності, безпеки та комфорту. З допомогою сенсорів можна збирати й аналізувати велику кількість даних у реальному часі, що допомагає в прийнятті обґрунтованих рішень та оптимізації роботи залізничної інфраструктури.

Основні напрямки використання сенсорів на залізничному транспорті:

1. Моніторинг стану колії:

- вібраційні сенсори: сприяють виявленню дефектів і нерівностей колій;
- температурні сенсори: контроль температури рейок для запобігання перегріву та деформації.

2. Моніторинг стану поїздів:

- сенсори вібрації та удару: відстеження стану візків, коліс і підшипників для вчасного виявлення зношеності або пошкоджень;
- температурні сенсори: контроль температури в критичних компонентах, таких як двигуни та гальма.

3. Контроль навантаження:

- сенсори маси: вимірювання ваги вантажу на вагонах для запобігання перевантаженню та рівномірного розподілу навантаження;

- сенсори нахилу: відстеження нахилу вагонів для виявлення небезпечних ситуацій під час руху.

4. Пасажирські перевезення:

- сенсори присутності: визначення кількості пасажирів у вагонах для оптимізації використання місць та забезпечення комфорту;
- сенсори якості повітря: моніторинг рівня CO₂, температури та вологості у вагонах для підтримання комфортних умов.

5. Інфраструктура та обслуговування

- сенсори стану мостів та тунелів: відстеження структурної цілісності критичних елементів інфраструктури;
- сенсори зношеності рейок: виявлення зношеності та тріщини на рейках для планування ремонту та заміни.

6. Кібербезпека та безпека:

- сенсори доступу: контроль доступу до вагонів та важливих зон інфраструктури для запобігання несанкціонованому доступу;
- відеоспостереження: камери та інші сенсори для моніторингу безпеки пасажирів та об'єктів.

Переваги використання сенсорів полягають у зниженні витрат на енергію та матеріали завдяки ефективному управлінню ресурсами на основі даних, отриманих із сенсорів, забезпеченні комфортних умов у вагонах завдяки моніторингу та управлінню параметрами середовища (температура, вологість, якість повітря), оптимізації розкладу на основі отриманих даних про поточний стан інфраструктури та поїздів, що дає змогу зменшити затримки та підвищити ефективність перевезень.

Запровадження *інноваційних моделей управління бізнес-процесами* є важливим кроком для забезпечення безпеки та комфорту під час поїздки для пасажирських перевезень та підвищення ефективності та швидкості доставки вантажу для вантажовідправників (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Інноваційні моделі управління бізнес-процесами на підприємствах залізничного транспорту (сформовано автором на основі [44])

Впровадження моделей «Інфраструктура 4.0» та «Інтелектуальні транспортні системи» дасть змогу значно підвищити ефективність управління інфраструктурою, забезпечити додатковий комфорт для пасажирів. Завдяки інтерактивним інформаційним системам на станціях і у вагонах пасажирів зможуть отримувати актуальну інформацію про розклад, затримки та умови подорожі.

Впровадження моделі «Логістика 4.0» дасть змогу запровадити такі інноваційні послуги у сфері вантажних перевезень, як «інтелектуальний вантаж» з можливістю відстежувати вантаж у реальному часі, цифрові платформи для бронювання вагонів, налагодити цифрові контакти й створити нові моделі організації вантажних перевезень [44].

Запровадження послуги «Вокзал 4.0» на залізничному транспорті відкриває нові можливості для підвищення ефективності та якості обслуговування. «Вокзал 4.0» передбачає використання інноваційних технологій для створення інтелектуальних залізничних вокзалів з розширеними можливостями для пасажирів і вантажів.

Основні компоненти – це моніторинг і управління освітленням, опаленням, вентиляцією та іншими системами станції для підвищення енергоефективності, використання камер з функціями розпізнавання обличчя та інших технологій для підвищення безпеки на вокзалах.

Запровадження послуги «Вокзал 4.0» на залізничному транспорті значно поліпшує якість обслуговування пасажирів і вантажів, підвищує безпеку та ефективність роботи вокзалу, а також сприяє сталому розвитку інфраструктури. Інтелектуальні технології та цифрові рішення є ключовими елементами цього процесу, забезпечуючи інноваційні підходи до управління залізничними вокзалами.

Можливості цифрових технологій дають змогу реалізувати прогресивний підхід у системі ремонтного та сервісного обслуговування на підприємствах залізничної галузі, що виражається в терміні «Сервіс 4.0». Основні аспекти спрямовані на використання технологій 3D-друку, що забезпечує зменшення витрат часу на виконання ремонтних робіт та діагностику можливих поломок.

Бізнес-модель «Смарт-квиток» значно покращує користувацький досвід, підвищує операційну ефективність і відкриває нові можливості для збільшення доходів залізничних компаній. Використання цифрових технологій робить процес купівлі та використання квитків більш зручним, безпечним і персоналізованим для пасажирів, а також оптимізує роботу і знижує витрати для залізничних операторів.

Система здатна запам'ятовувати вподобання та історію подорожей пасажирів, щоб пропонувати індивідуальні пропозиції та знижки. Наприклад, клієнт обирає подорожі тільки у вихідні дні та замовляє місця в середині вагона, то вже для наступної подорожі система може сама пропонувати бажані вільні місця на певні дати місяця тощо.

Бізнес-модель «Мобільний пасажир» на залізничному транспорті передбачає інтеграцію цифрових технологій для поліпшення взаємодії пасажирів із транспортними послугами за допомогою мобільних пристроїв. Ця

модель орієнтована на забезпечення зручності та безперервного доступу до інформації та послуг під час подорожі.

Впровадження стандарту 5G у сфері залізничних пасажирських перевезень може мати значний вплив на цю галузь, сприяючи поліпшенню якості обслуговування та оптимізації бізнес-процесів.

Стандарт 5G – це п'яте покоління мобільних мереж зв'язку, яке являє собою новий рівень технологій зв'язку, що надає значно вищу швидкість передачі даних, низьку затримку та поліпшену пропускну здатність порівняно з попередніми поколіннями, такими як 4G, LTE.

Розглянемо детальніше переваги впровадження 5G на залізничному транспорті (рис. 2.13).

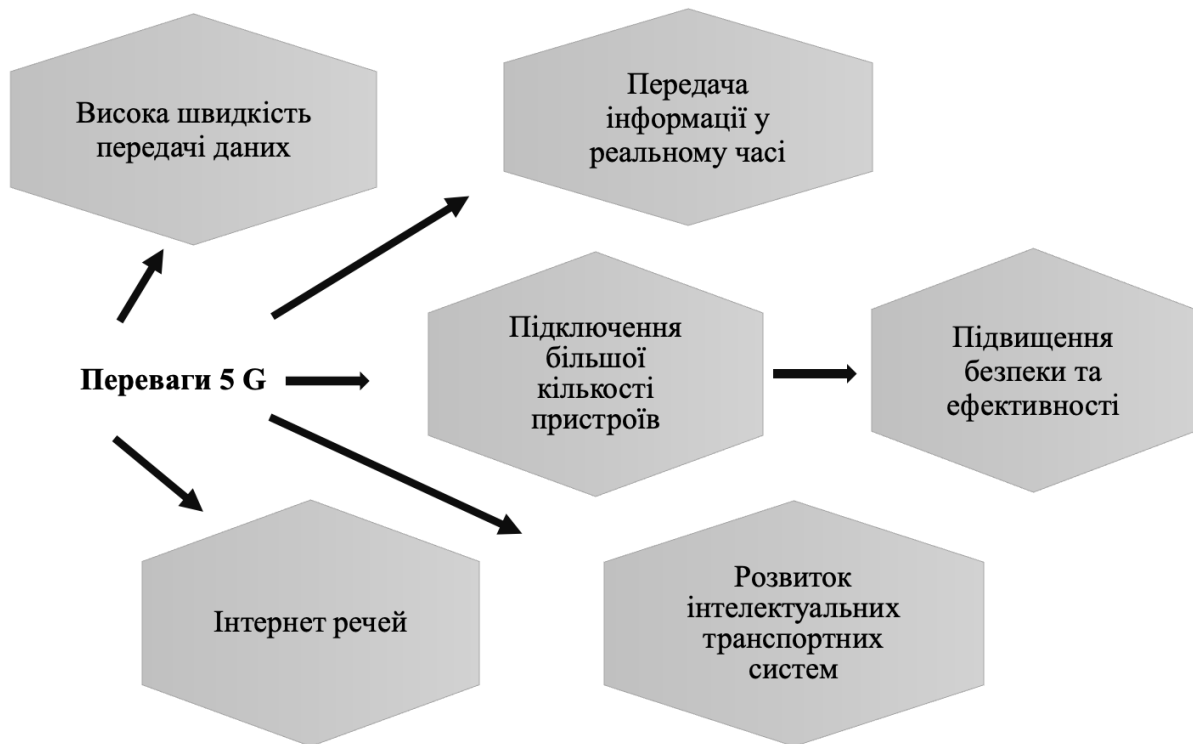


Рис. 2.13. Переваги впровадження 5G-технологій на залізничному транспорті
(розроблено автором)

1. Висока швидкість передачі даних: стандарт 5G забезпечує надзвичайно високу швидкість передачі даних, що дає змогу швидко обробляти великі обсяги інформації, такі як дані про рух поїздів, безпеку та розклади.

2. 5G дає змогу в реальному часі передавати важливу інформацію, таку як дані про точний час прибуття поїздів, що підвищує ефективність та комфорт пасажирів.

3. Підключення більшої кількості пристроїв: 5G дає змогу підтримувати велику кількість одночасних підключень, що забезпечує підключення у поїзді великої кількості пристроїв, таких як смартфони, планшети та інші.

4. Розвиток «інтелектуальних» транспортних систем: 5G дає змогу розвивати «інтелектуальні» транспортні системи, які використовують передові технології, такі як автоматичне керування, датчики та аналітика даних, для оптимізації руху поїздів та поліпшення безпеки.

5. Поліпшення інтернету речей (IoT): 5G сприяє розвитку Інтернету речей на залізничному транспорті, надаючи можливість підключати різноманітні пристрої та сенсори для моніторингу стану обладнання, вантажів та пасажирів.

6. Підвищення безпеки та ефективності: впровадження 5G може поліпшити системи моніторингу безпеки та виявлення несправностей, що допоможе запобігти аваріям та оптимізувати обслуговування поїздів.

5G – це новий рівень у сфері залізничних пасажирських перевезень, що відкриває нові можливості для розвитку та модернізації цієї галузі, поліпшуючи якість обслуговування та забезпечуючи більш безпечні та ефективні перевезення.

На сьогодні день кілька країн активно працюють над впровадженням стандарту 5G у залізничному транспорті або вже здійснюють перші кроки в цьому напрямку.

Китай має одну з найбільших систем залізничного транспорту у світі, і вони вже розпочали впровадження 5G для поліпшення мережі зв'язку на залізничному транспорті.

Американські залізничні компанії також досліджують можливості використання стандарту 5G для покращення комунікаційної інфраструктури та розвитку «інтелектуального» залізничного транспорту.

Деякі країни Європейського Союзу, такі як Німеччина, Франція, Люксембург та Велика Британія, також досліджують можливості впровадження стандарту 5G на залізничному транспорті для поліпшення комунікаційної інфраструктури та розвитку нових послуг для пасажирів.

Індія також розглядає можливість впровадження стандарту 5G на своїх залізницях.

Окремо варто виділити Японію, де впровадження стандарту 5G на залізничному транспорті є однією з пріоритетних напрямків розвитку технологій та транспортної інфраструктури. Японія має одну з найрозвинутіших та найбільш надійних систем залізничного транспорту у світі, і впровадження 5G може значно поліпшити її функціональність та ефективність. 5G відкриє нові можливості для розробки розширених сервісів для пасажирів, таких як віртуальна реальність, розумні інтерактивні пасажирські вагони та інші.

Це лише деякі приклади країн, які активно досліджують або вже впроваджують стандарт 5G у залізничному транспорті. Із часом цей список може зростати, оскільки інші країни також розглядають переваги використання 5G у залізничній галузі.

Якщо розглядати бізнес-моделі на транспорті, то спершу необхідно з'ясувати, що варто розуміти під цим поняттям. Воно стосується структурованої схеми, яка описує, як транспортна компанія створює, доставляє і захоплює цінність у процесі надання транспортних послуг. Це передбачає генерацію доходів, взаємодію з клієнтом, управління ресурсами і процесами, а також співпрацю з партнерами для забезпечення ефективної діяльності [45].

Перехід до нових бізнес-моделей у залізничному транспорті в умовах цифрової економіки потребує значних інвестицій, зміни підходів до управління та адаптації до нових технологій. Однак переваги від цього переходу можуть бути значними, включаючи зниження витрат, підвищення ефективності, поліпшення обслуговування клієнтів та забезпечення безпеки перевезень.

Для розробки та впровадження нової бізнес-моделі на залізничному транспорті важливо дотримуватися певних ознак, завдяки яким існує реальна можливість трансформувати відповідну галузь.

До них відносять:

- адаптацію до вимог та очікувань клієнта;
- спільне використання активів, коли кожен учасник отримує певну вигоду від процесу. У цьому контексті варто звернути увагу на поняття «двостороння онлайн- площа» (?двосторонній онлайн-майданчик) – цифрова платформа, яка з'єднує дві групи користувачів, зазвичай постачальників і споживачів, для взаємодії і обміну товарами, послугами або інформацією. Така платформа надає інфраструктуру й засоби для ефективної комунікації та транзакцій між цими групами. Двосторонні онлайн-платформи у сфері залізничного транспорту з'єднують різні групи користувачів, такі як пасажери, оператори поїздів, вантажовідправники та перевізники, забезпечуючи зручність та ефективність перевезень. Прикладом такої платформи є «RailEurope», що з'єднує європейських залізничних операторів з пасажирями, пропонуючи зручний спосіб планування та бронювання міжнародних подорожей поїздом. Для вантажних перевезень – «Rail Cargo Group», що забезпечує інтегровані рішення для вантажних перевезень, з'єднуючи вантажовідправників із залізничними перевізниками та надаючи можливість керування перевезеннями онлайн [46];
- зниження загальних витрат на ресурси, зокрема використання процесу переробки використаної продукції.

Тож, як бачимо, цифрова трансформація має величезний вплив на роботу залізничного транспорту, зокрема пасажирські та вантажні перевезення, створюючи темп, за яким ритмічно працює залізничний транспорт, роблячи його більш ефективним, зручним та конкурентоспроможним.

2.3. Перспективи розбудови інноваційної логістичної інфраструктури в системі мультимодальних перевезень в Україні

Цифровізація впливає на вантажні залізничні перевезення, перетворюючи їх на більш ефективні та інтегровані в систему мультимодальних перевезень.

Система мультимодальних перевезень на залізничному транспорті полягає у використанні залізниці як одного з ключових елементів інтегрованої транспортної системи, яка об'єднує різні види транспорту для оптимізації перевезень пасажирів та вантажів.

Основна мета – забезпечити ефективний, зручний та надійний транспортний сервіс, використовуючи переваги залізниці разом з іншими видами транспорту, такими як автобуси, метро, трамваї, морський та повітряний транспорт.

Як відомо, ще у 2021 році був прийнятий Закон України «Про мультимодальні перевезення» [47], який тлумачить поняття мультимодальні перевезення як перевезення пасажирів двома або більше видами транспорту за єдиним квитком.

Зі свого боку, Національна транспортна стратегія України [23], схвалена на період до 2030 року, визначає потребу в розвитку мультимодальних перевезень такими аспектами:

- запровадження технології «єдиного транспортного квитка»;
- розбудова відповідної мультимодальної інфраструктури;
- забезпечення розвитку мультимодальних транспортних технологій для забезпечення сталої взаємодії різних видів транспорту.

Технологія мультимодальних пасажирських перевезень ефективно поєднує переваги різних видів транспорту, що підвищує ефективність перевезень та забезпечує задоволення пасажирів, оскільки останні отримують можливість планувати свої подорожі з урахуванням усіх видів транспорту, забезпечуючи мінімальні затримки та оптимальні маршрути.

Використання єдиних електронних квитків дає змогу пасажиром користуватися різними видами транспорту без необхідності придбання окремих квитків для кожного етапу подорожі

Переваги системи мультимодальних пасажирських перевезень такі: зменшення часу подорожі завдяки комбінації різних видів транспорту та оптимізованим маршрутам; зменшення часу, необхідного на пересадку з одного виду транспорту на інший (рис.2.14).



Рис. 2.14. Ключові переваги мультимодальних пасажирських перевезень
(розроблено автором)

У Європі, наприклад, коли пасажир подорожує за єдиним квитком і за маршрутом прямування необхідно здійснити пересадку, цей маршрут планується таким чином, щоб потяг, що прибуває, та потяг, який буде відправлятися, розміщувалися на одній платформі по різні боки, тобто пасажир зможе виконати пересадку з мінімальними часовими втратами.

Також часто трапляються ситуації, коли один з потягів у ланцюгу транспортних засобів запізнюється. У такому випадку всі наступні учасники

перевезення також можуть затриматися до відправлення, щоб забезпечити плавний хід процесу.

Саме управління затримками є важливим аспектом оптимізації процесів у транспортній системі. Цифрові системи можуть автоматично виявляти затримки у русі потягів та сповіщати відповідних операторів для прийняття відповідних заходів.

У разі виявлення серйозного пошкодження чи значної аварії відповідні системи можуть пропонувати альтернативні маршрути для уникнення затримок та забезпечення плавного руху транспортних засобів.

Основні компоненти системи мультимодальних перевезень на залізничному транспорті описано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Основні компоненти системи мультимодальних перевезень на залізничному транспорті (складено автором на основі [47], [48])

Компонент	Опис
Інтеграція різних видів транспорту	Об'єднання залізничного транспорту з іншими видами транспорту (авіаційний, автомобільний, морський, річковий)
Інформаційна підтримка	Надання пасажиром інформації про розклади, маршрути та послуги різних видів транспорту через єдиний інформаційний центр
Мобільні додатки	Розробка зручних додатків для смартфонів, які допомагають пасажиром планувати та бронювати поїздки
Оптимізація маршрутів	Використання алгоритмів для автоматичного вибору оптимальних маршрутів з урахуванням часу, витрат та зручності
Інтермодальні транспортні вузли	Створення транспортних вузлів для легкого пересаджування між різними видами транспорту
Ефективне використання ресурсів	Координація різних видів транспорту для зменшення порожньої їзди та підвищення ефективності використання ресурсів
Сповіщення та комунікації	Система сповіщень про статус бронювання, зміни розкладу та інші важливі події для пасажирів
Платіжна система	Інтеграція з платіжними системами для безпечної та зручної оплати послуг
Оцінки та відгуки	Система оцінок та відгуків для підвищення довіри між пасажиром та поліпшення якості обслуговування

Ця таблиця підсумовує основні компоненти, які можуть бути інтегровані в систему мультимодальних перевезень на залізничному транспорті для забезпечення ефективного та зручного обслуговування пасажирів.

Використання цифрових технологій може сприяти кращому управлінню затримками та забезпеченню плавного ходу транспортного процесу.

Наявність зручних пересадочних хабів є важливою умовою для ефективних мультимодальних перевезень, оскільки вони забезпечують зручні та швидкі переходи між різними видами транспорту, сприяючи оптимізації маршрутів та зменшенню часу подорожі для пасажирів.

Поєднання переваг різних видів транспорту в ході організації системи мультимодальних перевезень дає змогу забезпечити оптимальні маршрути, швидкий доступ до різних точок міста та мінімізувати час пересування для пасажирів [49].

Важливим моментом є можливість обирати індивідуальний маршрут тим видом транспорту, який підходить пасажирові в конкретний момент часу. Це може бути залізничний, автомобільний чи авіатransпорт.

У контексті вантажних перевезень – це процес транспортування за єдиним документом двома та більше видами транспорту; за такої організації перевезень перевізник несе відповідальність за весь процес перевезення всіма видами транспорту (рис. 2.15).

Основні переваги мультимодальних вантажних перевезень полягають у такому:

- логістична ефективність оптимізувати відповідні процеси, забезпечуючи зниження витрат, скорочення часу доставки та підвищення надійності перевезень. Наприклад, залізничний транспорт є більш економічним для перевезення великих обсягів вантажів на далекі відстані, тоді як автомобільний транспорт краще підходить для коротких дистанцій та доставки «від дверей до дверей»;

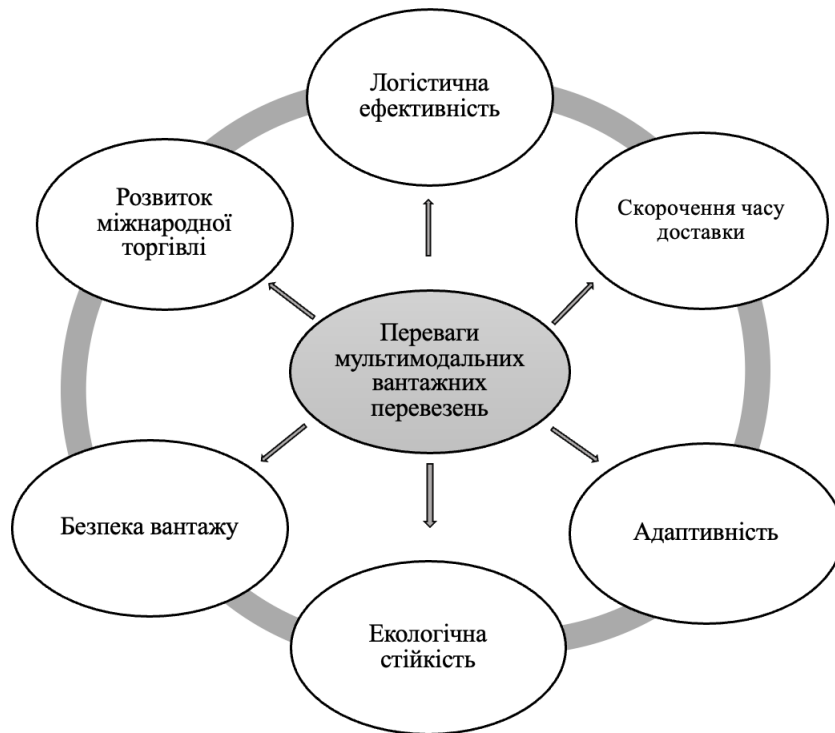


Рис. 2.15. Основні переваги мультимодальних вантажних перевезень
(розроблено автором)

- скорочення часу доставки за рахунок комбінування різних видів транспорту допомагає зменшити час, витрачений на транспортування вантажів, особливо на великих відстанях;
- адаптація: можливість ефективно реагувати на зміну умов, такі як погодні умови, завантаженість транспортних шляхів або наявність необхідної інфраструктури. Також мультимодальні перевезення пропонують більшу кількість маршрутів, що забезпечує гнучкість та адаптацію до різних логістичних сценаріїв;
- екологічна стійкість: використання більш екологічних видів транспорту, таких як залізничний або морський, що допомагає знизити викиди парникових газів;
- безпека вантажу: сучасні технології дають змогу відстежувати вантажі на кожному етапі мультимодального перевезення, підвищуючи контроль та безпеку;
- збільшення міжнародної торгівлі: спрощення логістичних процесів на міжнародних маршрутах сприяє збільшенню обсягів торгівлі між країнами

та надає можливість охопити віддалені та важкодоступні регіони, використовуючи комбінацію різних видів транспорту.

Тож мультимодальні вантажні перевезення є важливим інструментом для підвищення ефективності, гнучкості та стійкості логістичних процесів. Вони дають змогу знизити витрати, скоротити час доставки, зменшити вплив на довкілля та забезпечити безпеку вантажів. Використання мультимодальних перевезень для вантажних перевезень сприяє розвитку міжнародної торгівлі та поліпшує конкурентоспроможність логістичних систем.

У загальному розумінні транспортна галузь постає однією з ключових сфер економіки. Так, в Україні частка транспортного сектору у валовому внутрішньому продукті становить приблизно 9,3 %, а робоча сила, зайнята в цій галузі, становить близько 7 % від загальної чисельності працюючого населення. За довжиною залізничних магістралей Україна займає друге місце в Європі, маючи близько 21,7 тисяч кілометрів залізниць.

Протягом останніх років в Україні активізувався процес розбудови та поліпшення якості транспортної інфраструктури, що є стратегічними пріоритетами модернізації всієї транспортної системи країни в рамках Національної транспортної стратегії України до 2030 року [23]. Але з початком повномасштабних бойових дій на території нашої країни темпи розбудови сповільнилися.

Транспортна інфраструктура, а це автомобільні дороги, залізниці, порти та аеропорти, є фундаментом для забезпечення ефективного переміщення людей і вантажів. Проте для досягнення максимальної ефективності та забезпечення безперебійного ланцюга постачання важливо розглянути ширше поняття – логістичну інфраструктуру.

Логістична інфраструктура не обмежується лише транспортними шляхами. Вона охоплює також складські приміщення, логістичні центри, інформаційні системи та послуги, які забезпечують не тільки фізичний рух товарів, але й управління інформаційними та фінансовими потоками. Завдяки інтеграції цих компонентів, логістична інфраструктура забезпечує ефективну

координацію та оптимізацію всього процесу постачання від виробника до кінцевого споживача [51].

Саме логістична інфраструктура України є основним вектором у розвитку мультимодальних перевезень в Україні. Крім того, залізничний транспорт відіграє важливу роль у логістичних ланцюгах, забезпечуючи широкий діапазон послуг і сполучень. Однак для досягнення максимального потенціалу мультимодальних перевезень необхідно не лише зберегти, але й вдосконалити існуючу залізничну інфраструктуру.

Модернізація та оптимізація залізничних терміналів, підвищення швидкості руху потягів, впровадження інноваційних технологій для моніторингу та управління вантажами – це лише деякі заходи, які вже аналізували багато науковців та які дійсно можуть поліпшити ефективність залізничних перевезень. Такі кроки допоможуть Україні забезпечити ефективний та інтегрований транспортний вузол, сприяючи розвитку торгівлі та економіки країни.

Розбудова інноваційної логістичної інфраструктури (рис. 2.16) у системі мультимодальних перевезень в Україні є необхідним кроком зниження витрат та поліпшення конкурентоспроможності країни на міжнародному рівні.

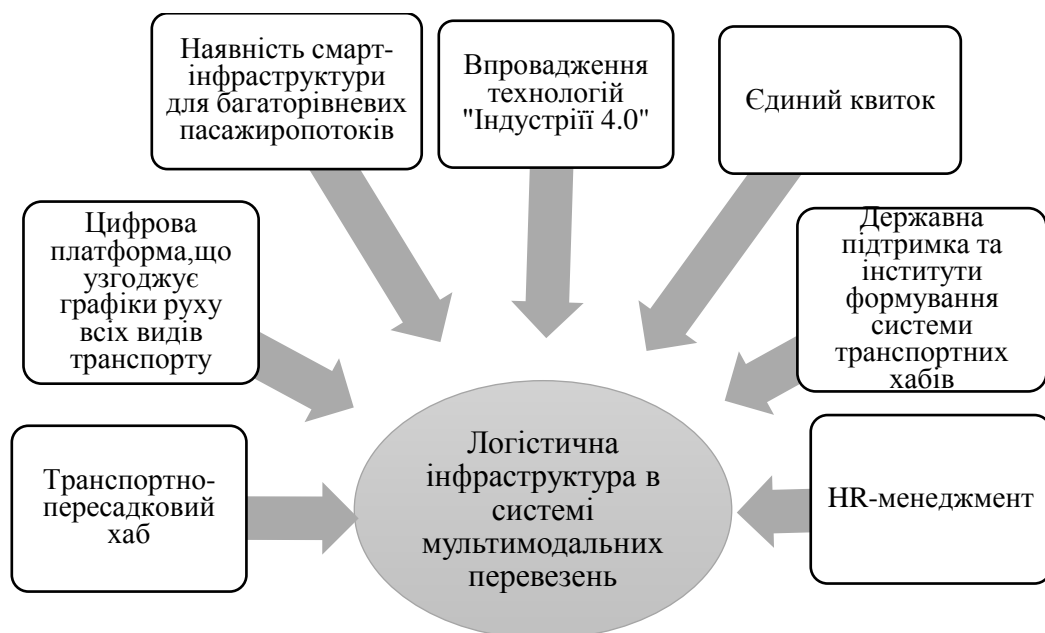


Рис. 2.16. Модель логістичної інфраструктури у системі мультимодальних перевезень (сформовано автором на основі [48], [50], [52])

Ці компоненти є ключовими елементами для створення сучасної, ефективної та надійної логістичної інфраструктури в Україні, що відповідає вимогам мультимодальних перевезень і сприяє підвищенню конкурентоспроможності національної економіки на міжнародному ринку. Отже:

1. Транспортно-пересадковий хаб, або транспортний вузол, – це спеціалізований центр, який об'єднує кілька видів транспорту (залізничний, автомобільний, морський, авіаційний) для ефективного управління перевезеннями вантажів і пасажирів. Він служить місцем перевантаження, розподілу й координації логістичних процесів, забезпечуючи швидке та ефективне сполучення між різними транспортними маршрутами. Наприклад, в Україні великий транспортний хаб планується збудувати у місті Скнилів Львівської області та запустити сполучення, що з'єднає залізничний вокзал з міським аеропортом Львова.

2. Цифрова платформа, що узгоджує графіки руху всіх видів транспорту, зокрема й міського, щоб пасажир мав змогу здійснювати комфортні пересадки із мінімальним часом очікування.

3. Смарт-інфраструктура для багаторівневих пасажиропотоків у системі мультимодальних перевезень є ключовим елементом для підвищення ефективності, зручності та безпеки перевезень. Вона передбачає інтеграцію різних видів транспорту (залізничного, автомобільного, повітряного, водного) за допомогою сучасних технологій.

Прикладами таких смарт-систем є місто Сінгапур: одна з найрозвиненіших транспортних систем з інтелектуальним управлінням трафіком, широким використанням IoT та мобільних додатків для пасажирів.

Токіо також має складну систему інтермодальних терміналів, що забезпечує швидкі та зручні пересадки між залізницею, метро, автобусами та іншими видами транспорту.

4. Впровадження «Індустрії 4.0» у логістичні системи мультимодальних перевезень на залізничному транспорті відкриває значні можливості для підвищення ефективності, надійності та інтеграції транспортних процесів. Ці перспективи є особливо актуальними для України, яка має великий потенціал у розвитку залізничної логістики.

Розглянемо основні перспективи та виклики впровадження «Індустрії 4.0» в цій галузі, що складаються із встановлення «інтелектуального» обладнання вагонів і локомотивів для контролю технічного стану і вчасного виконання технічного обслуговування, що підвищує надійність перевезень. Хмарні платформи дають змогу зберігати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних про перевезення, забезпечуючи швидкий доступ до інформації. Водночас хмарні рішення допомагають інтегрувати різні логістичні системи, що сприяє кращій координації мультимодальних перевезень. Використання віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) для тренування операторів і обслуговуючого персоналу залізниць підвищує якість і швидкість навчання [23].

Перспективи подальшого впровадження «Індустрії 4.0» у логістичні системи мультимодальних перевезень на залізничному транспорті в Україні є дуже обнадійливими. Проте успішне застосування цих технологій потребує комплексного підходу, включаючи інвестиції, навчання персоналу та співпрацю між урядом і бізнесом.

5. Єдиний квиток у системі мультимодальних перевезень є важливим інструментом, що сприяє підвищенню зручності та ефективності пасажирських перевезень. Це рішення дає змогу пасажирам використовувати один квиток для подорожі різними видами транспорту, такими як автобуси, поїзди, метро, трамваї, та інші.

6. Державна підтримка та інститути формування системи транспортних хабів: сюди належать аспекти розробки та впровадження законодавчих актів і нормативно-правових актів, що сприяють розвитку мультимодальних перевезень та інноваційної логістики, залучення державних і приватних

інвестицій для фінансування проєктів з модернізації інфраструктури та впровадження нових технологій [53].

7. HR-менеджмент: наявність висококваліфікованих спеціалістів та якісних навчальних програм для підготовки фахівців у галузі логістики, транспортного менеджменту та мультимодальних перевезень, організація курсів підвищення кваліфікації для працюючих спеціалістів, щоб вони могли адаптуватися до нових технологій та методів управління логістичними процесами [50, 54].

Вищеописані елементи є ключовими засадами для створення сучасної, ефективної та надійної логістичної інфраструктури в Україні, що відповідає вимогам мультимодальних перевезень і сприяє підвищенню конкурентоспроможності національної економіки на міжнародному ринку.

Виконаємо SWOT-аналіз логістичної інфраструктури залізничного транспорту України (табл. 2.3), щоб виявити всі сильні та слабкі сторони та, головне, можливості розвитку цього напрямку та загрози. Він свідчить про наявність потужної базової структури, здатної забезпечувати перевезення навіть в умовах системних потрясінь.

До сильних сторін слід віднести розгалуженість мережі, енергоефективність та збереження управлінської спроможності під час війни. Водночас наявні структурні слабкості, такі як відсутність мультимодальної інтеграції, фізичне зношення об'єктів, технологічна відсталість, стримують потенціал галузі. Серед перспективних можливостей варто виділити розбудову логістичних хабів, диджиталізацію, участь у міжнародних транспортних коридорах та активізацію державно-приватного партнерства. Проте ці можливості реалізуються лише за умови подолання суттєвих зовнішніх загроз – воєнних руйнувань, кадрових втрат, макроекономічної дестабілізації та залежності від імпорту ресурсів.

Загалом, результати аналізу вказують на необхідність реалізації скоординованої стратегії структурної модернізації та цифрової трансформації

залізничної логістики з урахуванням поточних обмежень та перспектив інтеграції до європейського транспортного простору.

Для узагальнення наведених положень доцільно підкреслити, що ефективний розвиток логістичної інфраструктури залізничного транспорту України в умовах мультимодальних перевезень має базуватися на поєднанні просторової інтеграції транспортних хабів, цифрових платформ координації руху та інституційно забезпеченого управління змінами.

Таблиця 2.3

SWOT-аналіз логістичної інфраструктури залізничного транспорту України
(сформовано автором)

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
Розгалужена логістична мережа з високою пропускнуною спроможністю	Відсутність інтегрованих мультимодальних пересадкових вузлів
Наявність кадрового потенціалу в критичних регіонах	Низький рівень інтеграції транспортних систем, взаємодії різних видів транспорту
Висока енергоефективність та екологічність	Застаріле ІТ-обладнання та відсутність наскрізної цифровізації
Стійкість до кризових умов (зокрема, воєнного стану)	Недостатній рівень інвестицій у модернізацію
Досвід управління великими логістичними потоками	Часткова невідповідність європейським стандартам безпеки та обслуговування
Певний рівень цифрових сервісів (електронні квитки, логістичні платформи)	Високий рівень фізичного зносу інфраструктури
<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
Побудова та модернізація мостів, тунелів, терміналів	Ескалація безпекових ризиків (військові загрози, диверсії)
Впровадження цифрових рішень (АСУ, «розумні вокзали», цифрові депо, інтелектуальні поїзди)	Зменшення кадрового резерву через міграцію, демографічну кризу
Міжнародне співробітництво, розвиток транскордонного сполучення (інтеграція в європейські коридори - Rail Baltica, TEN-T й ін.)	Макроекономічна нестабільність, зниження платоспроможного попиту
Розбудова транспортних логістичних хабів у вантажному і пасажирському сполученні	Руйнування інфраструктури внаслідок війни, потреба в значних коштах на відновлення
Розвиток державно-приватного партнерства (концесії, інвестмеханізми)	Залежність від імпорту комплектуючих та енергетичних ресурсів
Трансформація залізничних вокзалів і станцій в термінали	Кіберзагрози на фоні цифровізації критичної інфраструктури
Впровадження цифрової платформи для узгодження роботи різних видів транспорту	
Використання принципів Індустрії 4.0 у логістичні системи мультимодальних	

Саме синергія інфраструктурних, технологічних та організаційно-кадрових компонентів створює передумови для переходу від фрагментарної логістики до системної моделі транспортного обслуговування, орієнтованої на міжнародні стандарти інтероперабельності, стійкості та клієнтоорієнтованості.

У цьому контексті цифровізація є не самоцільною метою, а інструментом реалізації стратегічних переваг залізничного транспорту, забезпечуючи підвищення пропускної спроможності, прозорість логістичних ланцюгів та інтеграцію України до європейського й глобального транспортно-логістичного простору.

2.4. Модель оцінювання рівня цифрової зрілості підприємств залізничного транспорту

Успішна реалізація цифрової трансформації залізничного транспорту потребує не лише технічного оновлення інфраструктури чи автоматизації окремих процесів, а й створення цілісної системи моніторингу, яка допомагає оцінювати рівень цифрової зрілості підприємства у динаміці. Саме цифрова зрілість є інтегральним показником готовності підприємства до впровадження нових технологій, адаптації до ринку цифрових послуг та забезпечення конкурентоспроможності у глобальному транспортному просторі.

В українських реаліях така оцінка має особливе значення, адже більшість залізничних підприємств перебувають на етапі часткової автоматизації, а цифрові технології використовуються фрагментарно, переважно у сфері документообігу та продажу квитків. Тому важливим науково-практичним завданням є створення моделі, яка дозволить кількісно виміряти поточний

рівень цифрової зрілості, визначити слабкі місця та сформуванати дорожню карту подальшої цифровізації.

Запропонована модель оцінювання ґрунтується на методологічних принципах *Digital Maturity Model (DMM)*, розроблених міжнародними консалтинговими компаніями *Deloitte*, *IBM* та *Capgemini*, проте вона модифікована з урахуванням особливостей функціонування залізничного транспорту України.

Необхідність адаптації зумовлена тим, що міжнародні підходи базуються на практиках комерційних корпорацій, у той час як український залізничний сектор функціонує у державній формі власності, має монополізовану структуру управління та обмежені можливості залучення приватних інвестицій у цифрові технології.

Відмінність адаптованої моделі полягає в тому, що вона охоплює не лише технологічні аспекти цифровізації, а й управлінські, організаційні та кадрові чинники, які визначають спроможність підприємства впроваджувати цифрові інновації у складній ієрархічній системі управління.

Такий підхід узгоджується з положеннями, викладеними у роботах Т. Чаркіної та В. Задої [55], де обґрунтовано методіку визначення рівня цифрової зрілості підприємств залізничного транспорту та підкреслено, що всі основні параметри цифрової готовності залізничних компаній перебувають на критичному рівні, що потребує системного підходу до оцінювання й розвитку цифрових компетенцій.

Адаптація міжнародної моделі здійснена на основі узагальнення положень, наведених у наукових публікаціях щодо цифрового розвитку транспортної галузі України [56; 57, 58]. Зокрема, у дослідженнях наголошується на потребі розроблення галузевих індикаторів цифровізації, які враховують стан інфраструктури, ступінь автоматизації виробничих процесів, розвиток інформаційно-керуючих систем і кадрову готовність до цифрових змін.

З урахуванням цих положень, запропонована модель передбачає адаптацію *блокової структури DMM* під умови залізничного транспорту України за такими напрямками:

1. *Цифрова інфраструктура* – стан телекомунікаційних мереж, наявність систем автоматичного збору даних, рівень IoT-оснащення, використання хмарних рішень та серверних потужностей.
2. *Інформаційні системи управління* – ступінь інтеграції систем планування ресурсів підприємства (*ERP*), систем управління відносинами з клієнтами (*CRM*), систем управління персоналом (*HRM*) та аналітичних інформаційних систем (*BI*), що забезпечують прозорість управлінських процесів і взаємодію між підрозділами.
3. *Операційна ефективність і автоматизація процесів* – наявність систем моніторингу рухомого складу, аналітики технічного обслуговування, предиктивних моделей і цифрових двійників.
4. *Цифрові сервіси для клієнтів* – розвиток онлайн-продажів, мобільних застосунків, персоналізованих сервісів для пасажирів і вантажовласників, що формують клієнтоцентричну екосистему.
5. *Компетентності персоналу* – рівень цифрової грамотності, доступність навчання в системі e-learning, готовність кадрів до роботи в умовах цифрової економіки.

Особливістю адаптації моделі є включення додаткових індикаторів, що враховують *державну домінанту управління, нерівномірність розвитку інфраструктури та кадрові ризики*, пов'язані з дефіцитом цифрових компетенцій. Крім того, на відміну від класичних корпоративних моделей DMM, запропонований варіант містить індикатор «нормативно-правова готовність», який оцінює наявність внутрішніх положень, регламентів і стратегій цифрової трансформації підприємства.

Таким чином, адаптована модель не лише відтворює базові принципи DMM, але й відображає структурні, інституційні та соціальні реалії залізничної галузі України, де цифрова зрілість визначається не тільки технічними

параметрами, а й ефективністю управління змінами, кадровою політикою та здатністю до міжгалузевої інтеграції.

Для узагальнення результатів оцінювання цифрової зрілості підприємства використовується інтегральний показник, який дає змогу об'єктивно порівняти рівень цифрової готовності між різними структурними підрозділами або підприємствами галузі. Розрахунок проводиться на основі зваженої суми нормованих значень окремих індикаторів цифровізації.

Індекс цифрової зрілості підприємства залізничного транспорту (I_{dig}) визначається за формулою:

$$I_{dig} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot I_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (2.1)$$

де: n – кількість індикаторів, включених до моделі;

w_i – ваговий коефіцієнт важливості показника, що визначається експертним шляхом у межах від 0,05 до 0,15;

I_i – значення i -го показника цифровізації, яке відображає ступінь упровадження певної технології або управлінської практики.

Експертна оцінка вагових коефіцієнтів виконується за методом парних порівнянь Сааті, що забезпечує узгодженість думок респондентів і дає змогу зменшити суб'єктивність результатів. У процесі опитування визначається значущість кожного індикатора щодо впливу на загальний рівень цифрової зрілості.

Індикатори моделі згруповано за п'ятьма напрямками, що відображають основні сфери цифрової діяльності підприємств залізничного транспорту. Для кожного показника встановлюється поточне значення у межах від 0 до 1, де 0 – повна відсутність упровадження, а 1 – повна інтеграція технології у виробничо-управлінські процеси. Такий підхід дає змогу здійснювати динамічний моніторинг цифрової трансформації та виявляти вузькі місця розвитку.

Значення інтегрального індексу I_{dig} дає змогу класифікувати підприємства за рівнем цифрової зрілості:

- *низький рівень* ($I_{dig} < 0,4$) – цифрові технології використовуються епізодично, відсутня єдина інформаційна система управління;
- *середній рівень* ($0,4 \leq I_{dig} < 0,7$) – існують окремі елементи автоматизації, упроваджуються цифрові сервіси для клієнтів, але недостатньо розвинена інтеграція між підрозділами;
- *високий рівень* ($I_{dig} \geq 0,7$) – цифрові технології інтегровані в усі ключові процеси, функціонує система управління на основі даних (*Data-Driven Management*).

Застосовуючи вагові коефіцієнти можна збалансувати оцінку, адже не всі напрямки мають однакову значущість для підприємства. Наприклад, для пасажирського сектору більшу вагу мають індикатори, пов'язані з клієнтськими сервісами та цифровими каналами продажу, тоді як у вантажному сегменті – з аналітичними системами планування логістичних потоків. Таким чином, модель забезпечує гнучкість і адаптивність до специфіки окремих підрозділів або напрямів діяльності залізничного транспорту.

Важливою перевагою розробленої моделі є можливість її використання як управлінського інструменту, що дає змогу не лише фіксувати поточний стан цифрової зрілості, але й відстежувати динаміку змін у часі, визначати вузькі місця цифрової інфраструктури та формувати пріоритети інвестування. Розраховані значення I_{dig} можуть стати основою для розробки дорожніх карт цифровізації, стратегій модернізації інфраструктури, а також для порівняльного аналізу між регіональними дирекціями або підрозділами АТ «Укрзалізниця».

У рамках цього дослідження вагові коефіцієнти (табл. 2.4) визначено за допомогою аналітико-логічного підходу на основі узагальнення наукових джерел [55–58], міжнародних рекомендацій *Digital Maturity Model* компаній *Deloitte*, *IBM* і *Capgemini*, а також аналітичних звітів ЄС та OECD щодо цифрової трансформації транспорту [59–63].

Такий підхід дає змогу відтворити структуру взаємозв'язків між основними напрямками цифровізації залізничного транспорту та забезпечує логічну узгодженість моделі.

Визначення вагових коефіцієнтів запропоновано здійснити на основі структурного аналізу, тобто пропорційно впливу кожного блоку цифрової діяльності на загальний рівень цифрової зрілості підприємства. Наприклад, напрям «Інформаційні системи управління» має більшу вагу через свою роль у координації управлінських процесів, тоді як «Компетентності персоналу» відіграють підтримувальну функцію, формуючи здатність організації адаптуватися до цифрових змін.

Таблиця 2.4

Система індикаторів та вагових коефіцієнтів моделі оцінювання цифрової зрілості підприємств залізничного транспорту
(складено автором на основі [55-58])

№	Напрямок цифровізації	Позначення індикатора	Вага w_i	Зміст показника
1	Цифрова інфраструктура (напрямок 1)	I_1	0,10	Рівень впровадження IoT-пристроїв та сенсорів у рухомому складі
2	Цифрова інфраструктура (напрямок 2)	I_2	0,10	Використання хмарних платформ і дата-центрів
3	Інформаційні системи управління	I_3	0,10	Інтеграція ERP-системи управління ресурсами
4	Операційна ефективність	I_4	0,05	Використання цифрових двійників для технічного обслуговування
5	Цифрові сервіси для клієнтів	I_5	0,10	Розвиток онлайн-продажів квитків і мобільних сервісів
6	Компетентності персоналу	I_6	0,10	Рівень цифрової грамотності та участі в програмах e-learning
7	Нормативно-правова готовність	I_7	0,05	Наявність корпоративних документів щодо цифрової стратегії
8	Інтегроване управління даними	I_8	0,10	Наявність системи управління великими даними (Big Data)
9	Інформаційна безпека	I_9	0,10	Розвиненість політик захисту даних та кібербезпеки
10	Управлінська інтеграція	I_{10}	0,10	Узгодженість цифрових рішень між підрозділами підприємства

У такій логіці вагові коефіцієнти можуть бути визначені за умовними значеннями ($w_i = 0,1$), що дає змогу продемонструвати механізм розрахунку інтегрального індексу без проведення повномасштабного експертного

оцінювання. Це робить модель придатною для аналітичних і прогнозних розрахунків на етапі формування концепції цифрової трансформації.

Запропонований підхід забезпечує можливість оцінювання цифрової зрілості підприємств навіть за обмеженості вихідних даних – лише на основі документів, внутрішньої звітності чи офіційно оприлюднених показників. Модель має універсальний характер і може бути використана для:

- порівняльного аналізу рівня цифрової готовності різних структурних підрозділів залізничного транспорту;
- побудови бази даних для подальшого кількісного аналізу;
- валідації майбутніх результатів експертного або статистичного оцінювання.

Таким чином, запропонована модель оцінювання цифрової зрілості є не лише концептуальною основою для подальших емпіричних досліджень, а й практичним інструментом аналітичної підтримки управлінських рішень. Вона формалізує структуру цифрової діяльності підприємств, створює базу для системного моніторингу динаміки цифровізації та забезпечує уніфікований методичний підхід до оцінювання рівня цифрової готовності залізничного транспорту України.

Модель також дає змогу визначати пріоритетні напрями цифрової трансформації, які потребують першочергових інвестицій, кадрового посилення та організаційної підтримки. Отримані на її основі результати розрахунку інтегрального індексу цифрової зрілості (I_{dig}) створюють методологічну платформу для розроблення стратегічних рішень щодо модернізації інфраструктури пасажирського господарства.

Підсумовуючи результати виконаного аналізу, можна констатувати, що процес цифровізації залізничного транспорту України має фрагментарний характер і характеризується переважно технологічною, а не управлінською спрямованістю.

Відсутність цілісної моделі координації цифрових ініціатив, єдиної архітектури даних і системи показників ефективності стримує підвищення

рівня цифрової зрілості галузі. Цифрові рішення впроваджуються переважно у вигляді локальних проєктів без чіткої інтеграції у стратегічну систему управління, що призводить до неузгодженості процесів, дублювання функцій і низької результативності.

Наявні організаційні недоліки: слабка взаємодія між структурними підрозділами, недостатня підготовка управлінських кадрів до роботи з великими даними, обмежене використання аналітичних інструментів прогнозування, – вказують на системну проблему управління цифровою трансформацією. Це засвідчує потребу у формуванні цілісного управлінського механізму цифрової модернізації залізничного транспорту, який поєднає стратегічні, ресурсні, процесні та регуляторні компоненти.

Саме розробленню такого механізму присвячено розділ 3 дисертації, де визначено теоретико-методологічні засади побудови управлінської системи цифрової модернізації пасажирського комплексу залізничного транспорту України та виконано обґрунтування її економічної ефективності.

Висновки до розділу 2

За результатами розгляду питань другого розділу дисертаційної роботи про вплив сучасного ринку на впровадження цифрових технологій на залізничному транспорті можна зробити такі висновки:

1. Встановлено, що незважаючи на ситуацію в країні, залізниця продовжує працювати, забезпечуючи стабільність роботи всіх підрозділів, зокрема було напрацьовано низку вдалих рішень:

– Розширення міжнародного пасажирського сполучення. Першим запустили поїзд № 67/68 Київ–Варшава. У 2022 році ввели новий маршрут Харків–Київ–Хелм. У 2024 році з'явився поїзд №119/120 Дніпро–Хелм із зручним стикуванням на Варшаву, що пришвидшує подорож на 4 години.

Також нові поїзди Чоп–Відень та Чоп–Прага забезпечують зручні пересадки всередині України.

– У 2023 році залізничним транспортом України в далекому сполученні перевезено 25 млн пасажирів, з них 2,1 млн у міжнародному сполученні до Європи. Обсяг вантажних перевезень в Україні у 2022 році скоротився майже на 50 % порівняно з 2021 роком, але вже в лютому 2024 року Укрзалізниця перевезла 14,5 млн тонн вантажів, що на 30 % більше, ніж за аналогічний період попереднього року.

– Розширені цифрові канали комунікації з пасажирями, що є важливим інструментом для передачі інформації та взаємодії з різними аудиторіями: забезпечення стабільної роботи соціальних мереж Фейсбук, Інстаграм, Телеграм, чат-боти, та із серпня 2022 – розробка власного мобільного додатка УЗ.

2. Виявлено, що цифровізація залізничної галузі викликала значні зміни в роботі перевезень. Особливо варто виокремити вплив «Індустрії 4.0», яка характеризується інтеграцією новітніх цифрових технологій у виробничі та економічні процеси. Впровадження сучасних цифрових технологій сприяло підвищенню ефективності операцій, зменшенню часу на обробку вантажів та пасажирів, а також поліпшенню якості обслуговування. Цифрові рішення дали змогу оптимізувати логістичні процеси, удосконалити управління рухом поїздів і забезпечити більш точне прогнозування потреб у перевезеннях. Крім того, цифровізація сприяла підвищенню безпеки на залізничному транспорті та поліпшенню комунікації між різними учасниками ринку.

3. Розглянуто питання цифрової трансформації та можливі наслідки відмови від участі в цьому процесі. Адже нехтування процесами цифрової трансформації у сфері залізничного транспорту може мати серйозні наслідки для ефективності, безпеки, конкурентоспроможності та якості обслуговування, а саме: зниження ефективності перевізного процесу, погіршення стану безпеки, зниження загальної конкурентоспроможності порівняно з іншими видами транспорту, погіршення якості обслуговування користувачів залізничного

транспорту, вимушені економічні та кадрові збитки, і, як результат, непривабливість для інвестицій та інших фінансових дотацій.

4. Вивчено питання цифрової трансформації в економіці та її вплив на формування нових бізнес-моделей та, відповідно, виконано порівняння їх з існуючими класичними. Розглянуто можливі очікувані зміни від впровадження цифрової трансформації основних процесів на залізничному транспорті.

5. Сформовано модель управління бізнес-процесами на підприємствах залізничного транспорту, що містить такі складові: «Логістика 4.0», «Інфраструктура 4.0», «Вокзал 4.0», «Інтелектуальні транспортні системи», «Сервіс 4.0» тощо. Впровадження інтерактивних інформаційних систем на станціях і у вагонах допоможе надавати пасажиром актуальну інформацію про розклад, затримки та умови подорожі. Це підвищить зручність і комфорт пасажирів, роблячи подорожі більш передбачуваними та інформативними.

Одночасно ця модель позитивно вплине на роботу вантажних перевезень, забезпечуючи можливість відстеження вантажів у режимі реального часу. Це сприятиме прозорості та контролю над логістичними процесами, зменшуючи ризики втрат або затримок вантажів і поліпшуючи загальну ефективність роботи залізничного транспорту.

6. Встановлено, що впровадження стандарту 5G у сфері пасажирських залізничних перевезень забезпечить значні переваги, зокрема це високошвидкісний інтернет, оперативне реагування на аварійні ситуації, постійний моніторинг стану поїздів, локомотивів та інфраструктури. У сфері вантажних перевезень – використання даних у реальному часі для оптимізації маршрутів, зменшення затримок; застосування автоматизованих систем управління складами, розвантаження та завантаження вантажів, що зменшить витрати на ручну працю та підвищить точність операцій.

7. Запропоновано концепцію логістичної інфраструктури в системі мультимодальних перевезень, що містить: транспортно-пересадковий хаб, який об'єднує кілька видів транспорту (залізничний, автомобільний, морський, авіаційний) для ефективного управління перевезеннями вантажів і пасажирів;

цифрову платформу, що узгоджує графіки руху всіх видів транспорту, щоб пасажир мав змогу здійснювати комфортні пересадки із мінімальним часом очікування; смарт-інфраструктуру для багаторівневих пасажиропотоків у системі мультимодальних перевезень; єдиний квиток; інструменти «Індустрії 4.0»; безумовну державну підтримку та висококваліфіковані кадри.

8. Розроблено модель оцінювання рівня цифрової зрілості підприємств залізничного транспорту, адаптовану до умов України. Модель охоплює технологічні, управлінські, організаційні та кадрові аспекти цифровізації й дає змогу кількісно визначати рівень цифрової готовності підприємства, виявляти вузькі місця та планувати пріоритети інвестування. Вона є концептуальною основою для подальших емпіричних досліджень і практичним інструментом стратегічного управління цифровою трансформацією залізничного транспорту.

Наукові результати другого розділу знайшли відображення в наукових працях [2, 32, 40, 50, 56] за списком використаних джерел

РОЗДІЛ 3

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ПАСАЖИРСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ЗАЛІЗНИЦІ

3.1. Розробка напрямків цифровізації інфраструктури залізничного транспорту

Емпіричні результати, отримані в межах моделі оцінювання рівня цифрової зрілості підприємств залізничного транспорту (п. 2.4), засвідчили середній рівень інтеграції цифрових технологій в управлінські та операційні процеси АТ «Укрзалізниця». Це зумовлює необхідність розроблення системних напрямків цифровізації інфраструктури, орієнтованих на підвищення ефективності пасажирських перевезень, прозорість управління ресурсами та впровадження сучасних сервісів для споживачів. Визначені стратегічні орієнтири трансформації є основою для модернізації пасажирського господарства та впровадження проектного управління цифровими змінами в галузі.

Цифрова трансформація інфраструктури вимагає не лише технологічного оновлення, а й перебудови управлінських процесів. Для цього необхідне впровадження принципів проектного управління, що забезпечують контроль за термінами, бюджетом, ризиками та результатами цифрових ініціатив. Ефективна організація управління цифровими проектами дає змогу забезпечити узгодженість стратегічних цілей модернізації з інституційними можливостями підприємства, зменшити операційні ризики та підвищити рівень міжгалузевої інтеграції.

Концепція «Залізниця 4.0» базується на інтеграції передових технологій: Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (ШІ), цифрових двійників тощо – для створення єдиної «розумної» залізничної екосистеми. Наприклад, компанія

Deutsche Bahn (Німеччина) уже впроваджує проекти з використання IoT та аналітики великих даних для моніторингу стану колій і рухомого складу.

З позиції управління це не лише технологічна модернізація, а й комплексна програма організаційних змін, що охоплює стратегію, структуру, процеси, культуру й технології. Відповідно до стандартів з управління інноваціями (наприклад, ISO 56000), таке поєднання допомагає перетворювати впровадження технологій на довгострокову організаційну конкурентну перевагу [64].

Для забезпечення координації цифрових ініціатив у межах майбутньої програми трансформації доцільно запропонувати створення *Ради з цифрової трансформації залізниці* (далі – РЦТЗ) – постійного міжвідомчого дорадчо-координаційного органу, який об'єднуватиме виконавчий директорат АТ «Укрзалізниця», представників Міністерства інфраструктури, Міністерства розвитку громад та територій, Міністерства фінансів України. Основне її завдання – узгодження стратегічних проектів цифровізації, контроль виконання портфеля інноваційних програм та забезпечення прозорості фінансування.

У межах цього управлінського підходу як механізм реалізації пропонується портфельна структура, що складається з п'яти субпроектів, кожен з яких має власну матрицю відповідальності, бюджет і часові рамки виконання, але координується через вказану Раду. Такий формат дає змогу поєднати технологічні, управлінські та фінансові рішення в єдину систему цифрової модернізації залізниці.

Зміст портфеля пропонується такий:

1. *Субпроект «Цифрова інфраструктура»* – спрямований на модернізацію телекомунікаційної мережі, розгортання FRMCS-зв'язку, IoT-сенсорів на ключових об'єктах інфраструктури та впровадження архітектури з принципом «нульової довіри» для кіберзахисту систем керування рухом.
2. *Субпроект «Інтелектуальні аналітичні системи»* – охоплює створення єдиної платформи Big Data та впровадження модулів штучного інтелекту

для моніторингу стану інфраструктури, прогнозування несправностей і підтримки прийняття управлінських рішень.

3. *Субпроект «Цифровий двійник залізниці»* – передбачає побудову інтегрованих цифрових копій інфраструктури, вузлових станцій і рухомого складу, що дає змогу здійснювати симуляційне планування, навчання персоналу та тестування інновацій у віртуальному середовищі.
4. *Субпроект «Клієнтські сервіси та платформа мобільності»* – спрямований на створення єдиного цифрового середовища для організації подорожей, запровадження електронного квитка на базі технології розподіленого реєстру, персоналізованих сервісів і системи лояльності пасажирів.
5. *Субпроект «Цифрові компетенції та управління змінами»* – охоплює розроблення корпоративної програми «7 компетенцій цифрового залізничника», створення електронної академії для навчання працівників і впровадження системи оцінювання персоналу за інноваційними показниками ефективності.

Такий портфель формує комплексну модель управління цифровою трансформацією та забезпечує практичну реалізацію концепції «Залізниця 4.0», у межах якої кожен технологічний компонент підпорядковується єдиній стратегії цифрової модернізації компанії. Структурно ця концепція розвивається на трьох рівнях цифрової архітектури (табл. 3.1).

Реалізація концепції відбувається послідовно через три управлінські етапи: формування бачення, розроблення дорожньої карти та моніторинг ефективності.

На етапі формування бачення визначається ціль: перехід від експлуатаційної моделі «залізничний перевізник» до сервісної моделі «платформа мобільності». Етап розроблення дорожньої карти структуровано в п'ять хвиль довжиною 24 місяці:

- *Підготовка інфраструктури зв'язку нового покоління*

Розгортання сучасної мережі залізничного зв'язку (на основі 5-го покоління мобільних технологій) для забезпечення швидкої та надійної передачі даних.

– *Пілотний проєкт моніторингу стану стрілок*

Встановлення датчиків на ключових ділянках колій для дистанційного відстеження технічного стану та прогнозування зносу елементів.

– *Запровадження віртуальних моделей вузлових станцій*

Створення цифрових копій залізничної інфраструктури для віддаленого спостереження, аналізу ситуацій і навчальних моделювань.

Таблиця 3.1

Три рівні цифрової архітектури концепції «Залізниця 4.0»

(розроблено автором на основі [58–63])

Рівень цифрової архітектури	Ключові компоненти	Основні завдання та результати
<i>1. Інфраструктурний рівень</i>	Сенсорні системи моніторингу, безпілотні літальні апарати, мережі п'ятого покоління (5G) та система зв'язку залізниць нового покоління - FRMCS	Забезпечення збору даних у реальному часі, підвищення надійності та безпеки руху, створення цифрового фундаменту для інтеграції аналітичних і сервісних рішень
<i>2. Аналітичний рівень</i>	Платформа обробки великих даних, модулі штучного інтелекту, система цифрових двійників	Автоматизований аналіз технічного стану інфраструктури, прогнозування відмов, оптимізація розкладів і ресурсів, підтримка управлінських рішень на основі даних
<i>3. Сервісний рівень</i>	Єдина система цифрової мобільності, електронний квиток на основі розподіленого реєстру, засоби доповненої реальності для навігації	Забезпечення безперервного сервісу для пасажирів, персоналізація обслуговування, прозорість розрахунків та інтеграція залізничного транспорту в мультимодальну систему перевезень

– *Інтеграція сервісної транспортної платформи та запуск електронного квитка.*

Створення єдиного електронного середовища для організації подорожей з можливістю купівлі квитка через захищену цифрову систему.

– *Розширення використання знеособлених даних*

Передача частини технічної інформації для зовнішнього використання через відкриті цифрові канали з метою розвитку супутніх сервісів та додаткових доходів.

Система ключових показників ефективності (КPI) охоплює:

- *Фінансові показники* – економічна чиста приведена вартість та витрати життєвого циклу.
- *Операційні показники* – середній час відновлення та пунктуальність руху поїздів.
- *Клієнтські показники* – індекс прихильності пасажирів і довічна цінність клієнта.
- *Екологічно-соціальні показники* – обсяг викидів CO₂ та рівень інклюзивності сервісів.

Контролювати виконання цих показників пропонується РЦТЗ, яка щоквартально провадить аудит і за потреби коригує дорожню карту проекту.

Така ієрархія цілей і контрольних точок забезпечує стратегічну узгодженість проекту з корпоративною Стратегією УЗ-2030 [65] та Транспортною стратегією ЄС [66]. Зокрема, європейський план реалізації цифровізації залізниці визначає пріоритетними такі напрями розвитку: забезпечення надійного зв'язку, підвищення якості обслуговування, збільшення пропускної спроможності та використання транспортних даних для конкурентних переваг. Ці завдання узгоджуються з концепцією «Залізниця 4.0» та адаптуються до українського ринку.

На рисунку 3.1 наведено ієрархічні рівні цієї концепції: від збору даних (датчики IoT, шлюзи, периферійний ШІ, цифровий двійник) до платформових компонентів (блокчейн-реєстр, диспетчерська система, інтерфейс мобільності як послуги) і сервісного шару (електронний квиток, смарт-контракти вантажів і хабів, підсистема ситуаційної обізнаності). Завершує структуру центр ситуаційної обізнаності Міністерства оборони (включно з воєнним часом), що забезпечує прийняття рішень у реальному часі. Схема відображає наскрізний

потік даних від сенсорів до управлінських рішень, підкреслюючи інтеграцію технологічних, операційних і безпекових елементів.

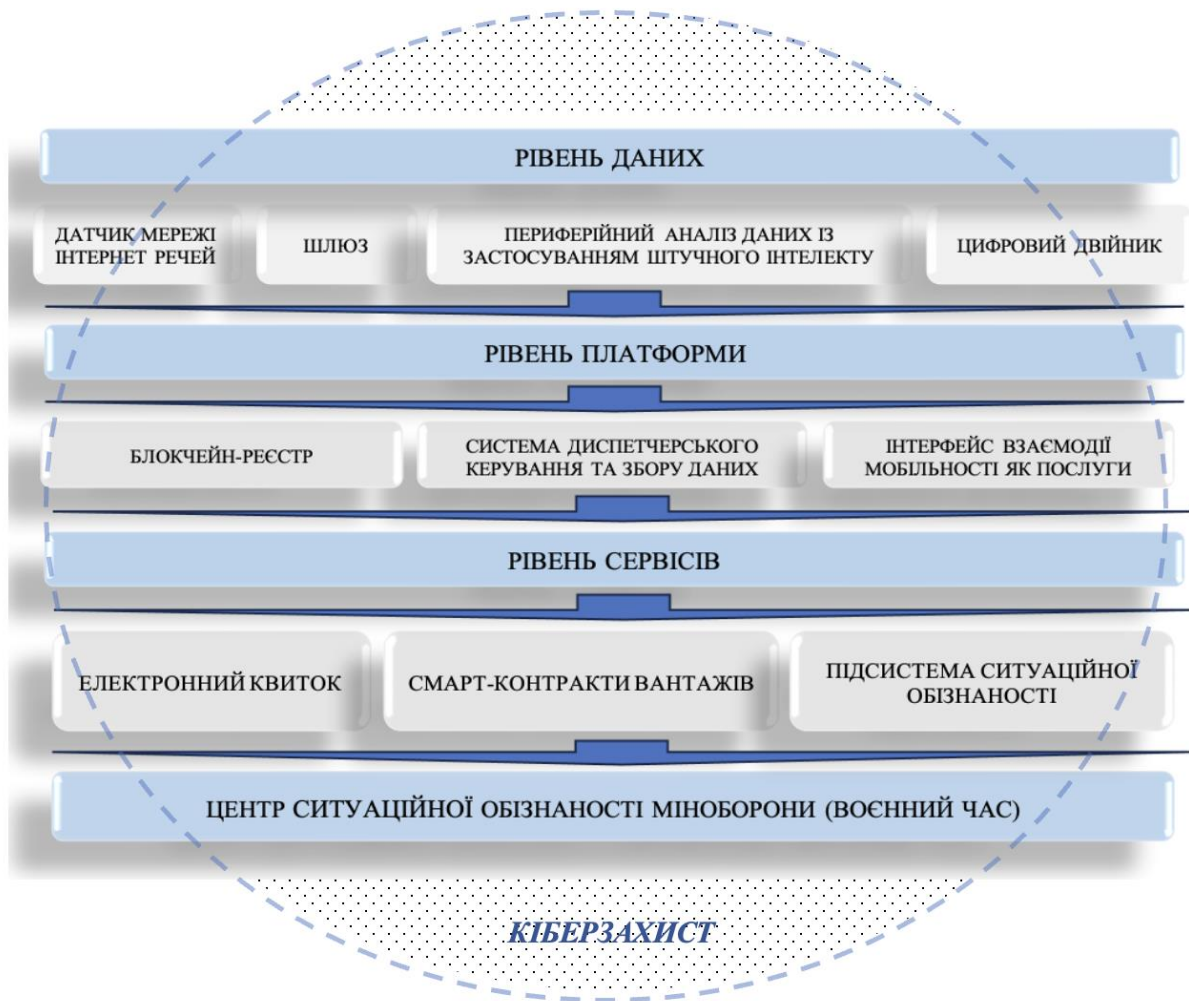


Рис. 3.1. Основні компоненти концепції «Залізниця 4.0» для цифрової координації (розроблено автором)

У межах цієї моделі показано допоміжні контури взаємодії з автоматизованою системою диспетчерського контролю, вбудованою платформою транспортних послуг, розподіленим реєстром для фіксації операцій та ситуаційним центром Міністерства оборони, який отримує дані для координації перевезень у кризових умовах. Така структура відображає інтегральний характер кіберфізичної залізничної системи, у якій поєднуються технологічні, управлінські та безпекові складові.

Цифрову екосистему доповнює підрівень кіберзахисту, який пронизує всі три рівні: даних, платформи та сервісів. Він охоплює захист каналів зв'язку, контроль доступу до даних, перевірку автентичності користувачів і резервування ключових процесів. Це забезпечує безперервність надання цифрових послуг навіть за умов зовнішніх кібератак або воєнних загроз, формуючи стійку та адаптивну інфраструктуру управління транспортною системою.

У межах рівня даних цифрова трансформація передбачає впровадження структури з принципом «нульової довіри», коли кожен елемент мережі проходить багаторівневу перевірку без жодних апріорних припущень щодо його безпечності.

Це поєднується із розподілом каналів зв'язку нового покоління (п'ятого покоління мобільного зв'язку) на окремі сегменти. Завдяки цьому критично важливі сигнали, що забезпечують рух поїздів і безпеку інфраструктури, передаються відокремлено від допоміжних потоків даних, таких як доступ пасажирів до бездротового інтернету у вагонах.

Такий підхід гарантує, що навіть у разі зовнішнього втручання або перевантаження каналів зв'язку системи управління рухом залишаються стабільними й захищеними.

Аналітичний підрівень (включно з периферійним ШІ та цифровим двійником) підсилюється використанням методів автоматизованого навчання, які здатні виявляти відхилення від нормальної роботи ще до того, як вони переростають у критичні несправності.

Обробка великих масивів даних, що надходять від сенсорів колійної інфраструктури та рухомого складу, дає змогу виявляти приховані закономірності в змінах технічного стану обладнання. Практичні випробування довели, що застосування сучасних алгоритмів обробки даних дає змогу досягати точності прогнозування відмови рейкових з'єднань на рівні понад 92 %.

Це означає, що в трьох випадках із десяти потенційні збої будуть виявлені й вжиті відповідні запобіжні заходи ще до виникнення фактичної поломки. У результаті час простою рухомого складу через аварійні ремонти може скоротитися майже на третину, що забезпечує значну економію коштів і підвищення надійності перевезень [67].

На сервісному рівні впроваджується персоналізований «цифровий паспорт пасажира» на базі блокчейна, який поєднує квиток, багажний токен і сервіси лояльності, в результаті пілоти французької SNCF засвідчують прискорення посадки на 18% та зниження шахрайства до статистично нульового рівня [68].

Для Укрзалізниці концепція «Залізниця 4.0» має значення не лише як технологічна модернізація, а і як чинник макроекономічного зростання. Виконане економічне моделювання показує, що інтегральний показник економічної доданої вартості (ENPV) може становити близько 850 млн доларів США протягом життєвого циклу проекту [68]. Джерела цього ефекту структуровані таким чином:

- приблизно 42 % доданої вартості формується завдяки енергозбереженню: скороченню витрат на тягову електроенергію, оптимізації роботи локомотивів та використанню відновлювальних технологій;
- близько 37 % забезпечується за рахунок зростання пасажиропотоку, що є наслідком підвищення якості сервісів, зручності поїздок та впровадження єдиного електронного квитка;
- решта формується завдяки новим цифровим послугам: абонентським програмам для пасажирів («транспортна мобільність як послуга»), розвитку додаткових сервісів на основі відкритих каналів обміну даними та використанню інформаційної інфраструктури як нового джерела доходу.

Загалом «Залізниця 4.0» є не просто інноваційним проектом у галузі транспорту, а каталізатором системних змін. Вона сприяє переходу від

традиційної експлуатаційної моделі, орієнтованої на фізичне перевезення, до нової бізнес-моделі, що ґрунтується на використанні даних, орієнтації на потреби пасажирів та принципах сталого розвитку.

Це означає, що залізничний транспорт перетворюється на комплексну сервісну платформу, де цифровізація стає головним драйвером як економічної ефективності, так і підвищення суспільної цінності [68].

У цілому цифрові рішення дають змогу оптимізувати трафік, збільшувати пропускну спроможність та безпеку, а також персоналізувати сервіси для пасажирів. Наприклад:

- *Інтернет речей (IoT)*. Сотні вбудованих сенсорів по всій мережі (рейки, стрілочні переводи, рухомий склад) надають дані в реальному часі для контролю технічного стану. Відомий кейс – система KONUX з бездротовими датчиками на стрілочних переводах, що прогнозує знос деталей. У Західній Європі схожі IoT-проекти реалізуються спільно з ІТ-компаніями (DB Systemtechnik, DB Digital Ventures) [64]. Також в Азії близько 35 % світового ринку цифрових залізниць (2023) припадає на регіон Азіатсько-Тихоокеанський [67].

В Україні вже підтримуються проекти EBRD та ООН з встановлення цифрових рейкових датчиків, а також безпекових сенсорів (газ, пожежа) на депо для профілактики надзвичайних ситуацій [68]. IoT створює місток між фізичним світом і цифровими моделями, забезпечуючи дані для подальшого аналізу ШІ.

- *Штучний інтелект (AI) і машинне навчання*. Завдяки IoT-даним алгоритми машинного навчання виявляють приховані закономірності й можуть прогнозувати несправності рухомого складу за тижні до їх настання. Це забезпечує приблизно 20–30 % зменшення витрат на аварійні ремонти та скорочення простоїв на 30–50 %.

AI-алгоритми також оптимізують розклад і маршрути потягів на завантажених вузлах, мінімізуючи затримки та енергоспоживання. На рівні пасажирських перевезень моделі ШІ аналізують пасажиропотоки (наприклад,

SNCF впроваджує AI-сервіси в мобільних додатках для поліпшення обслуговування). До того ж генеративні AI-системи (ChatGPT-подібні) можуть допомагати диспетчерам і службам безпеки в екстрених ситуаціях, аналізуючи дзвінки чи оптимізуючи роботу змін та ремонтних бригад. Завдяки цьому значно підвищується оперативність прийняття рішень і ефективність пасажирського сервісу [69].

- *Цифровий двійник (Digital Twin)*. Створення єдиного цифрового двійника мережі інфраструктури (віртуальна копія ліній, станцій, обладнання) дає змогу моделювати роботу залізниці в режимі реального часу. Наприклад, DB Systemtechnik розробила цифрові моделі колій і мостів для віддаленого моніторингу їхнього стану [69]. Через цифровий двійник можлива генерація синтетичних даних і тренування AI, як зазначають експерти Deutsche Bahn, для навчання систем автономного керування необхідно симулювати сотні сценаріїв аварій чи несправностей у віртуальному середовищі. Показовим є проект Sensors4Rail в рамках Digitale Schiene Deutschland, він використовує реалістичну модель залізничної станції, на якій симулюються надзвичайні ситуації [70]. На рисунку 3.2 представлено візуальне порівняння фізичної ділянки залізничної лінії (ліворуч) та її цифрового двійника (праворуч), створеного в рамках програми DSD. Такий підхід допомагає моделювати поведінку інфраструктури, відтворювати аварійні сценарії та проводити навчальні симуляції без втручання в реальні перевезення, що є основою концепції «Залізниця 4.0».



Рис. 3.2. Порівняння реальної та віртуальної моделі залізничної станції «Mittlerer Landweg» у межах проєкту Digitale Schiene Deutschland [70]

- *Блокчейн-технології.* Блокчейн забезпечує прозорість логістичних ланцюгів і захист персональних даних пасажирів. Децентралізований реєстр унеможливорює підробку квитків і додає довіри до електронного обслуговування. У вантажних перевезеннях «розумні контракти» на блокчейні автоматизують фіксацію завантажень/розвантажень на вузлах, підвищуючи ефективність логістики. Хоча в Україні застосування блокчейну наразі лише на початковій стадії, очікується, що він вирішить проблеми довіри в міжнародних перевезеннях (електронна акредитація вагонів і вантажів) [71].

- *Телекомунікації та 5G.* Для передачі IoT-даних і забезпечення ширшої пропускної спроможності мереж потрібно розгортати сучасні канали зв'язку. Пілотні проєкти Укрзалізниці вже використовують LTE-покриття для забезпечення мобільного інтернету в поїздах. Подальше впровадження FRMCS (*future railway mobile comm. system*) на базі 5G/4G дає змогу реалізувати концепцію «internet of trains» – постійний потік даних між рухомим складом та інфраструктурою в реальному часі. Паралельно кібербезпеку залізниці мають зміцнювати: захищені канали зв'язку, «блокчейн-підтвердження» телеоперацій та сертифікація даних – усе це критично для цифрової трансформації [71].

- *Аналітика й прогнозування ринку.* Враховуючи стрімке зростання світового ринку цифрових залізничних технологій, доцільно оцінювати інвестиційні перспективи за допомогою формули СРЗР (середньорічного темпу). Наприклад, за прогнозом, світовий ринок цифрових рішень для залізниць зросте з \$69,8 млрд у 2023 р. до \$165,4 млрд у 2032 р., що дає середньорічний темп близько 10 % [69]. Такі темпи зростання вказують на великі можливості для інвестицій та наукових досліджень.

Цифровізація забезпечує не лише технічні, а й організаційні переваги. За мирних умов єдина цифрова платформа «Укрзалізниці» надає повну прозорість логістичних ланцюгів, оптимізує використання рухомого складу та

енергоресурсів, а також підвищує якість обслуговування пасажирів завдяки персоналізованим сервісам.

У кризових умовах гнучка цифрова система з багаторівневим кіберзахистом (DSS-архітектура, центри ситуаційної обізнаності) дає змогу координувати гуманітарні й військові перевезення в режимі реального часу.

Для повної реалізації потенціалу необхідно одночасно розгорнути кіберзахист, об'єднати системи підтримки прийняття рішень та великі дані в управлінні, а також підвищити цифрові компетенції персоналу.

Для реалізації програми «Залізниця 4.0» пропонується матрична оргструктура з трьома центрами відповідальності (ЦВ) (рис 3.3).

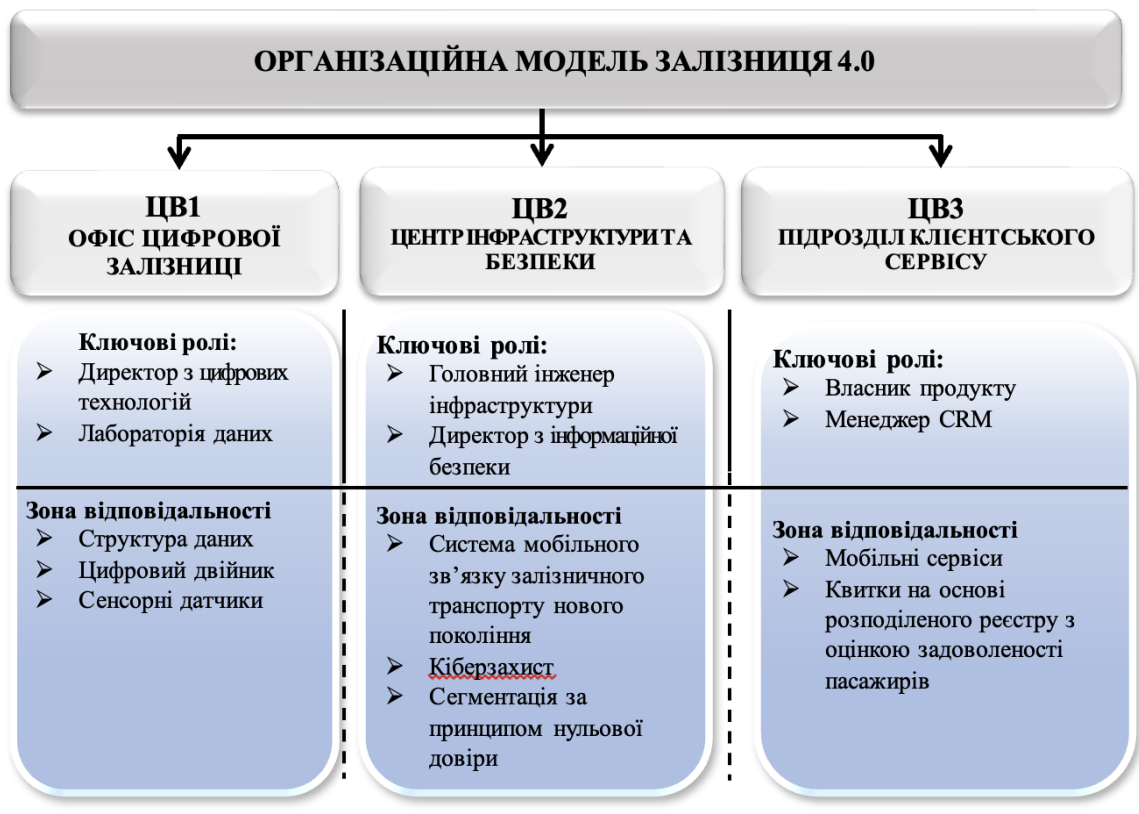


Рис. 3.3. Організаційна структура цифрової моделі «Залізниця 4.0»

(розроблено автором)

Лише комплексна трансформація технологій, даних і кадрів дасть змогу створити потужну адаптивну залізничну систему, здатну витримувати кризи та сприяти сталому розвитку галузі.

Кожен центр відповідальності очолює власну програму робіт і має окремий бюджет, однак остаточні рішення затверджує РЦТЗ. Взаємодія між центрами регламентується *RACI-матрицею*:

- *Офіс цифрової залізниці* має *A* (Відповідальний) за дані й AI-моделі (кінцева відповідальність) і *C* (Консультант) щодо інфраструктури (консультує інженерів).
- *Центр інфраструктури та безпеки* є *A* за безпеку й мережі та *R* (виконавець) для IoT-сенсорів.
- *Підрозділ клієнтського сервісу* несе *A* за клієнтські продукти та *R* за блокчейн-квиток.

Гібридна модель *Agile + PMBOK* дає змогу синхронізувати ітераційні цифрові релізи та фазові будівельно-монтажні роботи, тоді як кадрова програма «7 компетенцій цифрового залізничника» (або її конфігурації - *Data Literacy*, *Cyber-Hygiene* тощо) [72] забезпечує культурну трансформацію персоналу.

Соціально-економічна та екологічна ефективність

Відповідно до аналітичної моделі оцінювання інвестиційних проєктів, яка ґрунтується на методі аналізу витрат і вигід та доповнюється показником економічної чистої приведеної вартості, реалізація комплексу заходів «Залізниця 4.0» демонструє високий рівень ефективності. Зокрема, розрахунки показують, що сумарний економічний ефект на двадцятирічному горизонті становить близько 847 млн доларів США у вигляді додаткової економічної цінності [73].

Основними джерелами формування цього ефекту є:

- зниження рівня аварійності залізничних перевезень на 18 %, що безпосередньо зменшує витрати на ліквідацію наслідків та підвищує безпеку;
- економія електроенергії на рівні 12 % завдяки впровадженню систем автоматизованого керування рухом та технологій прогнозного обслуговування;

- зростання пасажиропотоку на 14 % завдяки створенню інтегрованої транспортної платформи «мобільність як послуга», яка забезпечує зручний доступ до перевезень, єдину систему електронного квитка та нові цифрові сервіси.

Таким чином, результати розрахунків свідчать про те, що цифрова трансформація не лише створює умови для підвищення технологічної надійності та економії ресурсів, а й має значний соціально-економічний ефект у вигляді зростання довіри та попиту на залізничні перевезення.

Прогнозні дані було отримано на основі трендової екстраполяції показників діяльності АТ «Укрзалізниця» за 2018–2023 рр. з урахуванням очікуваних ефектів цифровізації, моделювання еластичності попиту та оцінки впливу технологічних факторів (зниження простоїв, підвищення пунктуальності, енергоефективності тощо).

Модельні сценарії враховують прогнозоване зростання пасажиропотоку на 12-15 % у разі впровадження інтегрованої транспортної платформи «мобільність як послуга», скорочення експлуатаційних витрат завдяки автоматизації технічного обслуговування (до 10 %) і підвищення енергоефективності на 8-12 % унаслідок модернізації систем зв'язку та керування рухом. Початкові інвестиційні витрати структуровано за трьома фазами: проектування (10 % від загального бюджету), будівництво (65 %) та цифрова інтеграція (25 %).

Узагальнені результати наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Сумарний вплив концепції «Залізниця 4.0» на КРІ УЗ (прогноз на 2026–2035 рр.) (розраховано автором на основі [74?109])

КРІ	База 2021 р.	Прогноз 2035 р.	Δ, %
Обсяг перевезених пасажирів, млн чол.	81,3	92,5	+13,7
Пунктуальність, %	89,1	95,4	+7,1
Середній простій вагону, діб	3,4	2,6	-23,5

CO ₂ , тис. т/рік	1 460	1 220	-16,4
------------------------------	-------	-------	-------

Запропонована портфельна структура цифровізації, яка містить п'ять субпроектів – від модернізації інфраструктури та створення цифрових двійників до розвитку компетенцій персоналу, формує цілісну модель реалізації цифрової стратегії. Такий підхід дає змогу поєднати технологічні та управлінські аспекти, забезпечити прозорість фінансування й контроль результатів через Раду з цифрової трансформації залізниці.

Інтеграція IoT-сенсорів, аналітики великих даних, штучного інтелекту та блокчейну формує основу для кіберфізичної екосистеми, у якій інформаційні потоки безперервно підтримують процеси експлуатації, технічного обслуговування й обслуговування пасажирів.

Реалізація концепції «Залізниця 4.0» має не лише технологічний, а й макроекономічний вимір. Очікується зростання енергоефективності, зменшення простоїв рухомого складу, підвищення пунктуальності та зростання пасажиропотоку.

Таким чином, цифрова трансформація стає не лише засобом підвищення операційної ефективності, а й чинником формування нової бізнес-моделі, що базується на управлінні даними, клієнтоцентричності та сталому розвитку.

3.2. Підходи до організації проєктного управління модернізацією інфраструктури залізничного транспорту

Реалізація концепції «Залізниця 4.0», структурно описаної в попередньому підпункті, потребує чітко визначеної системи управління, здатної координувати п'ять ключових субпроектів цифрової трансформації. У пункті 3.1 було зосереджено увагу на змісті цифрової архітектури та стратегічних напрямках модернізації, далі будемо розглядати організаційно-

управлінські механізми реалізації програми, інструменти фінансування та контролю результатів.

Цифрова трансформація залізничного транспорту потребує переходу від традиційної моделі управління до гнучкої програмно-проектної системи. Такий підхід передбачає інтеграцію класичних стандартів управління проектами (PMBOK 7, ISO 21502) із гнучкими методологіями (Agile, Scrum, SAFe), що дає змогу поєднати етапність будівельно-монтажних робіт з ітеративними цифровими релізами [75]. Гібридна модель управління забезпечує швидке реагування на зміни середовища, ефективний розподіл ресурсів і узгодженість між технологічними та організаційними завданнями.

У класичній управлінській моделі АТ «Укрзалізниця» інвестиційні програми реалізуються за жорстко ієрархічним принципом, із послідовними фазами погодження та централізованим контролем. Такий підхід ускладнює оперативність прийняття рішень, спричиняє затримки у виконанні та дублювання функцій управління.

Гібридна модель, розроблена в межах концепції «Залізниця 4.0», поєднує процесну дисципліну PMBOK і ISO 21502 із гнучкими механізмами Agile-управління, а також паралельне виконання фаз, кросфункціональну взаємодію та безперервний зворотний зв'язок між командами.

На відміну від традиційної ієрархії, де домінує адміністративний контроль, у гібридній моделі рішення приймаються в коротких інкрементальних циклах (спринтах), а контроль здійснюється через цифрові панелі моніторингу та показники ефективності (KPI). Це скорочує час управлінських рішень, підвищує адаптивність до змін зовнішнього середовища й забезпечує узгодженість технологічних і організаційних компонентів програми цифрової трансформації.

Таким чином, гібридна модель є еволюційним переходом від адміністративно-командної до адаптивної, ринково-орієнтованої системи управління, що відповідає принципам сучасного цифрового менеджменту та міжнародним стандартам.

Запропонована гібридна система управління відображає трансформацію державного підприємства у цифрову сервісну організацію, що є інноватикою для системи управління залізничним транспортом України.

Запропонована модель може бути включена в систему управління програмами АТ «Укрзалізниця» як цифровий офіс управління програмами, що поєднує стандарти управління проектами з інструментами цифрового моніторингу в режимі реального часу.

Послідовність переходу від стратегічних цілей до процесних, функціональних і системних вимог у межах програми «Залізниця 4.0» подано на рисунку 3.4.

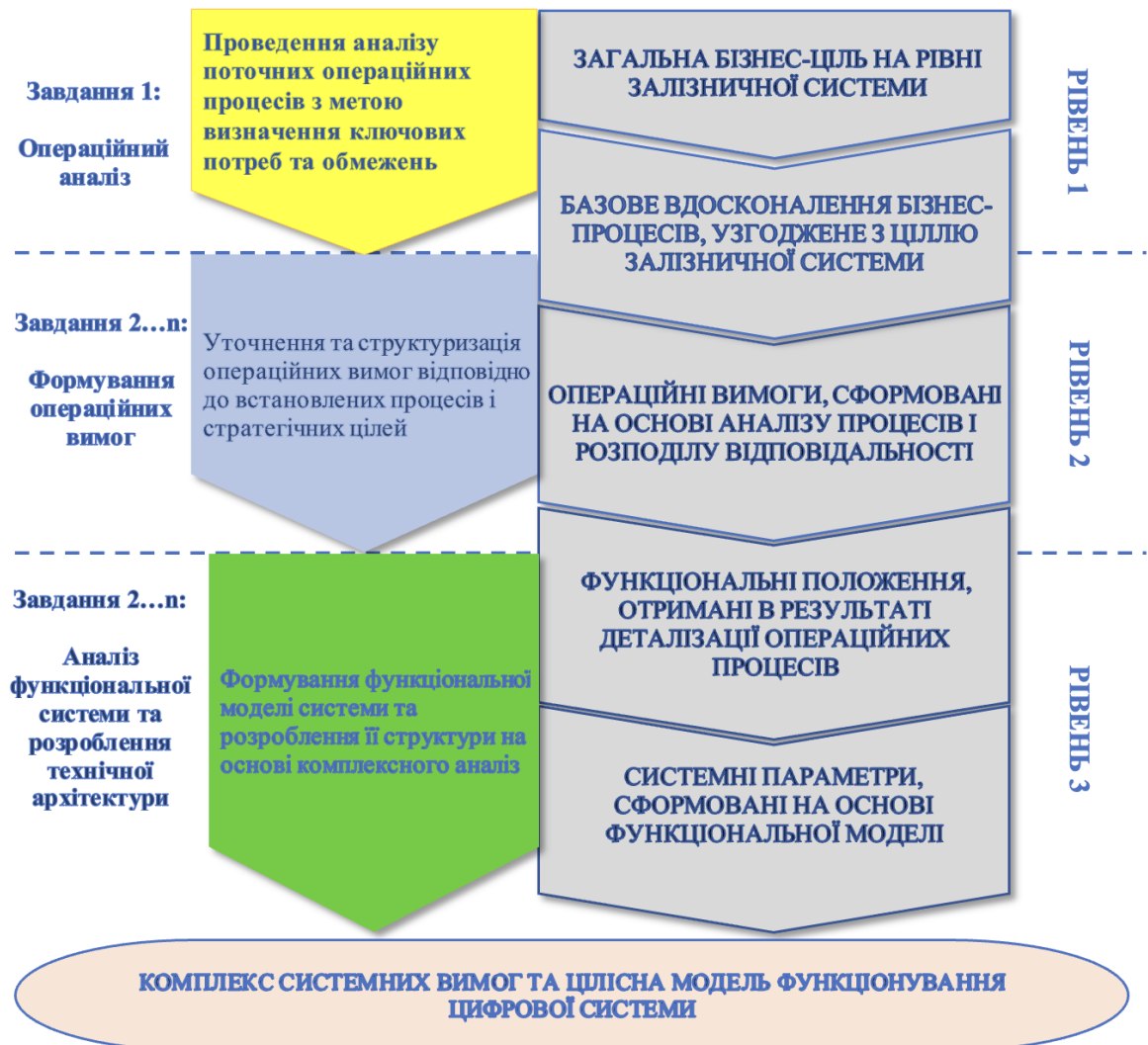


Рис. 3.4. Методична послідовність переходу від бізнес-цілей до системних вимог у цифровій трансформації залізничного транспорту України
(розроблено автором)

Світовий досвід показує переваги такого гібридного підходу. За даними огляду *McKinsey*, цифрові проєкти, де застосовувалися змішані (гібридні) методи управління, показували на 18 % менше відхилення від графіка та на 11 % менше перевищення бюджету порівняно з традиційною моделлю впровадження [65].

Водночас за умов обмежених можливостей державного бюджету та підвищених воєнних ризиків важливою складовою є вибір фінансової моделі реалізації проєкту. Оптимальним інструментом у цьому контексті є державно-приватне партнерство (ДПП), що поєднує державний контроль зі здатністю приватного сектора забезпечувати інноваційність і фінансову гнучкість.

Для оцінки ефективності програми «Залізниця 4.0» запропоновано адаптацію методичного підходу, яка поєднує аналіз вигід і витрат (СВА), систему дисконтованих оцінок і сценарне моделювання. Така комбінація обрана з огляду на особливості українських умов: високу турбулентність макросередовища, воєнні ризики та потребу врахування не лише фінансових, а й соціально-економічних ефектів цифрової трансформації залізничного транспорту.

Автор виходить з того, що традиційні показники ефективності (NPV, IRR) відображають лише грошові потоки, ігноруючи суспільну складову цифрових інвестицій. Тому в роботі удосконалено підхід до застосування показника економічної чистої приведеної вартості (ENPV) через урахування нефінансових вигід (зниження аварійності, енергоефективність, інклюзивність, цифрову безпеку), переведених у грошовий еквівалент. Така інтерпретація дає змогу оцінювати повну соціально-економічну віддачу цифровізації залізничної інфраструктури, а не лише її комерційну прибутковість.

Розрахунок ENPV здійснюється за формулою:

$$ENPV = \sum_{t=1}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \times k_v \quad (3.1)$$

де B_t – вигоди в період t ;

C_t – витрати;

r – соціальна ставка дисконту, визначена відповідно до Методики КМУ [74] та рекомендацій OECD [75, 76];

k_v – коефіцієнт воєнного ризику (0,85–0,9).

У розрахунках використано соціальну ставку дисконту $r=10\%$, яка відповідає середньозваженій вартості капіталу для публічних інфраструктурних проєктів в Україні та рекомендована Методикою оцінки інвестиційних проєктів [74]. Такий рівень узгоджується з аналітичними оцінками Deloitte [77] і OECD [76] для країн з підвищеним рівнем ризику. Застосування соціальної ставки дисконту дає змогу врахувати не лише фінансові, а й суспільно значущі вигоди цифрової модернізації залізничного транспорту, що відповідає підходам Європейської комісії до проєктів державного сектору [73].

Уведення коефіцієнта k_v є адаптацією міжнародної практики до українського середовища. Він дає змогу математично врахувати вплив війни та підвищеної невизначеності на прогнозовані вигоди, знижуючи їхню очікувану дисконтовану вартість. Така корекція не є лише технічною поправкою, вона відображає концепцію «реалістичного ENPV», що підвищує об'єктивність оцінювання у воєнній економіці.

Для перевірки стійкості результатів пропонується сценарний аналіз, який охоплює три варіанти розвитку подій:

- базовий – стабільна динаміка інвестицій та пасажиропотоку;
- воєнний – зменшення обсягів інвестицій і спад доходів;
- поствоєнний – фаза відновлення й прискореного зростання попиту.

Цей підхід, на відміну від лінійних моделей, дає змогу оцінити чутливість ENPV та IRR до змін зовнішніх параметрів і сформулювати рекомендації для управління ризиками на етапах планування та експлуатації.

Використання системи дисконтованих оцінок забезпечує зіставність міжчасових результатів і узгодженість з міжнародними стандартами оцінювання великих інфраструктурних проєктів. Проте в межах цього дослідження такий підхід пропонується доповнити процедурою перевірки ризикової премії, розрахованої на основі ринку облігацій воєнного періоду, що підвищує точність ставки дисконту для українського транспортного сектору.

Запропонований підхід інтегровано у фінансово-аналітичний блок моделі «Залізниця 4.0». Детальний сценарний аналіз засвідчив, що концесійна модель ПБФЕ є найбільш ефективною (табл. 3.3). Ці результати підтверджують доцільність поєднання державного та приватного капіталу для пришвидшення цифрової модернізації.

Порівняльні результати подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Порівняльний аналіз фінансових показників моделей залучення інвестицій для реалізації проєкту «Залізниця 4.0» (складено автором на основі [78])

Показник	Державне фінансування	Класична форма ДПП	Концесія ПБФЕ
Внутрішня норма прибутковості, %	7,6	9,8	11,4
Чиста приведена вартість, млн євро	312	522	745
Строк окупності, років	16	13	11

Додатково розраховано очікуваний показник ENPV з урахуванням впливу невизначеності та тарифної політики. Уведення коефіцієнта k_v у формулу приведених показників (NPV, ENPV, IRR) дає змогу не лише зменшити оціночну похибку, а й продемонструвати новий інструмент управління

ризиками інфраструктурних проєктів, адаптований до реальності в Україні (воєнний стан, активні бойові дії, стагнація економіки):

$$ENPV = k_v \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (3.2)$$

де

CF_t – чистий грошовий потік;

I_0 – початкові інвестиції.

Значення k_v обґрунтовано шляхом порівняння прогнозів ЄБРР і OECD щодо воєнного та поствоєнного сценаріїв розвитку транспортної інфраструктури, а також аналізу ризик-премій українського фінансового ринку.

Вихідною базою для параметрів моделі стали методичні рекомендації ЄБРР, Deloitte, галузеві звіти АТ «Укрзалізниця» за 2022–2024 рр. та результати аналогічних проєктів цифрової модернізації у Deutsche Bahn і PKP PLK [79–82].

Такий підхід має подвійну наукову новизну:

1. У теоретичному аспекті – через адаптацію СВА+ENPV до умов воєнної економіки.
2. У практичному – через формування інструментарію прогнозування ризиків цифрових проєктів для державних перевізників.

Сформована методика забезпечує відтворюваність результатів, зіставність із міжнародними практиками та дає можливість інтегрувати управлінську оцінку ефективності в систему стратегічного планування цифрової трансформації Укрзалізниці.

Для перевірки надійності отриманих результатів здійснено аналіз чутливості показника чистої приведеної вартості (NPV) до зміни ставки дисконту в межах ± 2 .

За умов зниження ставки дисконту до 8 % інтегральна економічна чиста вартість проєкту збільшується на 10–12 %, тоді як за її підвищення до 12 % зменшується менш ніж на 9 %.

У всіх сценаріях значення NPV залишаються позитивними, що свідчить про стійкість інвестиційного проєкту до коливань вартості капіталу та підтверджує коректність застосованої методики дисконтованих оцінок.

Такий підхід відповідає рекомендаціям Європейського банку реконструкції та розвитку [83] та аналітичним принципам, викладеним у звіті [84], де межа $\pm 2\%$ використовується як стандартна процедура перевірки стійкості фінансових прогнозів.

Отримані результати підтверджують, що концесійна модель за схемою концесія ПБФЕ є найбільш збалансованою за критеріями ефективності та ризикостійкості. Вона дає змогу державі зберегти стратегічний контроль над об'єктами інфраструктури, водночас залучаючи приватний капітал і технологічні інновації. Такий формат сприяє прискоренню реалізації проєкту «Залізниця 4.0» та забезпечує гнучкість управління в умовах воєнної невизначеності.

Вибір фінансової моделі та організації програми «Залізниця 4.0» обґрунтовується такими факторами:

1. Оцінка фінансових альтернатив

Порівняльний аналіз трьох моделей залучення коштів показав, що концесія за схемою «проєктування – будівництво – фінансування – експлуатація» формує найвищу економічну чисту приведену вартість, забезпечуючи термін окупності проєктів до 11 років. Також до потенційних вигід можливо віднести участь у моделі приватного капіталу, що дає змогу переносити значну частину фінансових та будівельних ризиків на приватного партнера, а для проєктів в умовах воєнної невизначеності за умов збереження стратегічного контролю за державою це особливо важливо.

2. Процедура ухвалення рішення «державні кошти чи державно-приватне партнерство»

Рішення в межах програми ґрунтується на алгоритмі «вигода – вартість». На початковому етапі здійснюється техніко-економічне обґрунтування, що визначає базові потреби, очікувані результати та загальний обсяг інвестицій.

Далі проводиться кількісна оцінка вигід і витрат для кожної моделі фінансування (державна, ДПП, концесійна), порівнюються грошові потоки, розраховуються показники NPV і IRR. Паралельно формується матриця розподілу ризиків, яка фіксує, які сторони несуть фінансову, технічну та політичну відповідальність. Завершальним етапом є якісна оцінка соціальних та екологічних ефектів, після чого РЦТЗ ухвалює остаточне рішення про формат залучення приватних інвестицій.

Управління програмою «Залізниця 4.0» здійснюється на основі портфельного принципу, який об'єднує всі проекти в єдину систему з узгодженими строками, ресурсами та результатами. Зміст субпроектів формує технологічну основу і далі потрібно визначити організаційні ролі та управлінські зв'язки між ними. Для цього доцільно застосувати модель програмного управління, яка містить три рівні:

- стратегічний – координація РЦТЗ;
- тактичний – управління портфелем субпроектів через офіс цифрової залізниці;
- операційний – виконання проектів безпосередньо в центрах відповідальності.

Взаємодію між рівнями програмного управління доцільно описати через матрицю розподілу відповідальності (матрицю RACI), у якій визначено, хто виконує, координує, консультує та інформується про перебіг робіт у межах кожного субпроекту. Такий підхід забезпечує прозорість комунікацій, підзвітність керівників напрямів і можливість оперативного коригування дорожньої карти трансформації.

3. Структурування програми

З метою підвищення керованості масштабною програмою цифрової модернізації доцільно розділити її на модулі, які відповідають за ключові напрями технологічного оновлення. Кожен модуль має власну ціль, бюджет і часовий горизонт, але всі вони узгоджені в рамках єдиного життєвого циклу. Це допомагає поєднати інфраструктурні, аналітичні та сервісні компоненти в

єдину систему, забезпечити поетапне впровадження інновацій і контроль досягнення цілей за допомогою ключових показників ефективності (KPI).

4. Розподіл відповідальності

Для кожного модуля визначено відповідальних. Наприклад, за цифровий двійник відповідає ІТ-дирекція УЗ (приватний підрядник виконавець, Міністерство інфраструктури є консультантом), за телекомунікаційний модуль – департамент зв'язку тощо.

5. Методика оцінки ризиків цифрової трансформації залізничного транспорту

Оцінювання ризиків під час реалізації програми «Залізниця 4.0» здійснено на основі міжнародних стандартів ISO 31000:2018 «Управління ризиками» та COSO ERM Framework [85, 86]. Для цього використано класичний підхід:

- ймовірність настання події (p) оцінюється в межах від 0 до 1;
- наслідок (i) оцінюється за п'ятибальною шкалою (1 – мінімальний, 5 – катастрофічний);
- інтегральний ризик (r) визначається за формулою : $r = p \times i$.

Методологія підтверджена європейською практикою (рекомендації ERA) та нормативними документами CEN/CENELEC [83, 87, 88].

Для визначення параметрів ризиків проведено експертне опитування 20 фахівців – як з різних департаментів АТ «Укрзалізниця», так і науковців профільних вишів (додаток А).

Для перевірки узгодженості результатів було розраховано коефіцієнт конкордації Кендалла (W), який визначають за формулою

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3.3)$$

де S – сума квадратів відхилень сум рангів кожного ризику від середнього значення;

m – кількість експертів (20);

n – кількість оцінених ризиків (7).

У дослідженні отримано показник $W=0,76$, що свідчить про високу узгодженість оцінок між експертами.

Статистична перевірка $\chi^2 = 91,2 > \chi^2_{(0,05;6)} = 12,59$ підтвердила значущість результатів за рівня довіри 95 %.

На основі експертного аналізу визначено три основні ризики, які мають найбільший вплив на успішність програми цифрової трансформації:

1. Затримка впровадження стандарту залізничного зв'язку нового покоління

- *Ймовірність (p): 0,3;*
- *Наслідок (i): 4;*
- *Інтегральний ризик (r): 1,20 (середній рівень);*
- *Стратегія реагування: коригування строків запуску, формування резервного фонду [80].*

2. Кібератака на вузол мережі сенсорів та «розумних» пристроїв

- *Ймовірність (p): 0,4;*
- *Наслідок (i): 5;*
- *Інтегральний ризик (r): 2,00 (високий рівень, найкритичніший);*
- *Стратегія реагування: впровадження архітектури «нульової довіри», створення віддаленого центру кіберзахисту, сертифікація каналів обміну даними [88].*

3. Девальвація гривні понад 25 % протягом року

- *Ймовірність (p): 0,5*
- *Наслідок (i): 3*
- *Інтегральний ризик (r): 1,50 (середній рівень)*
- *Стратегія реагування: валютне хеджування, укладання контрактів у євро для критично важливих закупівель, використання інструментів фінансового страхування [81].*

Методика експертного оцінювання дає змогу кількісно виміряти ризики цифрової трансформації та сформувати реєстр пріоритетних загроз. Найбільш критичним є ризик кібератаки ($r = 2,00$), що потребує першочергової уваги та ресурсів. Ризики затримки впровадження стандарту зв'язку та девальвації гривні віднесені до середнього рівня, але також вимагають управлінських дій. Застосовані стратегії мінімізації ґрунтуються на міжнародних стандартах та практиці провідних європейських залізниць.

Повний реєстр охоплює всі суттєві ризики (технічні, фінансові, кібернетичні, військово-політичні), у таблиці 3.4 наведено найвищі за рейтингом.

Таким чином, поєднання гнучкого планування з жорсткою кібербезпекою дає змогу знизити ймовірність збоїв роботи критичної інфраструктури навіть в умовах підвищеної загрози.

Таблиця 3.4

Фрагмент реєстру критичних ризиків для програми «Залізниця 4.0»

(розроблено автором)

Код ризику	Рівень пріоритету ризику	Ймовірність ¹	Наслідок ²	Інтегральний рейтинг ($p \times i$)	Запланована стратегія реагування	Відповідальний підрозділ
R1 Затримка впровадження стандарту залізничного зв'язку нового покоління у Євросоюзі	Середній	0,30	4	1,20	Перенесення строку пуску; резервний фонд	Департамент телекомунікацій УЗ
R2 Кібератака на вузол мережі сенсорів і «розумних пристроїв»	Високий (критичний)	0,40	5	2,00	Модель «нульової довіри»; віддалений центр кібербезпеки	Управління інформаційної безпеки УЗ

R3 Девальвація гривні понад 25% протягом року	Середній-високий	0,50	3	1,50	Валютне хеджування; укладення контрактів у євро	Казначейська служба УЗ
---	------------------	------	---	------	---	------------------------

¹Ймовірність прояву ризику (0 - 1) визначається на основі експертного опитування (n=20);

²Шкала наслідків: 1 - мінімальний, 5 - катастрофічний.

На рисунку 3.5 показано матрицю оцінювання ризиків цифрової трансформації АТ «Укрзалізниця», побудовану за осями «ймовірність настання події (p)» та «наслідок для системи (i)».

Кольорові зони відображають інтегральний рівень ризику, розрахований як добуток $p \times i$.

- *Зелена зона* відповідає низькому рівню ризику ($r \leq 1,0$). Такі події є малоїмовірними або мають незначний вплив на систему, тому вони не потребують негайних заходів управління, а лише стандартного моніторингу.
- *Жовта зона* позначає середній рівень ризику ($1,0 < r \leq 1,5$). Події цього рівня здатні спричиняти помірні фінансові та організаційні втрати. Для них необхідні профілактичні дії та створення резервних механізмів реагування.
- *Червона зона* характеризує високий рівень ризику ($r > 1,5$). Такі ризики є найбільш критичними й можуть мати катастрофічні наслідки для безпеки, фінансів чи репутації. Їх мінімізація є пріоритетним завданням.

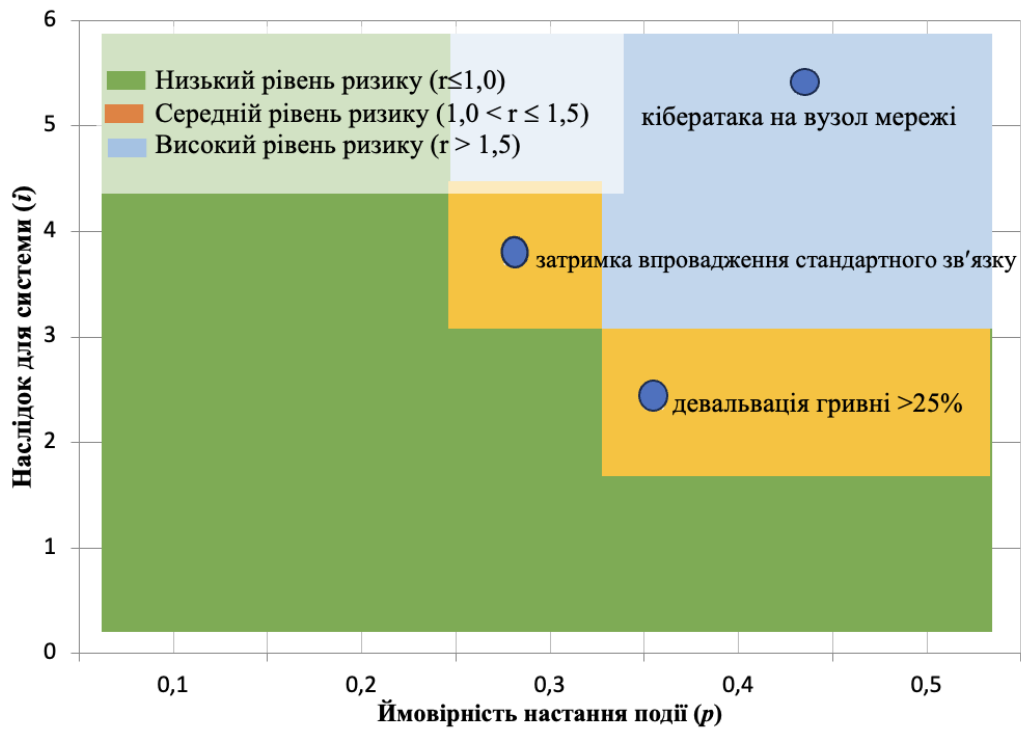


Рис. 3.5. Матриця ризиків цифрової трансформації АТ «Укрзалізниця»
(сформовано автором)

На діаграмі позначено три основні ризики:

1. Затримка впровадження стандарту зв'язку нового покоління ($p = 0,3$; $i = 4$; $r = 1,20$) потрапляє до жовтої зони, що свідчить про середній рівень впливу та необхідність фінансових резервів.
2. Кібератака на вузол мережі сенсорів ($p = 0,4$; $i = 5$; $r = 2,00$) розташована в червоній зоні, що вказує на найвищий рівень загрози, яка потребує першочергового реагування.
3. Девальвація гривні понад 25 % ($p = 0,5$; $i = 3$; $r = 1,50$) також перебуває на межі середнього та високого рівнів, вимагаючи запровадження валютного хеджування та контрактів у стабільних валютах.

Таким чином, рисунок чітко вказує на пріоритетність управлінських дій: найперше ресурси слід спрямовувати на кіберзахист, далі – на заходи зі зниження валютних ризиків та на управління можливими затримками у впровадженні стандартів.

6. Гнучке управління цифровими компонентами

У процесі цифрової трансформації залізничного транспорту дедалі частіше застосовуються сучасні методики організації робіт. Декількатижневий програмний інкремент, як правило, завершується створенням мінімально життєздатної функції, яку одразу можна перевірити на практиці. Це дає змогу швидко оцінити ефективність нових рішень і скоригувати подальші кроки.

Паралельно проводяться двотижневі «скрам-наради» (короткі цикли обговорення), де команди отримують зворотний зв'язок від користувачів і відразу вносять корективи до процесу. Такий підхід суттєво підвищує гнучкість управління та скорочує час між розробкою і впровадженням.

В Україні експериментальних впроваджень із використанням гнучких методів управління проектами у залізничному секторі поки що не було. Проте міжнародна практика має низку прикладів, які підтверджують доцільність застосування інкрементальних підходів, скрам-нарад та цифрових технологій у галузі:

- Німеччина (Deutsche Bahn): у проєкті *Scheibenberg Digital Testfield* проводились тестування цифрових процесів у залізничному середовищі. Основна увага була зосереджена на автоматизації планування та перевірці конфігурацій інфраструктури, що дало змогу скоротити обсяг ручних операцій та зменшити час на узгодження змін [89].
- Європейський контекст: застосування Agile-підходів у розробці залізничної продукції (наприклад, систем сигналізації чи програмного забезпечення) дає змогу пришвидшувати цикли впровадження та враховувати зворотний зв'язок користувачів на ранніх етапах [90]. Це створює аргументаційну базу для застосування скрам-інкрементів у транспортних проєктах. UIC / McKinsey (міжнародне дослідження) зазначає, що провідні залізничні оператори вже реалізують пілотні цифрові проєкти. Серед них – застосування аналітики, автоматизація ключових процесів, оптимізація планування руху. Такі проєкти розглядаються як «експериментальні застосування» і свідчать про перехід від класичної інфраструктурної логіки до цифрових бізнес-моделей [65].

- США (BNSF Railway): у кейсі впровадження автоматизованих систем інспекції колій продемонстровано, що кількість дефектів геометрії колії зменшилася на 63 % на окремих ділянках [91]. Хоча цей приклад не стосується наряду скрам-інкрементів чи зменшення паперових узгоджень, він підтверджує, що цифрові технології здатні істотно знизити витрати часу та підвищити ефективність у залізничному секторі.

Таким чином, хоча в Україні подібні пілотні впровадження ще не реалізовані, світовий досвід доводить ефективність цифровізації та гнучких методів управління в залізничній галузі. Це дає змогу обґрунтувати модельні припущення дисертації: у разі застосування 11-тижневих інкрементів та двотижневих скрам-циклів в умовах АТ «Укрзалізниця» можна очікувати аналогічного ефекту: скорочення часу узгодження та зниження втрат, пов'язаних із паперовими процедурами, до 40-50%.

7. Вимірювання результатів

Управлінський контроль базується на збалансованій системі показників. Фінансовий сектор охоплює індекси виконання за вартістю та строками й чисту приведену вартість; технічний – середній час відновлення та точність прогнозу прибуття поїзда; соціальний – індекс прихильності пасажирів і рівень доступності станцій. Усі дані виводяться на інтегровану панель, де автоматично сигналізується відхилення понад встановлений нормативний відсоток (наприклад 15 %); у такому разі питання порушується на поетапному контрольному засіданні Ради.

У сучасній практиці управління проектами вже недостатньо спиратися лише на класичну фазову модель, описану у стандартах з управління проектами. Її доповнюють гнучкі методи організації робіт, що передбачають короткі повторювані цикли виконання завдань.

Такі «ітерації» дають змогу оперативно враховувати відгуки замовників, швидко коригувати вимоги та мінімізувати витрати часу на погодження змін.

Особливо це актуально для цифрових компонентів програми «Залізниця 4.0», де інформаційні рішення розвиваються значно швидше, ніж будівельно-монтажні процеси.

Паралельно формується цілісна система управління ризиками, що охоплює як технічні, так і інформаційні загрози. Для кожного напрямку розробляються профілактичні й коригувальні заходи: від резервних схем живлення до політики захисту даних і регламентів безперервності сервісів.

Саме поєднання гнучкого планування з жорсткою дисципліною кіберзахисту дає змогу знизити ймовірність збоїв у роботі критичної інфраструктури.

Для підвищення керованості проєкт розбивається на тематичні модулі з власними цілями, бюджетом і командами. Це фіксується в матриці розподілу ролей. Така декомпозиція дає змогу паралельно виконувати, наприклад, модернізацію контактної мережі, впровадження «розумного» депо і створення цифрового диспетчерського центру, не створюючи «вузьких місць» і узгоджуючи технічні вимоги між напрямками.

У процесі стратегічного планування цифрової трансформації залізничного транспорту важливим інструментом є економічний аналіз повного життєвого циклу, який поєднує розрахунок сукупних витрат з оцінкою системи «вигоди-витрати».

Такий підхід забезпечує обґрунтованість інвестиційних рішень, дає змогу порівняти альтернативні сценарії фінансування та визначити їхню доцільність з позицій економічної, соціальної й екологічної ефективності.

Послідовність етапів фінансово-економічного обґрунтування інвестицій подано на рисунку 3.6, який відображає логіку переходу від оцінки витрат протягом життєвого циклу інфраструктурних об'єктів до формування фінансових рішень на основі результатів аналізу вигід і витрат.

На рисунку представлено процес, який є ітеративним і стратегічні цілі формують фінансову модель, що забезпечує економічне обґрунтування,

ранжування проєктів та оцінку витрат життєвого циклу. Результати аналізу вигід слугують основою для коригування стратегії та повторного циклу

Також представлена схема відображає взаємозв'язок між витратами протягом життєвого циклу інфраструктурних об'єктів, аналітичними розрахунками системи «вигоди-витрати» та процесом ухвалення фінансових рішень. Такий підхід дає змогу забезпечити прозорість інвестиційного планування, визначити економічну ефективність кожного компоненту програми цифрової трансформації та обґрунтувати необхідність залучення грантів, кредитних або приватних коштів.

У межах програми «Залізниця 4.0» цей механізм виконує функцію фінансово-аналітичного фільтра, через який проходять усі проєкти – від модернізації інфраструктури до впровадження інформаційних систем. Він формує основу для пріоритизації інвестицій, дає змогу порівнювати альтернативні сценарії реалізації та забезпечує баланс між технічною доцільністю, економічною вигідністю та соціальною користю.

Отже, адаптація класичних методологій під потреби цифрової епохи, використання гнучких підходів до виконання завдань, впровадження системного управління ризиками та обґрунтована фінансова модель разом утворюють комплексний управлінський механізм. Він спроможний забезпечити успішне й безпечне впровадження цифрових інновацій на залізничному транспорті України, незважаючи на турбулентність середовища.

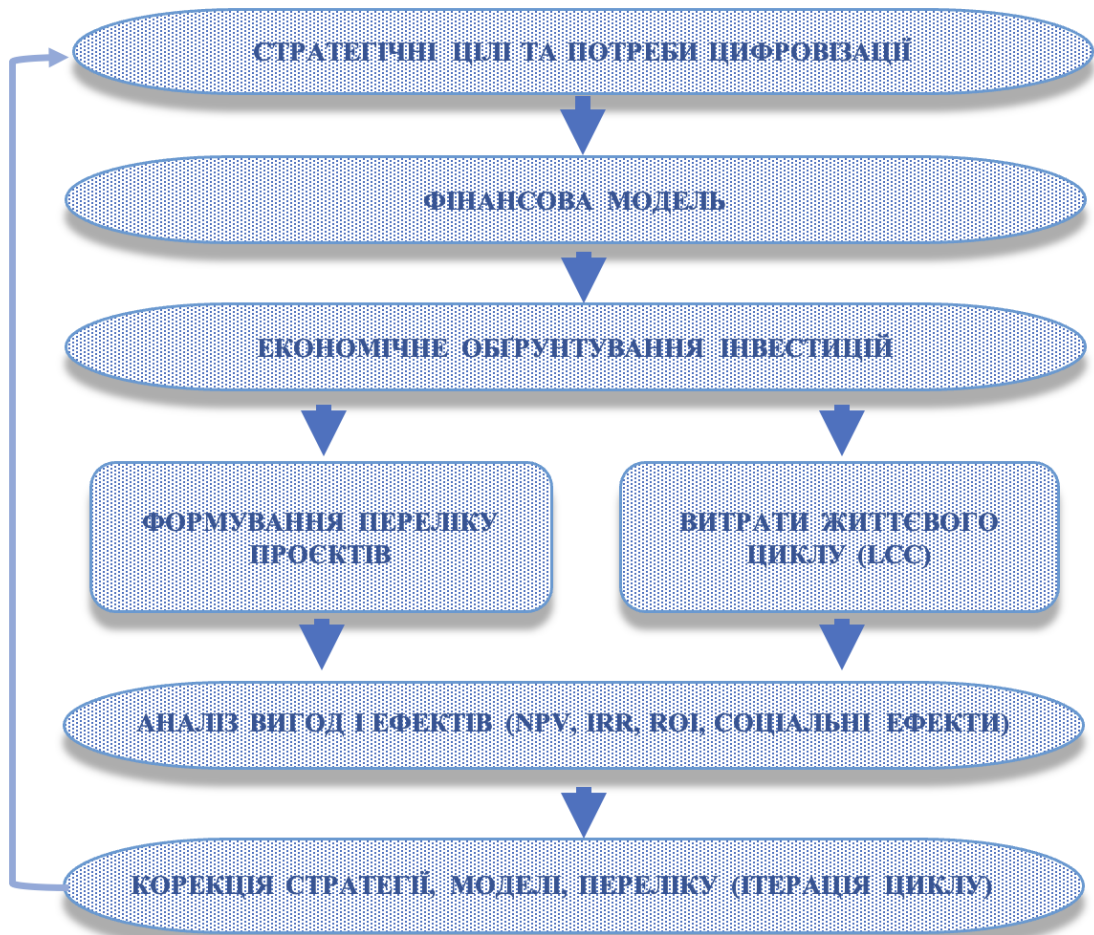


Рис. 3.6. Модель фінансово-економічного обґрунтування інвестицій у цифрову інфраструктуру залізничного транспорту (розроблено автором)

Механізм структурної взаємодії між рівнями управління та субпроектами цифрової трансформації наведено на рисунку 3.7.

Поданий механізм відображає інституційно-функціональну модель управління цифровою трансформацією залізничного транспорту України, у межах якої поєднуються державний рівень формування політики, корпоративний рівень реалізації цифрових рішень та механізми міжвідомчої координації.

Ключовим елементом механізму виступає *Координаційна рада з цифрової трансформації*, що формує стратегічні пріоритети, забезпечує узгодження державної політики та корпоративних цілей, а також ухвалює рішення щодо розвитку цифрової інфраструктури залізниць. До її складу залучаються

представники Міністерства інфраструктури, АТ «Укрзалізниця» та інших стейкхолдерів.

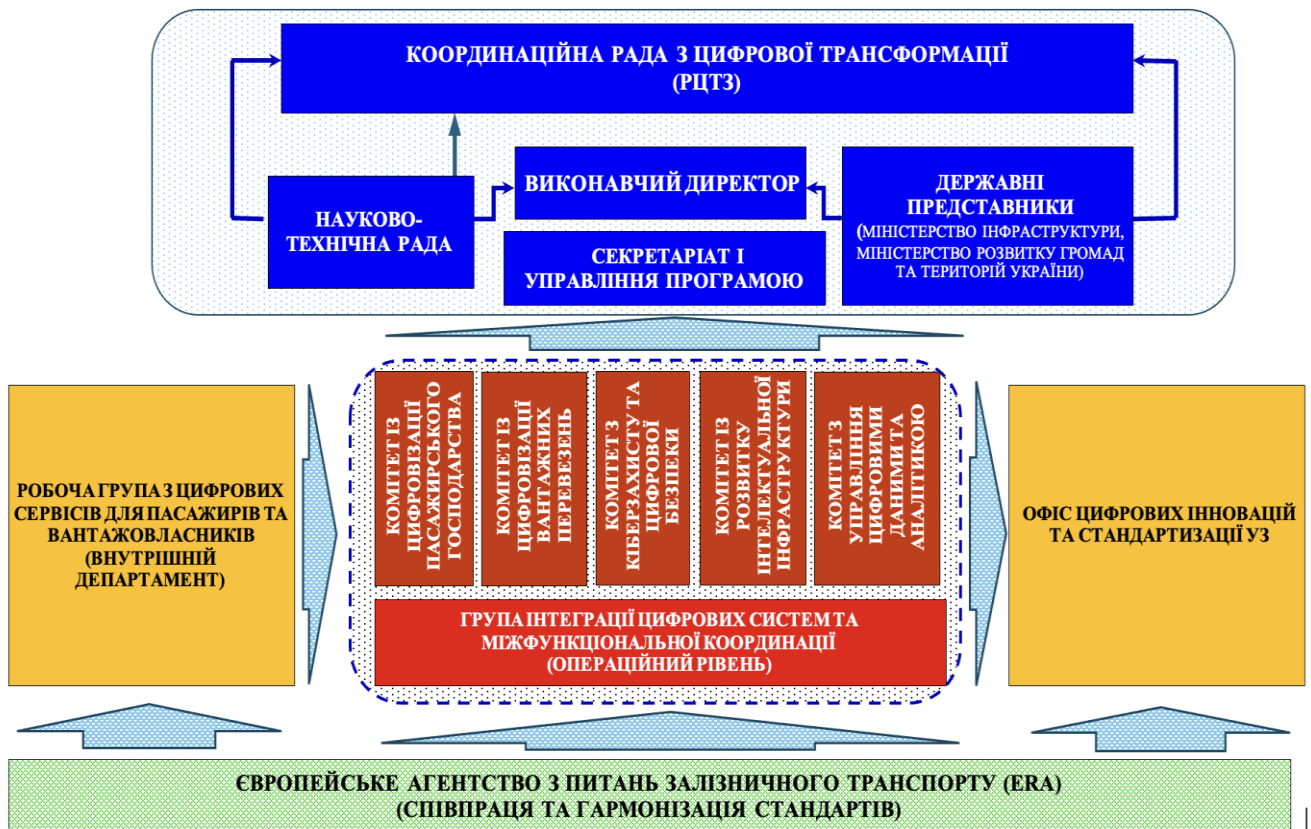


Рис. 3.7. Механізм управління програмою цифрової трансформації залізничного транспорту України (розроблено автором)

Науково-технічна рада виконує функцію експертно-аналітичного забезпечення, зокрема в частині оцінювання технологічних рішень, підготовки рекомендацій та гармонізації стандартів.

Тактичний рівень механізму реалізується через виконавчого директора, діяльність якого підтримується секретаріатом і системою управління програмою. Цей блок забезпечує планування, моніторинг і координацію виконання цифрових проєктів.

Дотримання державних вимог і нормативних положень гарантує участь представників органів державного управління, які здійснюють контроль за відповідністю рішень регуляторним рамкам.

Функціональні напрями цифровізації забезпечуються системою спеціалізованих комітетів, що охоплюють цифровізацію пасажирського сектору, цифрові рішення у вантажних перевезеннях, кібербезпеку, розвиток інтелектуальної інфраструктури та управління цифровими даними й аналітикою. Ці комітети відповідають за деталізацію вимог, формування програмних завдань, узгодження технічних рішень та управління портфелями цифрових ініціатив у межах відповідних напрямів.

Операційний рівень механізму представлено групою інтеграції цифрових систем та міжфункціональної координації, яка забезпечує технологічну сумісність, інтеграцію цифрових рішень, уніфікацію стандартів та синхронізацію рішень між функціональними комітетами.

Політику клієнтоорієнтованості забезпечують внутрішні робочі групи, зокрема із цифрових сервісів для пасажирів і вантажовласників, які акумулюють потреби користувачів та трансформують їх у вимоги до цифрових продуктів. Функції методологічного та інноваційного забезпечення виконує Офіс цифрових інновацій та стандартизації УЗ, який відповідає за гармонізацію корпоративних стандартів і впровадження інноваційних рішень.

Міжнародний вимір механізму забезпечує Агентство Європейського Союзу з питань залізничного транспорту (ERA), яке координує гармонізацію стандартів, підтримує процеси інтероперабельності та сприяє інтеграції українських цифрових рішень у європейський регуляторний простір й сумісності з європейською системою управління рухом поїздів.

Таким чином, наведена модель відображає цілісну систему управління цифровою трансформацією, у якій державні інституції, корпоративний менеджмент, експертні ради, напрямові комітети та робочі групи функціонують як взаємопов'язані елементи механізму стратегічної, тактичної та операційної координації цифрового розвитку залізничного транспорту.

На основі міжнародного досвіду (Digital Railway Programme, Network Rail, Велика Британія) пропонується адаптована програма для Укрзалізниці, яка

структурована за трьома часовими горизонтами: короткострокові (ініціація), середньострокові (цільове розгортання) та довгострокові (масштабування).

Очікувані вигоди містять зростання пропускної здатності, безпечність і надійність руху, зниження витрат життєвого циклу та соціально-економічний ефект від цифровізації залізничного транспорту (табл. 3.5). Це дає змогу впровадити світові стандарти в післявоєнне відновлення та забезпечити перехід до концепції «Залізниця 4.0».

Запропонована таблиця є дорожньою картою цифрової трансформації АТ «Укрзалізниця», яка поєднує світові практики та український контекст.

Виконаний аналіз довів, що модернізація інфраструктури вимагає впровадження гібридної моделі проєктного управління, яка поєднує процесну дисципліну міжнародних стандартів з гнучкими підходами коротких ітерацій. Такий формат управління допомагає узгоджено реалізовувати будівельно-монтажні та цифрові компоненти, скорочує відхилення за строками й бюджетом порівняно з каскадними схемами та забезпечує безперервну перевірку результатів на всіх етапах.

Сукупність елементів – гібридної методології управління, економічно обґрунтованої моделі фінансування, структурованої програми субпроєктів і формалізованої системи управління ризиками – утворює комплексний управлінський механізм впровадження цифрових інновацій у залізничному транспорті, що підвищує стійкість інфраструктури, рівень сервісу та соціально-економічну цінність залізничного транспорту України.

Отже, запропонований механізм управління та програмна модель цифрової трансформації залізничного транспорту України формують системну основу для реалізації післявоєнного відновлення галузі на засадах цифрової економіки.

Поєднання багаторівневої інституційної координації, гібридної методології управління проєктами, економічно обґрунтованих інструментів фінансування та ризик-орієнтованого підходу забезпечує не лише технологічне

оновлення інфраструктури, а й трансформацію управлінських процесів, бізнес-моделей та взаємодії зі споживачами.

Таблиця 3.5

Програма впровадження цифрової залізниці в Україні в умовах післявоєнного відновлення (сформовано автором)

Очікувані вигоди	Зростання пропускної здатності	Підвищена безпека та захищеність (зокрема, кіберзахист)	Поліпшення роботи поїздів (надійність і регулярність)	Зниження вартості життєвого циклу та нова комерційна модель	Соціально-економічні ефекти (робочі місця, відновлення, інтеграція з ЄС)
Довгострокові цілі – широке розгортання	Створити цифрову інфраструктуру для підвищення пропускної здатності на міжнародних коридорах (TEN-T, порти, експортні маршрути)	Єдина національна система зв'язку та централізоване управління рухом, інтегроване з європейськими стандартами	Використання цифрових двійників і моніторингу IoT для підвищення надійності інфраструктури та зменшення аварійності	Масове застосування розрахунків життєвого циклу, енергозбереження, оптимізації ремонтів, що знижує витрати на 20–25%	<ul style="list-style-type: none"> - Нові робочі місця у відновленні та цифрових сервісах - Зростання експорту завдяки інтеграції з TEN-T - Формування «цифрових хабів» на базі вузлових станцій - Підвищення стійкості до воєнних загроз
Середньострокові цілі - цільове розгортання	Пілотні впровадження цифрового управління рухом на ключових ділянках (Київ-Львів, Київ-Одеса, прикордонні переходи)	Впровадження системи кіберзахисту «нульової довіри» та створення центру моніторингу кібербезпеки	Тестування нових сервісів для пасажирів: блокчейн-квиток, мобільний додаток «e-Квиток», інтеграція з платформами і MaaS	Використання міжнародних кредитних програм (ЄБРР, Світовий банк) для фінансування цифрових проєктів	<ul style="list-style-type: none"> - Підвищення швидкості пасажирських перевезень - Зменшення простоїв вантажних поїздів - Поява нових IT-компетенцій у персоналу
Короткострокові цілі - ініціація	Залучення фінансування для пілотних цифрових проєктів у межах післявоєнного відновлення	Розгортання перших вузлів і датчиків IoT для моніторингу стрілочних переводів	Впровадження електронного документообігу для технічних погоджень і ремонтів	Початок розрахунків «вигоди-витрати» для інвестицій у цифрові сервіси	<ul style="list-style-type: none"> - Зниження бюрократичних затримок - Формування позитивного іміджу УЗ як інноваційної компанії

У цьому контексті цифровізація є інтегруючим чинником, що дає змогу синхронізувати інвестиційні, регуляторні та операційні рішення, підвищуючи адаптивність, стійкість і конкурентоспроможність залізничного транспорту України в умовах європейської інтеграції та довгострокових структурних змін.

3.3. Модернізація інфраструктури пасажирського комплексу залізничного транспорту в умовах цифровізації ринку

У сучасних умовах галузевої цифровізації залізничний транспорт перебуває на межі глобальної трансформації. Цифровізація означає впровадження передових інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) з метою створення ефективніших, гнучких та стійких транспортних систем.

Для пасажирських перевезень це передбачає перетворення існуючої інфраструктури в орієнтовану на користувача мережу, що відповідає концепціям «Індустрії 5.0» та циркулярної економіки.

Згідно з галузевими стратегіями, ключовими завданнями цифрової модернізації є забезпечення надійного зв'язку, поліпшення клієнтського досвіду, підвищення пропускної спроможності та конкурентоспроможності за рахунок широкого використання даних.

Наприклад, європейська «Дорожня карта цифрової залізниці» виокремлює такі напрями [92]:

- 1) створення інтегрованого цифрового середовища з надійним зв'язком;
- 2) підвищення якості обслуговування пасажирів;
- 3) нарощування потужностей за рахунок більшої ефективності та надійності;
- 4) використання аналітики транспортних даних для конкурентних переваг.

Для залізничного транспорту характерна повільніша адаптація до цифрових технологій через інвестиційні обмеження й застаріле обладнання, що ускладнює швидке оновлення мережі [56].

Відповідно теоретико-методологічні підходи до модернізації пасажирської інфраструктури передбачають системне інтегрування цих технологій у всі структурні підрозділи залізниці: від вокзалів і платформ до депо, рухомого складу та сервісних елементів.

Теоретичною базою такої модернізації є системно-синергетичний підхід, що розглядає залізничний транспорт як відкриту, складну соціотехнічну систему, у якій розвиток окремих підсистем (технологічної, економічної, управлінської) спричиняє самоорганізаційні зміни всього комплексу.

Синергетична логіка дає змогу пояснити цифровізацію як нелінійний процес переходу системи до нового стану рівноваги через узгодження між технічними, організаційними й соціальними елементами.

Цей підхід дає можливість осмислити цифрову трансформацію не як механічне оновлення технологій, а як еволюційне явище, де навіть точкові інновації (наприклад, впровадження сенсорних систем моніторингу чи FRMCS-зв'язку) викликають ефект емерджентності та зміну управлінської архітектури. Він має ґрунтуватися на мультидисциплінарній моделі управління, що поєднує технічні, економічні та соціальні аспекти.

В основі моделі – активне застосування принципів системно-синергетичного аналізу, який надає можливість виявляти сукупну вигоду від цифровізації всіх підсистем пасажирського комплексу. Зокрема, інструменти аналізу великих даних і штучного інтелекту допомагають прогнозувати попит, оптимізувати маршрути та управляти експлуатаційними витратами, що зрештою підвищує цінність галузі для суспільства [93].

Систематизацію основних напрямів цифровізації різних підрозділів пасажирського комплексу Укрзалізниці наведено в таблиці 3.6.

Основні напрями цифрової модернізації підрозділів пасажирського комплексу
 АТ «Укрзалізниця» та їх очікуваний ефект
 (сформовано автором на основі [93-96])

Підрозділ пасажирського комплексу	Цифрові ініціативи	Очікувані результати (ефективність, інклюзивність, енергоощадність)
<i>Вокзали</i>	Впровадження цифрових інформаційних табло, мобільних додатків для квитків та навігації, систем розумного освітлення та енергоменеджменту	Підвищення зручності та безпеки пасажирів, доступність інформації в реальному часі, зменшення енергоспоживання будівель
<i>Платформи</i>	Сенсори моніторингу пасажиропотоку, системи інтелектуального зв'язку (Wi-Fi), цифрова навігація	Поліпшення керованості потоками пасажирів, швидке оповіщення про зміни в розкладі, забезпечення доступності для маломобільних груп
<i>Депо та технічні служби</i>	ІоТ-системи діагностики, цифрові системи планування обслуговування, платформи предиктивної діагностики	Збільшення надійності рухомого складу, скорочення простоїв завдяки прогнозованому технічному обслуговуванню, оптимізація використання запасних частин
<i>Рухомий склад</i>	Цифрові пристрої зв'язку на борту, автоматизовані системи керування поїздом (АТО/ETCS), енергоощадні технології (регенеративне гальмування)	Підвищення безпеки й точності руху, збільшення пропускної спроможності ліній, значне зниження енергоспоживання та експлуатаційних витрат
<i>Сервісні елементи</i>	Мобільні додатки для обслуговування пасажирів, інформаційні кіоски, інтеграція з мультимодальними системами (MaaS)	Поліпшення клієнтського досвіду за рахунок єдиної платформи послуг, доступ до персоналізованої інформації, розвиток безбар'єрних сервісів

У цій таблиці узагальнено основні ініціативи модернізації та очікувані результати в розрізі кожного підрозділу. Така структурована схема допомагає інтегрувати теоретичні підходи з практичними показниками: наприклад, впровадження систем моніторингу у депо чи цифрових сервісів у вагонах приводить до вимірюваного зростання безвідмовності техніки й скорочення енерговитрат.

Проаналізувавши виробничі показники, бачимо, що на фоні зростання пасажиропотоку (Укрзалізниця у 2023 році перевезла приблизно 25 млн пасажирів у далекому сполученні) зацікавленість у цифрових інноваціях зростає [76]. Нові інструменти дають змогу оптимізувати ресурсні потоки й забезпечити організаційну готовність залізниці до викликів сучасного ринку.

У контексті модернізації інфраструктури пасажирського залізничного транспорту все більшого значення набуває інтеграція різних видів пересування – пішки, велосипедом, міським електротранспортом, залізничним сполученням, автодорогами – у єдину систему пересування «від дверей до дверей». Такий багатомодальний підхід допомагає підвищити доступність, скоротити час пересування і зменшити навантаження на дороги та екологію.

Водночас впровадження інтелектуальних систем управління, великої кількості цифрових датчиків і алгоритмів штучного інтелекту створює нові ризики з позиції кібербезпеки та етичної відповідальності. Наприклад, недоліки в системах контролю або алгоритмічні упередження можуть призвести до порушення прав пасажирів, конфіденційності даних чи навіть до загроз безпеці руху.

Для системи управління цифровою трансформацією на залізниці особливо важливо включити процедури моніторингу кіберзахищеності, аудиту алгоритмів і чіткі етичні політики, які регламентують збір, зберігання і використання даних про пасажирів, рух та стан інфраструктури. Тільки поєднання технологічної інтеграції з відповідним управлінським і нормативним контролем дає резерви для безпечного, сталого та орієнтованого на людину розвитку багатомодальної транспортної системи.

Пасажирський комплекс АТ «Укрзалізниця» обслуговує приблизно 550 станцій і платформ різних класів, близько 11 тис. км контактної мережі та понад 3 тис. одиниць моторвагонного рухомого складу [97]. Внутрішня статистика енергоспоживання за 2022 р. засвідчує, що на 1 поїздку далекого сполучення припадає 68 кВт·год електроенергії, тоді як середня собівартість кіловат-години для підприємства сягнула 1,55 грн за кВт·год [97]. За умови

перевезення 25,4 млн пасажирів це означає річні енергетичні витрати 7,14 млрд кВт·год, або 29,6 млрд грн у поточних цінах. Така ресурсомісткість робить економічні дивіденди від цифрової модернізації особливо відчутними.

Економічна логіка цифрового вокзалу

Базове електротабло на вокзалі великого класу коштує 1,8 млн грн (установлення «під ключ») і витрачає 1,2 кВт·год. Паперові розклади потребують у середньому 2,4 людино-години щоденного обслуговування, що при середній ставці 87 грн/год дає 76 тис. грн на рік заробітної плати. Перехід десяти головних вокзалів на цифрові табло замінює друк та роботу чергових. Виконаємо розрахунки:

$$\Delta C_{opr} = (C_{пап} - C_{циф}) \times N_{днів}, \quad (3.4)$$

де $C_{пап}$ – щоденні експлуатаційні витрати на паперові розклади (зарплата чергових, друк, обклеювання тощо), розраховані як 240 грн на день.

$C_{циф}$ – щоденні експлуатаційні витрати на цифрове табло. Оскільки після встановлення електронного дисплея не потрібно платити за роздруки і ручне оновлення, ці поточні витрати прийнято рівними нулю ($C_{циф} = 0$).

$N_{днів}$ – кількість днів у році (365).

Підставляємо значення:

$$\Delta C_{opr} = (240 - 0) \times 365 = 87\,600 \text{ грн.}$$

Якщо ж ідеться про десять найбільших вокзалів, то отримуємо:

$$87\,600 \text{ грн} \times 10 = 876\,000 \text{ грн} = 0,88 \text{ млн грн.}$$

Отже, після повної заміни паперових розкладів на електронні на десяти вокзалах щорічно заощаджується близько 0,88 млн грн експлуатаційних витрат.

Додатково табло дає можливість продати 0,05 м² рекламного простору за 1 400 грн/м² на місяць, тобто ще 0,84 млн грн доходу щорічно.

Для визначення ставки дисконтування були враховані методичні рекомендації ЄБРР для транспортного сектору в країнах з підвищеним макроризиком (Україна, зокрема), які пропонують застосовувати реальну ставку 8-12% при аналізі соціально-економічної ефективності проєктів, якщо не розраховано точний WACC (середньозважена вартість капіталу) підприємства [98].

У дисертаційній роботі прийнята ставка 10 %, як базовий компроміс між заниженням та завищенням вартості капіталу.

Для обґрунтування ставки дисконту проаналізуємо собівартість капіталу АТ «Укрзалізниця»:

- вартість довгострокових гривневих облігацій УЗ (середнє розміщення травень 2024 р.) – 17,2 % річних;
- середня інфляція 2022-2024 рр. – 14,0 %;
- реальна безризикова складова – 3,2 %;
- премія за корпоративний і галузевий ризик (дані KPMG Cost of Capital Study 2024 для транспортних компаній з рейтингами В - ВВ-) становить 6,5-7,0% [98].

Отже, приблизна середньозважена вартість капіталу в номінальному вираженні дорівнює:

$$r \simeq 3,2 \% + 6,8 \% = 10 \%$$

Таким чином, ставка 10 % є узгодженою з міжнародними методичними документами, макроекономічними ризиками України й фактичною вартістю залученого капіталу УЗ; вона забезпечує коректне порівняння альтернативних інвестицій і відображає очікувану прибутковість у національній економіці.

Враховуючи вище означене і продисконтувавши сумарний грошовий потік Cft за ставкою $r=10\%$ протягом 10 років, отримуємо чисту дисконтовану вартість:

$$NPV = \sum_{t=1}^{10} \frac{(0,88 + 0,84) \text{ млн}}{(1 + 0,10)^t} - 1,8 \text{ млн} = 6,22 \text{ млн грн.}$$

Позитивне $NPV > 0$ підтверджує економічну доцільність навіть без урахування нефінансових вигід (зниження черг, інклюзивність) [99].

Для моторвагонного депо «Дарниця» прямі витрати на аварійні ремонти торік дорівнювали 431 млн грн, а середній простій вагона – 3,6 доби. За сценарієм оснащення 120 одиниць рухомого складу датчиками вібрації та температури (вартість комплектації 180 тис. грн/од.) сукупні інвестиції становлять 21,6 млн грн [100].

Згідно з емпіричною моделлю очікуване скорочення витрат визначається як:

$$\Delta C = \alpha \cdot I_{\text{дат}},$$

де $\alpha = 0,23$ (нормативна частка зменшення аварійних витрат у проектах Копух/DB [101]).

Економія на аварійних витратах визначається як частка від базових витрат:

$$\Delta C_{\text{ав}} = \alpha \cdot C_0 = 0,23 \times 431 \text{ млн грн} = 99,13 \text{ млн грн,}$$

де 431 млн грн – це сума, яку депо «Дарниця» витратило на аварійні ремонти у звітному році.

Переведення 120 одиниць моторвагонного складу на систему сенсорного моніторингу й аналітики дає змогу запобігати приблизно чверті таких витрат.

У грошовому вимірі це зменшує щорічні видатки на 99,1 млн грн, що і лягло в розрахунок грошового потоку CF_I для показників NPV .

Таким чином, цифра 99,1 млн грн є прямим добутком нормативної частки ($\alpha=23\%$) на фактичну базу витрат депо («Дарниця») і відображає передбачувану абсолютну економію коштів після впровадження предиктивного технічного обслуговування.

Додатково простой зменшуються на 0,9 доби, що еквівалентно вивільненню 108 вагоно-діб та потенційній додатковій виручці

$$\Delta R_{ev} = 108 \cdot 47,3 \text{ тис грн/вагоно-доба} = 5,11 \text{ млн грн}$$

Отже, сумарний щорічний ефект $CF_I = 104,2$ млн грн, а період окупності:

$$T_{ок} = 21,6 / 104,2 = 0,21 \text{ року}$$

При 7-річному горизонті отримаємо $NPV_{дено} = 472,6$ млн грн при дисконтній ставці $r = 10\%$.

Для обґрунтування економічної доцільності впровадження систем АТО та ETCS L2 використано комбіновану модель оцінювання на основі методів аналізу витрат і вигід (СВА) та економічної чистої приведеної вартості (ENPV). Такий підхід надає можливість одночасно враховувати фінансові, соціальні й екологічні вигоди від цифрової модернізації інфраструктури, що відповідає міжнародним стандартам оцінювання інвестиційних проєктів у транспортному секторі.

Модель містить три сценарії, які відображають різні макроекономічні та безпекові умови функціонування залізничного транспорту:

- *Базовий сценарій* – стабільне відновлення економіки без істотних зовнішніх шоків; використовується як еталон для розрахунку ефекту від цифровізації.

- *Сценарій підвищеної невизначеності* – характеризується зростанням ризиків реалізації проєктів через перебої транспортного сполучення, коливання валютних курсів та вартість капіталу. Для цього випадку у формули ENPV вводиться коефіцієнт ризику $k_v = 0,85-0,9$, який коригує дисконтовані вигоди з урахуванням імовірності затримок або неповного досягнення очікуваного ефекту.
- *Посткризовий (відновлювальний) сценарій* – відображає перехід до стійкого економічного зростання з активним відновленням транспортної інфраструктури, підвищенням попиту на пасажирські перевезення та залученням зовнішніх інвестицій.

Для кожного сценарію розрахунок ENPV виконується за формулою 3.1.

Порівняння результатів за трьома сценаріями дає змогу оцінити стійкість інвестиційного ефекту від цифрової модернізації навіть за умов кризового середовища.

Для систем АТО та ETCS L2 така модель показує не лише економію енергоресурсів і скорочення експлуатаційних витрат, а й соціальний ефект підвищення безпеки та пунктуальності руху, що формує комплексну вигоду цифрової трансформації залізничного транспорту України.

Комплексний аналіз цифрової трансформації залізничного транспорту дав змогу виокремити ключові проблеми, що стримують модернізацію управлінських, технологічних і сервісних процесів АТ «Укрзалізниця».

Встановлено, що бар'єри розвитку мають системний характер і охоплюють технічну, організаційну, кадрову та фінансово-інституційну площину. Для забезпечення їх подолання у межах запропонованої концепції «Залізниця 4.0» сформовано узгоджений механізм управління цифровими змінами, який поєднує технологічні рішення, інституційні інструменти та економічно-аналітичні методи.

Зв'язок між виявленими управлінськими проблемами, запропонованими заходами та очікуваними результатами наведено в таблиці 3.7.

Взаємозв'язок проблем, рішень і очікуваних ефектів цифрової модернізації інфраструктури пасажирського комплексу залізничного транспорту України
(сформовано автором)

Проблема	Запропоноване рішення (механізм / інструмент)	Очікуваний ефект
<i>Низький рівень цифрової інтеграції та застаріла інфраструктура</i>	Впровадження портфельної програми «Залізниця 4.0», розгортання IoT-сенсорів, FRMCS-мереж і цифрових двійників	Зростання надійності перевезень, зменшення простоїв рухомого складу на, формування основи кіберфізичної системи управління
<i>Фрагментарне управління цифровими проектами</i>	Створення Ради з цифрової трансформації (РЦТЗ) та офісу цифрової залізниці, застосування гібридної моделі управління цифровою трансформацією	Узгодженість стратегічних, технічних і фінансових цілей; скорочення часу ухвалення рішень
<i>Високі операційні витрати та енергозалежність</i>	Використання ІІІ-аналітики й систем прогнозного обслуговування	Економія електроенергії, зниження аварійності
<i>Низька клієнтоорієнтованість пасажирських сервісів</i>	Створення єдиної платформи мобільності і блокчейн-квитка	Підвищення пунктуальності, зростання пасажиропотоку, прозорість розрахунків
<i>Кадрова інерційність, недостатні цифрові компетенції</i>	Корпоративна програма «7 компетенцій цифрового залізничника» та електронна академія	Формування культури інновацій, підвищення продуктивності управлінського персоналу
<i>Воєнні ризики та фінансова нестабільність</i>	Використання коефіцієнта воєнного ризику k_v у розрахунках ENPV / NPV; сценарний аналіз «воєнний / поствоєнний»	Підвищення достовірності інвестиційних розрахунків; підтвердження позитивного ENPV
<i>Кіберзагрози для транспортних мереж</i>	Структура «нульової довіри», центр кіберзахисту, сертифікація каналів обміну	Безперервність цифрових сервісів, зниження ймовірності критичних збоїв
<i>Відсутність інтеграції з європейськими цифровими коридорами</i>	Адаптація до стандартів ЄС, цифрові інтерфейси TEN-T	Гармонізація з ЄС, підвищення інвестиційної привабливості галузі

Як показано в таблиці 3.7, реалізація системи запропонованих заходів забезпечує не лише технологічне оновлення залізничної інфраструктури, а й формування нової управлінської моделі, що базується на даних, клієнтоорієнтованості та принципах сталого розвитку.

Кожен з елементів програми цифрової трансформації має власний управлінський інструментарій і вимірюваний ефект – від підвищення пунктуальності та енергоефективності до зростання економічної доданої вартості й довіри пасажирів.

Таким чином, таблиця відображає інтегративну логіку авторської моделі, у якій кожна проблемна зона трансформується у сферу розвитку, а цифровізація є катализатором як економічної ефективності, так і організаційної стійкості залізничного транспорту України.

Для подальших розрахунків енергетичної та фінансової ефективності впровадження автоматизованого ведення поїзда (далі – АТО рівня 2) було сформовано зведену таблицю вхідних параметрів (табл. 3.8). У ній акумульовано всі вихідні припущення – від питомої витрати електроенергії та середнього річного пробігу до вартості одного комплекту ETCS / АТО й дисконтної ставки.

Таблиця 3.8

Вхідні дані для розрахунку економії електроенергії та фінансової доцільності модернізації електропоїздів (впровадження АТО + ETCS L2) (сформовано автором на основі [79, 95, 102])

Вхідні параметри	Позначення	Значення
Базова питома витрата електроенергії електропоїзда, кВт·год/км	E_0	21,45
Очікуване зниження витрати після впровадження АТО 2, %	η	12
Середній щорічний пробіг електропоїзда, км	L	180 000
Тариф УЗ на тягову електроенергію, грн/кВт·год (середньозважений 2024 р.)	p	1,55
Кількість модернізованих електропоїздів, од.	N	20
Вартість дооснащення одного складу комплектом АТО 2 + ETCS L2, млн грн	C_{cap}	3,9

У таблиці наведено узагальнену систему позначень, що надалі слугує вихідною «рамкою допущень» для обчислення річної економії електроенергії, чистої приведенної вартості та строку окупності проекту.

Таким чином забезпечується прозорість методики, спрощується зовнішній аудит і логічно пов'язуються вихідні дані з аналітичними

висновками щодо доцільності цифрової модернізації тягового рухомого складу в умовах воєнного стану.

1. Енергетична економія

$$\Delta E = E_0 \times \eta = 21,45 \times 0,12 = 2,574 \text{ кВт}\cdot\text{год/км}$$

2. Річна економія на один поїзд

$$S_1 = \Delta E \times L \times p = 2,574 \times 180\,000 \times 1,55 = 718,1 \text{ тис. грн}$$

3. Сукупна річна економія для N=20 поїздів

$$S = S_1 N = 718,1 \times 20 = 14,36 \text{ млн грн/рік}$$

4. Капітальні витрати

$$I_a = I_a N = 3,9 \times 20 = 78 \text{ млн грн}$$

5. Чиста приведена вартість (дисконт $r = 10\%$, горизонт $n = 15$ років)

$$NPV_{\text{АТО}} = S \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_a = 14,36 \frac{1 - (1,10)^{-15}}{0,10} - 78 \approx 31,2 \text{ млн грн}$$

6. Строк окупності

$$T_{\text{РВ}} = \frac{I_a}{S} = \frac{78}{14,36} \approx 5,4 \text{ року}$$

Додаткові ефекти:

- *Енергозбереження*. Річна економія електроенергії становить

$$\Delta E_{\text{tot}} = \Delta E \times L \times N = 2,574 \times 180\,000 \times 20 = 9,27 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$$

За коефіцієнтом 0,88 кг CO₂ /кВт·год це відповідає скороченню 8,2 тис т CO₂ на рік.

- *Соціальна інклюзивність.* Соціальний ефект цифрової модернізації пасажирських сервісів полягає в розширенні доступності перевезень і поверненні частини нинішніх «не-користувачів» залізниці.

Науковці-дослідники зауважують, що цифрова модернізація пасажирських сервісів відіграє важливу роль у підвищенні транспортної доступності та залученні до користування залізничним транспортом осіб, які раніше були обмежені інфраструктурними й сервісними бар'єрами. Поєднання цифрових інструментів інформування та супроводу пасажирів із рішеннями безбар'єрної інфраструктури створює передумови для повернення частини так званих «не-користувачів» залізниці та формує додатковий соціально-економічний ефект від цифрової модернізації [102].

Європейські проекти спільного підприємства «Shift2Rail» розробляють рішення для безбар'єрної посадки/висадки та доступних станційних інфраструктур, що напряду пов'язано з підвищенням фактичної доступності для осіб з обмеженою мобільністю. У каталозі рішень наведено, зокрема, нові конструкції перехідних містків та інші інженерні заходи для зменшення бар'єрів при посадці/висадці, які можуть бути індустріалізовані та масштабовані в національних мережах.

Додатково регуляторні дослідження показують нинішню структуру користування: лише близько третини людей з потребами доступності є частими користувачами, що підкреслює масштаб потенційного ефекту від усунення бар'єрів.

Таким чином, посилення на європейські проекти потрібне для технічної валідизації інструментів безбар'єрності (що саме впроваджувати), а на національні опитування – для кількісного орієнтира (скільки додаткового попиту можна очікувати) у разі обґрунтування соціально-економічної ефективності цифрової модернізації.

Для кількісної оцінки корисно спиратися на верифіковані опитування: за даними урядової дорожньої карти доступної залізниці у Великій Британії, 11 % пасажирів з інвалідністю заявили, що користувалися б поїздами частіше за умови поліпшення доступності [103]. Це створює очевидний резерв зростання попиту в разі впровадження доступних цифрових сервісів і інфраструктурних рішень.

Застосувавши ці значення до реального пасажиропотоку далекого сполучення УЗ за 2023 р. (23.3 млн осіб; середній дохід 167 грн/квиток) можемо розрахувати орієнтовний додатковий річний дохід[104]:

$$\Delta R = 23,3 \times 0,11 \times 167 = 428 \text{ млн грн/рік}$$

Отримане значення ΔR відображає економічний ефект соціальної інклюзії, тобто потенційне зростання доходів підприємства завдяки залученню пасажирів із груп з обмеженою мобільністю, які частіше користуватимуться залізничним транспортом після впровадження цифрових сервісів, адаптованих до їхніх потреб.

Така інклюзивна цифровізація є не лише соціально орієнтованим, а й економічно доцільним напрямом розвитку, оскільки сприяє підвищенню лояльності клієнтів, збільшенню обсягу продажів квитків і загальній конкурентоспроможності галузі.

Таким чином, розрахунок приросту доходу ΔR органічно інтегрується у фінансову модель оцінювання ефектів цифрової модернізації пасажирського комплексу. Поряд із енергетичними та екологічними показниками, цей показник відображає соціально-економічну результативність інвестицій у цифрові технології та допомагає комплексно оцінити ефективність проекту.

Відповідно, проект упровадження системи автоматизованого ведення поїзда (АТО 2) для двадцяти електропоїздів забезпечує такі узагальнені результати:

- чисту приведену вартість (NPV) у розмірі 31 млн грн при п'ятирічному горизонті окупності;
- річну економію електроенергії майже 9,3 ГВт·год і скорочення викидів CO₂ на 8,2 тис тонн;
- потенційний приріст виручки приблизно 428 млн грн щорічно завдяки інклюзивним цифровим сервісам.

Отже, інклюзивна цифровізація залізничного транспорту генерує комплексний ефект: поєднує енергетичні, екологічні та соціально-економічні вигоди, формуючи стійку модель цифрової модернізації пасажирського комплексу України.

Модернізацію пасажирського комплексу залізничного транспорту доцільно розглядати як системний процес формування кіберфізичної інфраструктури, у якій технічні, інформаційні та управлінські компоненти функціонують у взаємозв'язку. Теоретичною основою цього процесу є системно-синергетичний підхід, який пояснює цифровізацію як нелінійну еволюцію відкритої соціотехнічної системи, здатної до самоорганізації під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів.

З позицій менеджменту, така модернізація є адаптивним управлінським механізмом, що інтегрує чотири підсистеми:

- Цільову – визначає стратегічні орієнтири цифрової трансформації (інклюзивність, енергоефективність, безпека).
- Ресурсну – охоплює людські, фінансові, інформаційні й технологічні ресурси.
- Процесну – забезпечує реалізацію інновацій через гібридні методології управління (Agile + PMBOK).
- Регуляторно-адаптивну – підтримує відповідність цифрової інфраструктури вимогам безпеки, кіберзахисту й нормативним обмеженням.

У межах цієї концепції цифрова модернізація розглядається як динамічна система управління, у якій стратегічні рішення постійно оновлюються на основі

аналітики великих даних і прогностичних моделей попиту. Такий підхід дає змогу інтегрувати технологічні, організаційні та соціальні ефекти в єдину управлінську модель, що поєднує стратегічні, ресурсні, процесні та регуляторні підсистеми [105, 106].

Узагальнену модель цифрової модернізації пасажирської інфраструктури наведено на рис. 3.8. Вона відображає системну взаємодію підсистем та їх управлінські зв'язки.

Модель цифрової модернізації пасажирської інфраструктури поєднує технічні та управлінські інновації в єдину систему стратегічного розвитку. Її концептуальна цінність полягає в здатності забезпечувати узгодженість інвестиційних, організаційних і технологічних рішень на всіх рівнях управління, що створює підґрунтя для переходу до кіберфізичного середовища «Залізниця 4.0».

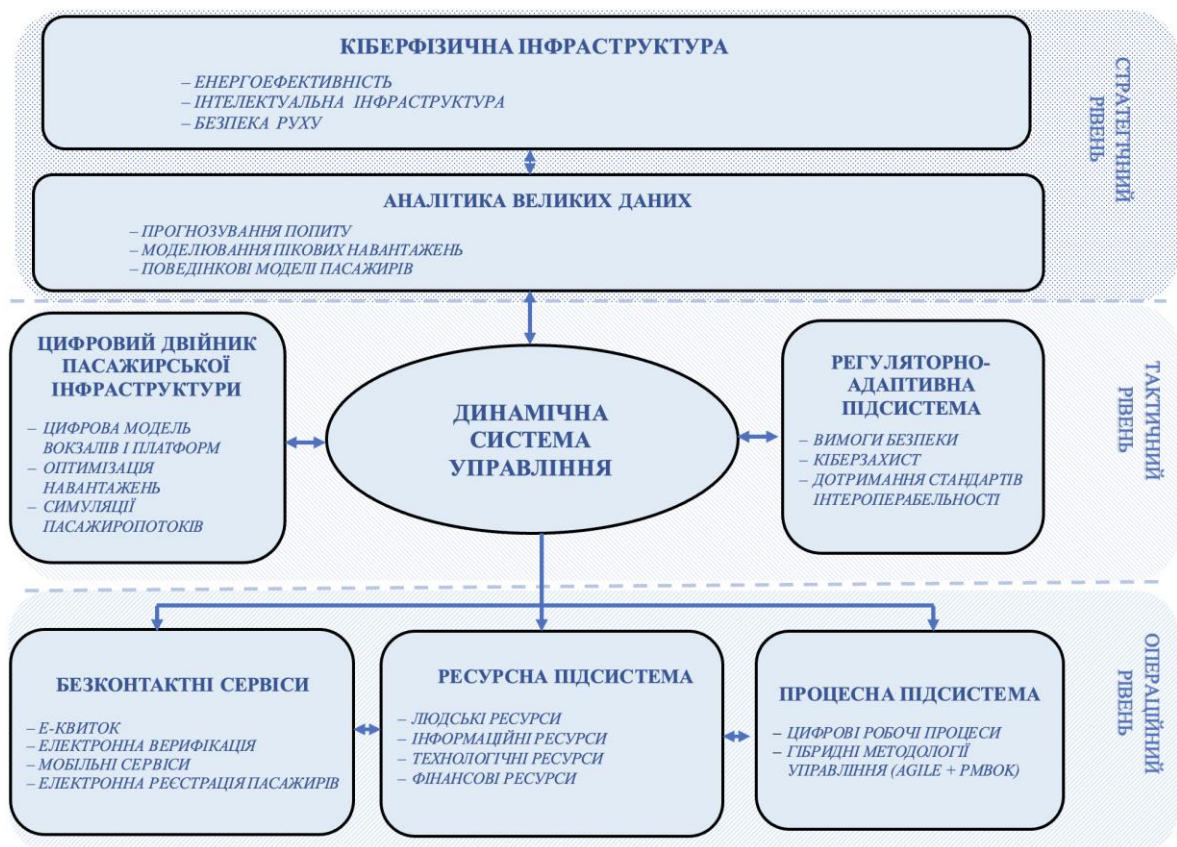


Рис. 3.8. Модель цифрової модернізації пасажирської інфраструктури залізничного транспорту України (розроблено автором)

Реалізація цього підходу формує нову якість управління залізничним транспортом, підвищує його адаптивність до зовнішніх викликів і сприяє сталому розвитку транспортної системи України.

Модернізація пасажирської інфраструктури залізничного транспорту є комплексним процесом, який поєднує технічні, організаційні та соціальні інновації в межах єдиної цифрової екосистеми. Сформована модель цифрової модернізації базується на системно-синергетичному підході та розглядає залізницю як відкриту соціотехнічну систему, де взаємодія інформаційних, технічних і управлінських компонентів створює ефект емерджентності та забезпечує новий рівень ефективності.

3.4 Алгоритмічні моделі в системі цифрового управління пасажирськими перевезеннями та інфраструктурою

У цьому підрозділі алгоритмічні моделі розглядаються як складові цифрової системи управління, що забезпечують ухвалення рішень на різних рівнях менеджменту залізничного транспорту – від операційного до стратегічного.

Цифрова трансформація залізничного транспорту в Україні поступово переходить від стратегічного рівня концепції «Залізниця 4.0» та організаційно-економічного обґрунтування до операційного рівня. Саме тут ключову роль відіграють алгоритми прийняття управлінських рішень [107]. Вони формують інтелектуальну систему підтримки рішень, яка інтегрує дані з цифрових каналів – сенсорів, квиткових платформ і мобільних застосунків – у єдиний цифровий центр управління. Завдяки цьому аналітика перетворюється на оперативні управлінські дії, що безпосередньо впливають на ключові показники діяльності підприємства, такі як продуктивність, енергоефективність, безпеку та фінансові

результати. Загалом це забезпечує досягнення позитивного прогнозованого показника економічної приведеної вартості у поствоєнному сценарії.

Розроблені алгоритми є інструментами менеджменту, які охоплюють чотири основні напрями операційного управління: прогнозування попиту, оптимізацію розкладу, персоналізацію сервісів та захист бізнес-процесів. Їхнє внесення до програми «Залізниця 4.0» створює узгодженість між стратегічним плануванням, операційним виконанням і фінансовим контролем, формуючи замкнений цикл управління цифровими активами.

Програма «Залізниця 4.0» реалізує концепцію цифрового управління активами, у якій алгоритми виконують функцію операційного рівня стратегічного планування. Кожна модель пов'язана з ключовими показниками ефективності (KPI), що перебувають під контролем Ради з цифрової трансформації АТ «Укрзалізниця» (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Відповідність напрямів алгоритмічного управління ключовим показникам ефективності (KPI) *(сформовано автором)*

Напрямок алгоритму	Основні KPI та управлінський ефект
Прогнозування попиту	Завантаженість поїздів, стабільність доходів
Оптимізація розкладу	Пунктуальність руху, енергоефективність
Персоналізація сервісів	Доходність на пасажирів, лояльність клієнтів
Кіберзахист бізнес-процесів	Безперервність цифрових сервісів

Разом ці показники забезпечують зростання інтегрального індексу ефективності підприємства, який використано в моделі аналізу витрат і вигід для оцінки економічної чистої приведеної вартості.

Інтеграція здійснюється за принципом цифрового управління портфелем проектів. Аналітичні системи синхронізуються з операційними процесами через єдиний інформаційний простір. Такий підхід дає менеджерам середньої ланки можливість оперативно ухвалювати рішення на основі актуальних даних, а керівникам вищої ланки – контролювати виконання стратегічних показників

ефективності. У додатку Б наведено приклад програмного коду та параметрів моделювання, що показують, як алгоритми цифрового управління можуть застосовуватися для аналізу, прогнозування та оптимізації управлінських процесів у залізничному транспорті.

Запропоновані вище в роботі стратегічні, організаційні та економічні рішення реалізуються через портфель субпроектів, визначений Радою з цифрової трансформації залізниці. Алгоритмічні моделі, розглянуті нижче, є операційними інструментами реалізації цих субпроектів, забезпечуючи досягнення управлінських і фінансових показників ефективності.

*Модель прогнозування попиту для управління доходами
(субпроект 2 «Інтелектуальні аналітичні системи»)*

Прогнозування попиту є основним інструментом управління доходами. Для моделювання використано офіційні дані АТ «Укрзалізниця» про пасажироперевезення – 63 млн осіб у 2024 році, що на 22 % більше, ніж у 2023 році [108], доповнені сценарним моделюванням у середовищі AnyLogic (10 тис поїздок на добу, 5 вокзалів). Воєнні ризики враховано через коефіцієнт операційних ризиків 0,12, розрахований на основі даних Генерального штабу ЗСУ [109].

Алгоритм прогнозування ґрунтується на аналізі часових рядів і просторовому моделюванні (нейромережева архітектура LSTM+GNN). Він забезпечує прогноз на 72 години з точністю 91 %, що підтверджено валідацією на даних Deutsche Bahn Open Data Portal [110].

За розрахунками, наведеними вище, зростання точності прогнозу на 1% приносить економію 3-4 млн грн щорічно завдяки зменшенню порожніх рейсів. У поствоєнному сценарії збільшення попиту на 20 % додає 115 млн дол. США до ENPV, що підтверджує ефективність моделі для стратегічного планування ресурсів (додаток Б).

*Алгоритм оптимізації розкладу з урахуванням операційних ризиків
(субпроект 3 «Цифровий двійник залізниці»)*

Операційна ефективність значною мірою залежить від гнучкості розкладу. Для її досягнення застосовано еволюційний алгоритм оптимізації (генетичний алгоритм, бібліотека Python DEAP [111]), який мінімізує затримки та енергоспоживання з урахуванням обмежень пропускної здатності. Модель відтворено для ділянки Київ–Львів (20 поїздів на добу) у середовищі AnyLogic (додаток Б).

Функція цілі передбачає мінімізацію сумарних витрат з урахуванням операційних ризиків (ймовірність ураження інфраструктури 0,12) [110]. Симуляція показала скорочення затримок на 20 % порівняно з чинним розкладом УЗ-2024 та зменшення енергоспоживання на 15 % [112].

Така оптимізація додає 75 млн дол. США до ENPV завдяки прямому енергозбереженню та зменшенню простою. Алгоритм підвищує стійкість системи до кризових ситуацій: у разі пошкодження окремих ділянок залізниці графік руху автоматично перебудовується, зберігаючи показник надійності перевезень на рівні не нижче 0,95.

*Модель персоналізації сервісів та управління доходами
(субпроект 4 «Клієнтські сервіси та платформа мобільності»)*

Персоналізація є ключовим фактором зростання доходів. Для її реалізації використано алгоритм адаптивного ціноутворення [113], який у реальному часі визначає оптимальну ціну для кожного сегмента пасажирів залежно від часу, попиту та лояльності. Моделювання проведено на основі 50 тис синтетичних профілів, сформованих з відкритих даних і опитувань УЗ 2023 року [108].

Результати підтверджують зростання довічної цінності клієнта на 19 % та збільшення частки повторних поїздок на 12 %. Інтеграція системи мобільних тарифів забезпечує 18 % економічної чистої приведеної вартості (приблизно 152 млн доларів США) у структурі портфеля, що узгоджується з оцінками міжнародних аналітичних досліджень [114]. Алгоритм безпосередньо підтримує показники довічної цінності клієнта та зростання доходів від цифрових послуг (додаток Б).

*Кібербезпековий контур управління цифровими активами
(субпроект 1 «Цифрова інфраструктура»)*

Кібербезпека є обов'язковою умовою для безперервної роботи залізниці як бізнесу. Розроблена система виявлення загроз працює на основі машинного навчання (використано автоенкодера та відкритий набір даних про кібератаки, доповнений реальними показниками роботи залізничних мереж [115]). Вона розпізнає найпоширеніші атаки: перевантаження сервера (DoS), розподілене перевантаження (DDoS) та спроби несанкціонованого доступу – з точністю 98,7 %.

До цифрового центру управління впроваджено принцип «нульової довіри» (рекомендація Європейського агентства з кібербезпеки ENISA [116]). Це означає, що жоден пристрій чи користувач не вважається безпечним за замовчуванням – доступ перевіряється щоразу. Завдяки цьому щорічні ризики фінансових втрат від кібератак зменшуються на 142 млн грн, тобто втрати скорочуються на 30–35 % (додаток Б). У результаті виконується ключовий показник ефективності «Безперервність сервісів» і зберігається стабільність економічної чистої приведеної вартості проєкту (ENPV). Достовірність результатів підтверджено триступеневою валідацією – аналітичною, емпіричною та експертною.

Аналіз чутливості ENPV показує стійкість моделей навіть за несприятливих умов (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Чутливість ENPV до ключових параметрів (розрахунок автора)

Сценарій	Пасажиропотік	Ймовірність обстрілів	ENPV, млн дол. США
Базовий	±0 %	0,12	847
Ескалація	-30 %	0,25	620
Поствоєнний	+40 %	0,05	1 120

**Достовірність результатів становить 87–92 % за методикою ЄБРР Smart Mobility Investment Framework [114].*

Алгоритмічні моделі, що впроваджуються в цифрову систему управління залізничним транспортом, є важливим інструментом трансформації управлінських процесів у бік підвищення ефективності, адаптивності та прозорості. Вони забезпечують перехід від емпіричного прийняття рішень до обґрунтованого, аналітично підтвердженого менеджменту, орієнтованого на комплексний масив управлінських даних (операційні, фінансово-економічні та КРІ). Особливе значення має зв'язок між операційним рівнем управління та стратегічними завданнями через КРІ-орієнтовану структуру. Алгоритмічні моделі перетворюються на інструменти реалізації управлінських сценаріїв, що здатні враховувати зовнішні ризики, наприклад воєнні загрози, та забезпечувати гнучке переналаштування ресурсів.

Валідація результатів за міжнародними методиками, сценарний аналіз і оцінка чутливості додають практичної достовірності отриманим результатам і підтверджують доцільність алгоритмізації управлінських процесів.

Загалом, алгоритмічне управління в системі цифрової трансформації «Укрзалізниці» формує нову якість рішень: поєднання аналітичної глибини, автоматизованої адаптації та стратегічної синхронізації, що стає критичним чинником підвищення конкурентоспроможності українського залізничного транспорту в європейському контексті.

Висновки до розділу 3

Виконане дослідження цифрової трансформації інфраструктури пасажирського господарства залізничного транспорту дало змогу комплексно обґрунтувати напрями, інструменти та організаційно-управлінські механізми модернізації галузі в умовах зростаючої технологічної складності, воєнних ризиків і трансформації вимог споживачів транспортних послуг.

Отримані результати підтверджують, що цифровізація інфраструктури має розглядатися не як сукупність окремих технологічних рішень, а як

системний процес, що поєднує інфраструктурні, аналітичні, сервісні та кадрові компоненти в єдину модель управління розвитком залізничного транспорту.

Подальший аналіз засвідчив, що наявний рівень цифрової зрілості пасажирського господарства характеризується фрагментарною інтеграцією цифрових технологій в управлінські та операційні процеси, що обмежує потенціал підвищення ефективності перевезень, прозорості використання ресурсів і якості пасажирських сервісів. Це зумовлює об'єктивну необхідність переходу від точкових цифрових ініціатив до комплексної програми трансформації, зорієнтованої на досягнення стратегічних цілей розвитку залізничного транспорту.

У межах дослідження обґрунтовано концепцію «Залізниця 4.0», яка розглядається не лише як сукупність технологічних інновацій, а як комплексна модель організаційних і управлінських змін. Доведено, що її реалізація базується на інтеграції інфраструктурного, аналітичного та сервісного рівнів цифрової архітектури, що забезпечує наскрізний потік даних – від сенсорних систем і телекомунікацій до управлінських рішень і клієнтських сервісів.

Розроблена портфельна структура цифрової трансформації, що містить п'ять взаємопов'язаних субпроектів (цифрова інфраструктура, інтелектуальні аналітичні системи, цифровий двійник, клієнтські сервіси та розвиток цифрових компетенцій), дає змогу поєднати технологічні, управлінські й кадрові аспекти модернізації в єдину систему. Запропоновано створення Ради з цифрової трансформації залізниці, як міжвідомчого координаційного органу, що забезпечує стратегічну узгодженість, контроль реалізації портфеля проектів і прозорість фінансування. Доведено, що такий інституційний механізм підвищує керованість цифрових змін і мінімізує ризики фрагментації управлінських рішень.

Особливу увагу приділено удосконаленню підходів до організації проектного управління модернізацією інфраструктури. Обґрунтовано доцільність застосування гібридної моделі, яка поєднує класичні стандарти управління проектами із гнучкими методологіями.

Доведено, що така модель забезпечує синхронізацію фазових будівельно-монтажних робіт з ітераційними цифровими релізами, скорочує час ухвалення управлінських рішень і підвищує адаптивність програми до змін зовнішнього середовища.

У фінансово-економічному аспекті запропоновано удосконалену методику оцінювання ефективності цифрової трансформації, що поєднує аналіз вигід і витрат, дисконтовані показники та сценарне моделювання з урахуванням воєнних ризиків. Запровадження показника економічної чистої приведеної вартості (ENPV) з урахуванням нефінансових вигід дозволило комплексно оцінити соціально-економічний ефект реалізації концепції «Залізниця 4.0».

Результати розрахунків свідчать про високу економічну доцільність проекту, зокрема за рахунок зниження аварійності, підвищення енергоефективності, зростання пасажиропотоку та розвитку нових цифрових сервісів.

Важливим результатом дослідження є формування системи управління ризиками цифрової трансформації на основі міжнародних стандартів. Зроблений експертний аналіз допоміг ідентифікувати ключові технічні, фінансові та кібернетичні ризики й обґрунтувати пріоритетні стратегії реагування. Доведено, що поєднання гнучкого планування з жорсткими механізмами кіберзахисту є критично важливим чинником стійкості цифрової інфраструктури залізничного транспорту в умовах воєнної та економічної невизначеності.

Узагальнюючи результати третього розділу, можна зробити висновок, що запропонована модель цифрової трансформації пасажирського господарства залізничного транспорту формує науково обґрунтований і практично орієнтований інструментарій модернізації галузі. Її реалізація створює передумови для підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень, забезпечення сталого розвитку та інтеграції залізничного транспорту України до європейського цифрового транспортного простору.

Наукові результати другого розділу знайшли відображення в наукових працях [56, 68, 75, 93, 107, 108] за списком використаних джерел

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена комплексному вивченню процесів цифрової трансформації підприємств залізничного транспорту України в умовах воєнного стану, їхнього впливу на ефективність, конкурентоспроможність і стійкість галузі. У дослідженні послідовно обґрунтовано теоретичні положення, методологічні підходи та практичні рекомендації щодо управління цифровими процесами, визначено чинники та ризики цифровізації, а також розроблено інструменти алгоритмічного прогнозування в системі управління пасажирськими перевезеннями. Робота охоплює аналітичний, методологічний і прикладний рівні, забезпечуючи повне розкриття мети – формування системи ефективного цифрового менеджменту на залізничному транспорті.

Перший розділ дисертації має теоретико-методологічний характер і присвячений дослідженню сутності цифровізації як багаторівневого процесу трансформації економіки та управління. На основі аналізу наукових підходів зарубіжних і вітчизняних учених розкрито зміст понять «цифровізація», «цифрове управління» та «цифрова економіка», уточнено їхні відмінності й взаємозв'язки. Визначено роль цифровізації як ключового чинника підвищення продуктивності праці, прозорості економічних операцій і конкурентоспроможності транспортного сектору. Сформовано узагальнену класифікацію переваг цифрової економіки для бізнесу й суспільства, що стала підґрунтям для подальших методичних розробок.

У межах першого розділу отримано узагальнені результати, які дали змогу обґрунтувати, що цифровізація залізничного транспорту є не лише технологічним, але й управлінським явищем, що змінює структуру взаємодії між підприємствами, державою та споживачами. На основі порівняльного аналізу світових тенденцій виокремлено основні напрями цифровізації залізниць: впровадження смарт-інфраструктури, інтелектуальних систем управління рухом поїздів, екологічних технологій та цифрового HR-

менеджменту. Обґрунтовано, що ці напрями формують концепцію «Залізниця 4.0», у межах якої цифрові платформи стають ядром інтегрованого управління операційними, фінансовими та клієнтськими процесами.

Другий розділ присвячено аналізу сучасного стану діяльності залізничних перевезень і оцінці впливу цифровізації на ефективність галузі. У роботі виконано діагностику ринку транспортних послуг, визначено ключові проблеми функціонування залізничного транспорту в кризових умовах: зношення основних фондів, зниження якості сервісу, збитковість приміських перевезень і відставання темпів інфраструктурної модернізації. Запропоновано систему показників цифрової зрілості підприємств галузі, на основі якої здійснено порівняльну оцінку готовності регіональних філій до цифрових змін.

Узагальнені результати другого розділу засвідчили, що цифровізація є ключовим фактором відновлення конкурентоспроможності залізничного транспорту в післякризовий період. Визначено, що стратегічні напрями цифрової трансформації мають передбачати створення електронних платформ для вантажних перевезень, впровадження автоматизованих систем планування графіків руху, використання блокчейн-технологій у документообігу та застосування алгоритмів штучного інтелекту для управління запасами й прогнозування попиту. Ці рішення спрямовані на підвищення ефективності бізнес-процесів, прозорість фінансових операцій і зниження операційних ризиків.

Третій розділ має прикладну спрямованість і присвячений розробці алгоритмічних моделей у системі цифрового управління пасажирськими перевезеннями та інфраструктурою. У межах дослідження побудовано модель прогнозування пасажиропотоку з використанням рекурентної нейронної мережі. Її застосування дає змогу оптимізувати графіки руху поїздів, скоротити витрати на порожні рейси та підвищити точність планування доходів. На основі цієї моделі запропоновано алгоритм управлінських рішень, що інтегрує результати машинного навчання в систему стратегічного планування підприємства. Розроблена блок-схема цифрового управління відображає

послідовність етапів збору, аналізу та прийняття рішень на основі великих даних, забезпечуючи інтеграцію між операційним і стратегічним рівнями менеджменту.

У роботі сформульовано науково обґрунтовані рекомендації щодо створення інтегрованої системи цифрового менеджменту на підприємствах залізничного транспорту, яка поєднує інструменти штучного інтелекту, аналітики даних, блокчейн-рішень і кіберзахисних технологій. Запропонована модель сприяє зниженню ризиків, підвищенню точності прогнозів, удосконаленню комунікацій з клієнтами й забезпечує перехід галузі до нової парадигми управління на основі операційних, фінансово-економічних та КРІ-даних.

Отримані результати наукового дослідження мають теоретичну, методологічну та прикладну цінність, поглиблюють наукові уявлення про цифрове управління, формують інструментарій оцінювання цифрової зрілості, дають змогу оптимізувати процеси перевезень і підвищують ефективність галузі в умовах воєнного стану.

Запропоновані положення можуть бути використані у державній політиці цифровізації, корпоративних стратегіях розвитку, а також у навчальних програмах підготовки управлінського персоналу транспортної сфери.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блог Національної бібліотеки України ім. Ярослава Мудрого. URL : <https://oth.nlu.org.ua/?p=5614> (дата звернення: 8.02.2024 р.)
2. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Тенденції розвитку залізничних пасажирських перевезень в Україні. *Ефективна економіка*. 2024. № 2. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.2.29>.
3. Katz R. The transformative economic impact of digital technology. URL: https://unctad.org/meetings/en/Presentation/ecn162015p09_Katz_en.pdf
4. Brennen J. S., Kreiss D. Digitalization. *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/action/showCitFormats?doi=10.1002%2F9781118766804.wbiect111>
5. Gray J., Rumpe B. Models for digitalization. *Journal of Software & System Modelling*. 2015. №14 (1). P. 1319–1320.
6. Muro M. Digitalization and the American workforce. URL: <https://www.brookings.edu/articles/digitalization-and-the-american-workforce/> (дата звернення: 11.02.2024)
7. Gates B. Business at the Speed of Thought. URL: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/15847/1/7.pdf>
8. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Переваги цифрової економіки для суспільства та бізнесу. *The 7th International scientific and practical conference “Topical aspects of modern scientific research”* (Токуо, 2024, March 21-23). Токуо : CPN Publishing Group, 2024. P. 318-321.
9. Коваль О., Лишак О. (2024). Характеристика цифрової трансформації економіки в умовах глобальних викликів. *Економіка та суспільство*. 2024. № 66. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-72>
10. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Цифровізація як фактор підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень. *The 7th International scientific and practical conference “Science and innovation of modern world”*

- (London, 2023, March 23-25). London : Cognum Publishing House, 2023. P. 715-719.
11. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 11.02.2024)
 12. Під Запоріжжям зійшов поїзд Інтерсіті (відео) URL: <https://glavcom.ua/news/u-zaporizhzhzhi-ziyshov-z-reyok-pojezd-intersiti-video-745950.html> (дата звернення: 11.02.2024)
 13. Цифрова економіка : підручник / Олешко Т. І., Касьянова Н. В., Смерічевський С. Ф. та ін. Київ : НАУ, 2022. 200 с. URL: https://vstup.htek.com.ua/wp-content/uploads/2024/10/27.3-Digital_economy.pdf (дата звернення 14.02.2024 р.)
 14. Самсонкін В. М., Юрченко О. Г., Круглик С. Ю. Впровадження системи ERTMS/ETCS в умовах залізниць України. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2022. № 4. С. 20–27.
 15. Padovano A., Longo F., Manca L., Grugni R. Improving safety management in railway stations through a simulation-based digital twin approach. *Computers and Industrial Engineering*. 2024. Vol. 187. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109839>
 16. Hitachi Rail представила ультрасучасний акумуляторний гібридний поїзд. *Railway Supply*. URL: <https://www.railway.supply/uk/hitachi-rail-predstavila-ultrasuchasnij-akumulyatornij-gibridnij-poїzd/> (дата звернення 15.02.2024)
 17. Інформаційна система керування персоналом. (HRIS) URL: <https://peopleforce.io/uk/hr-glossary/human-resource-information-system> (дата звернення 16.02.2024)
 18. Транспорт України-2021: статистичний збірник. Київ, 2022. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/10/zb_Transpot.pdf (дата звернення 16.02.2024)
 19. Ринок вантажних перевезень в Україні – огляд від Pro-Consulting. Pro-Consulting. 06.03.2023. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok->

- gruzovyh-perevozok-v-ukraine-obzor-ot-pro-consulting (дата звернення: 17.02.2024)
20. Колісніченко В. УЗ спростила правила вантажних залізничних перевезень в умовах воєнного стану. 11.03.2022. URL: <https://gmk.center/ua/news/uz-sprostyla-pravyla-vantazhnykh-zaliznychnykh-perevezen-v-umovakh-vijskovoho-stanu/>(дата звернення: 17.02.2024)
21. Підсумки роботи залізничного транспорту у 2022 році. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/pidsumky-roboty-zaliznychnoho-transportu-ukrayiny-u-2022-r> (дата звернення: 17.02.2024)
22. Ринок вантажних перевезень у 2022 році. *TradeMasterGroup*. URL: <https://trademaster.ua/articles/313620> (дата звернення: 17.02.2024)
23. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 30.05.2018 N 430-р / База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL :<https://zakon.rada.gov.ua/go/430-2018-%D1%80> (дата звернення: 18.02.2024)
24. «Укрзалізниця» презентувала програму цифрової трансформації вантажних перевезень. 3.03.2023. URL: <https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznyczyu-a-v-hodi-eksportnogo-ofisu-prezentovala-programu-czyfrovoyi-transformacziyi-vantazhnyh-perevezen/> (дата звернення: 18.02.2024)
25. Штучний інтелект (ШІ) – що це таке, як працює і навіщо потрібен. URL: <https://termin.in.ua/shtuchnyu-intelekt/> (дата звернення: 18.02.2024)
26. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Застосування цифрових інструментів маркетингу у сфері залізничних вантажних перевезень. *Матеріали двадцятої наук.-практ. міжнар. конф. «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика»* (Харків, 6-7 черв. 2024 р.). Харків, 2024. С. 220-222.
27. Залізницю з України до Європи планують забезпечити покриттям мережі IoT. 27.04.2023. URL: <https://www.railinsider.com.ua/zaliznyczyu-z-ukrayiny-do-uevropy-obladnayut-internetom-rechej/>(дата звернення: 19.02.2024)

28. «Укрзалізниця» впроваджує єдине цифрове вікно для роботи клієнтів з вантажних перевезень. 19.12.2023.
URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/621159/ (дата звернення: 20.02.2024)
29. Котельникова Ю. М. Підвищення конкурентоспроможності підприємств в умовах цифровізації. *Innovation and Sustainability*. 2022. № 4. С. 101–108.
30. Офіційний сайт залізниць Німеччини. URL: <https://rail.cc/ru/train-company/deutsche-bahn/16> (дата звернення 20.02.2024)
31. Запровадження європейської системи керування рухом поїздів ERTMS/ETCS. URL: <https://www.railway.supply/vnedreniya-evropejskoj-sistemy-upravleniya-dvizheniem-poezdov-ertms-etcs/> (дата звернення: 20.02.2024)
32. Залеський О. В. Застосування цифрового маркетингу для підвищення якості обслуговування пасажирів на залізничному транспорті. VIII Міжнародна наук.-практ. конф. «Innovative Development of Science, Technology and Education» (Ванкувер, 09-11 трав. 2024 р.). Ванкувер, 2024. С. 646-649.
33. Китай на шляху до надшвидкісних поїздів із тестом Hyperloop, який встановив «рекорд». URL: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3250723/china-track-ultra-high-speed-trains-hyperloop-test-setting-record> (дата звернення: 22.02.2024)
34. Звіт про прямі збитки інфраструктури та непрямі втрати економіки від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на червень 2023 року. KSE Institute. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/09/June_Damages_UKR_-Report.pdf (дата звернення: 10.03.2024)
35. Марценюк Л. В., Ващенко О. М. Залучення інвестицій у залізничну галузь як засіб забезпечення економічної безпеки України. *Міжнародна та національна безпека: теоретичні та практичні аспекти. Матеріали VII Міжнародної наук.-практ. конф.* 2023. С. 469–470.

36. Лепке Я. Новий розклад: які міжнародні рейси Укрзалізниці з'являться у 2024 році. URL: https://zakordon.24tv.ua/mizhnarodni-reysi-ukrzalznitsi-2024-rotsi-zyavlyatsya-3-novi_n2448431 (дата звернення: 15.03.2024)
37. Офіційний телеграм канал Укрзалізниці. URL: <https://t.me/UkrzalInfo/5304> (дата звернення: 16.03.2024)
38. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: <https://mindev.gov.ua/diialnist/zvity> (дата звернення 16.03.2024)
39. Міжнародні рейси. URL: <https://uz-vezemo.uz.gov.ua> (дата звернення: 16.03.2024)
40. Залеський О. В. Порівняння бізнес-моделей в умовах класичної та цифрової економіки. *IX International scientific and practical conference «SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF CONTEMPORARY SOCIETY»* (London, 4-6.04.2025). London, 2025. С. 487-489.
41. Сервіс квитків для військових від УЗ. URL: <https://services.uz.gov.ua/military> (дата звернення: 23.03.2024)
42. Офіційний сайт пасажирських перевезень залізничним транспортом у Німеччині. URL: <https://www.bahn.de> (дата звернення: 05.04.2024)
43. Україна 2030E – країна з розвинутою цифровою економікою. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html> (дата звернення: 15.04.2024)
44. Корінь М. В., Остапюк Б. Б., Романюк А. В. Цифровий розвиток підприємств залізничного транспорту: стратегічний аспект. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2023. №84. С. 63–72.
45. Юрчишина Л. В. Визначення бізнес-моделі університету на основі синтезу підходів до бізнес-моделі підприємства. *Економіка і організація управління*. 2020. № 40. С. 271–284.
46. Сайт «Rail Cargo Group». URL: <https://www.railcargo.com/en/> (дата звернення: 20.04.2024)

47. Про мультимодальні перевезення: Закон України від 17.11.2021.р. № 1887-IX. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text> (дата звернення: 21.04.2024)
48. Charkina T., Bobyl V., Martseniuk L., Matusevich O., Keršys A. Rail Passenger Hubs. *Proceedings of 23rd International Scientific Conference on Transport Means*. 2019. Pt. II. S. 999-1003.
49. Pshinko O., Charkina T., Martseniuk L., Orlovska O. Hubs as a Key Tool for Improving the Quality of the Service and Development of Multimodal Passenger Traffic. *Transport Problems*. 2022. Vol. 17, Iss. 1. P. 201–214. DOI: 10.20858/tp.2022.17.1.17.
50. Залеський О. В. Використання цифрових технологій HR-менеджменту у сфері залізничних пасажирських перевезень. *The 1st International scientific and practical conference “Science in the modern world: innovations and challenges”* (Toronto, 2024. September 27-29). Toronto : Perfect Publishing, 2024. С. 451-453.
51. Смірнова Н. Сутність і складові інфраструктури логістичної діяльності в Україні. URL: <https://abbsl.osau.edu.ua/index.php/visnuk/article/view/68/61> (дата звернення: 25.04.2024)
52. Науково-технічні дослідження у галузі транспорту : колективна монографія / за заг. ред. Д. В. Ломотька; Академія технічних наук України. Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г.М. 2022. Т. 2. 216 с.
53. Чаркіна Т. Ю. Теоретико-методологічні основи формування системи антикризового управління пасажирським комплексом залізничного транспорту : автореф. дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.03 - економіка та управління національним господарством / Тетяна Юріївна Чаркіна ; Укр. держ. ун-т залізн. трансп. Харків, 2021. 565 с.
54. Логістика: навч. посіб. / Безугла Л. С., Юрченко Н. І., Ільченко Т. В., Пальчик І. М., Воловик Д. В. Дніпро : Пороги, 2021. 252 с.
55. Charkina T., Zadoia V., Dmytriieva O. Marketing Management at Railway Transport Enterprises. *Innovative Development of the Road and Transport*

- Complex: Problems and Prospects : monograph. Kharkiv, 2023. Chap. 10. P. 158–171. DOI: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-71-8.ch10>
56. Залеський О. Цифрова трансформація пасажирської інфраструктури залізничного транспорту в умовах обмежених ресурсів. Економіка та суспільство. 2025. № 76. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-68>
57. Каличева, Н. Є., Масан, В. В., & Тупікіна, К. О. Підходи до забезпечення цифрового розвитку залізничного транспорту. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління*. 2022. № 5. <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2022-5-04-03>
58. Deloitte Development LLC. Digital Banking Maturity 2020: Global benchmarking study of 318 banks in 39 countries. URL: <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/financial-services/perspectives/gx-digital-banking-maturity-2020.html> (дата звернення: 05.11.2025).
59. Deloitte. Digital Maturity Index: Accelerating digital adoption in the manufacturing industry / Deloitte Germany. 2023. 10 с. URL: <https://www.deloitte.com/content/dam/assets-shared/docs/industries/energy-resources-industrials/2024/gx-digital-maturity-index.pdf> (дата звернення: 06.11.2025).
60. Deloitte Insights (Digital Transformation Pivot Model) Deloitte Insights. The Digital Maturity Pivot Model: How to accelerate digital transformation. 2022. URL: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/digital-maturity-pivot-model.html> (дата звернення: 05.11.2025).
61. OECD (Measuring the Digital Transformation) Organisation for Economic Co-operation and Development. 2019. URL: https://www.oecd.org/en/publications/2019/03/measuring-the-digital-transformation_g1g9f08f.html (дата звернення: 05.11.2025).
62. OECD (Digital Economy Outlook 2024, Volume 2) Organisation for Economic Co-operation and Development. 2024. URL:

- https://www.oecd.org/en/publications/2024/11/oecd-digital-economy-outlook-2024-volume-2_9b2801fc.html (дата звернення: 05.11.2025).
63. European Commission (Digital Transport and Logistics Forum - DTLF) European Commission. Digitalisation of Transport and Logistics and the Digital Transport and Logistics Forum (DTLF). 2024. URL: https://transport.ec.europa.eu/digitalisation-transport-and-logistics-and-digital-transport-and-logistics-forum_en (дата звернення: 05.11.2025).
64. Eurostat. *Characteristics of the railway network in Europe*. Statistics Explained 2025. 23 с. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/124859.pdf> (дата звернення: 03.04.2025).
65. ITIL Foundation, ITIL 4 Edition / AXELOS. London : Axelos, 2019. 212 с. - ISBN 011331616X, 9780113316168 URL: https://books.google.com.ua/books/about/ITIL_Foundation_ITIL_4_Edition.htm?id=qW6-xwEACAAJ&redir_esc=y (дата звернення: 06.04.2025).
66. Chapuis Raphaëlle, Melnikov Leo, Sandri Nicola Railway companies could use opportunities created by rapidly evolving artificial intelligence technologies as a catalyst to improve the way they plan and deliver operations. *The journey toward AI-enabled railway companies*. 2024. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/infrastructure/our-insights/the-journey-toward-ai-enabled-railway-companies#:~:text=A%20recent%20report%2C%20The%20journey,in%20impact%20a%20year%2C%20globally> (дата звернення: 06.04.2025)
67. VLink Info. AI in Railways: Predictive Analytics for Maintenance URL: <https://vlinkinfo.com/blog/ai-in-railways/> (дата звернення: 03.04.2025).
68. Залеський О. В. Інноваційні рішення для підвищення стійкості та конкурентоспроможності залізничного транспорту України. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 11. С. 202-208. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.11.202>
69. Кондрашов В. З бюджетною допомогою. Мінцифри та Укрзалізниця вивчають можливості покриття залізниці 4G. *NV Бізнес*. 2021. 1 черв. URL:

- <https://biz.nv.ua/ukr/tech/4g-na-zalznici-ta-v-pojzdah-proekt-mincifri-ta-ukrzalznici-novini-ukrajini-50163151.html> (дата звернення: 04.04.2025).
70. Digital Railways Market to Surge at 10.1% CAGR by 2033. *Dimension Market Research*. URL: dimensionmarketresearch.com (дата звернення: 15.02.2025).
71. Digital Twin: Simulation of intelligent freight wagons. *Digitale Schiene Deutschland*. 2022. URL: <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/news/2022/digital-twin#:~:text=For%20the%20simulation%2C%20it%20is,the%20AI%20is%20essentially%20only> (дата звернення: 04.04.2025).
72. STAFFER Consortium. Identification of current and future skills and competence needs : Deliverables D1.1 and D1.2 (Version 2.0). 2022. URL : https://www.railstaffer.eu/wp-content/uploads/2022/09/D1.1-and-D1.2_V2.0_PUBLICATION-VERSION-2.pdf (дата звернення: 18.04.2025).
73. Zhyzhyian P. Digitalization of Kyiv Works: Or, Why the Capital Leads in Digital Transformation.. *Kyiv Post* 20.05.2025. URL: <https://www.kyivpost.com/post/52959?> (дата звернення: 07.06.2025).
74. *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/studies/cba_guide.pdf (дата звернення: 10.04.2025).
75. Charkina T., Zaleskyi O. Organization of project management of railway transport infrastructure modernization in the context of digitalization. *Philosophy, economics and law review*. 2024. Vol. 4, no. 1. P. 103-112.
76. Транспорт України у 2022 році / Держстат України. Київ : Державна служба статистики України, 2023. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/zb/10/zb_Trans_22.pdf (дата звернення: 05.04.2025).
77. Про затвердження Порядку та методології проведення оцінки інвестиційного проекту із значними інвестиціями : Постанова КМУ від 28

- лип. 2021 р. № 819 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/819-2021-p#Text> (дата звернення: 06.11.2025).
78. OECD Environment Directorate. Assessment of a Social Discount Rate and Financial Hurdle Rates for Energy-System Modelling in Viet Nam. Paris : OECD Publishing, 2018. URL: [https://one.oecd.org/document/ENV/WKP\(2021\)14/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/WKP(2021)14/en/pdf) (дата звернення: 08.11.2025).
79. Cost-Benefit Analysis and the Environment. Paris: OECD Publishing, 2018. URL: https://www.oecd.org/en/publications/2018/06/cost-benefit-analysis-and-the-environment_g1g8b70e.html (дата звернення: 08.11.2025).
80. Міністерство цифрової трансформації України. Індекс цифрової трансформації громад 2023. URL: <https://backend.hromada.gov.ua/storage/uploads/files/research/indeks-cifrovoyi-transformaciyi-regioniv-ukrayini-2023/Індекс-цифрової-трансформації-регіонів-України-2023.pdf?time=1745222084025> (дата звернення: 07.11.2025).
81. Вороніна-Пригодій Д. Становлення законодавчої бази державно-приватного партнерства країн Центральної Європи та України. *Педагогічна компаративістика і міжнародна освіта*. 2023. С. 62-65. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/737580/1/Voronina-Pryhodii%20Comparative_2023.pdf (дата звернення: 28.04.2025).
82. Міністерство розвитку громад та територій України. Статистичні дані по АТ «Укрзалізниця» за 2023-2024 роки. URL: <https://mindev.gov.ua/diialnist/napriamy/zaliznychnyi-transport/statystychni-dani-pro-ukrainsku-zaliznytsiu/statystychni-dani-po-at-ukrzaliznytsia-za-2023-2024-roku> (дата звернення: 11.05.2025).
83. Ibadah N., Benavente-Peces C., Pahl, M. O. Securing the Future of Railway Systems: A Comprehensive Cybersecurity Strategy for Critical On-Board and Track-Side Infrastructure. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2024. 24(24),.8218. <https://doi.org/10.3390/s24248218>

84. Hossain Ashrafee T., Masum Abdullah-Al, Saadi Samir. The impact of geopolitical risks on foreign exchange markets: Evidence from the Russia-Ukraine war. *Finance Research Letters*. 2024. Vol. 59. 104750. doi:10.1016/j.frl.2023.104750.
85. Scaled Agile Framework (SAFe). URL: <https://framework.scaledagile.com/#big-picture> (дата звернення: 27.05.2025).
86. European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Transition Report 2023-24: Transitions big and small. 21 Nov. 2023. URL: <https://www.ebrd.com/home/news-and-events/publications/economics/transition-reports/transition-report-2023-24.html> (дата звернення: 10.04.2025).
87. Rassinieux J.-L. Digital Maturity Index: Assessing organizational readiness for digital transformation / Deloitte LLP. URL: <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/industrial-construction/perspectives/digital-maturity-index.html> (дата звернення: 07.11.2025)
88. International Organization for Standardization. ISO 31000:2018. Risk management - Guidelines. 2nd ed. Geneva: ISO, 2018. 16 p. URL: <https://www.iso.org/standard/65694.html>. (дата звернення: 10.04.2025).
89. ISO/IEC 27001:2022 - Information Security Systems. ANSI Blog, 31 Oct. 2022. URL: <https://blog.ansi.org/anab/iso-iec-27001-2022-information-security-systems/> (дата звернення: 10.04.2025).
90. Mike Da Silva, Stéphane Mocanu, Maxime Puys, Pierre-Henri Thevenon. Safety-Security Convergence: Automation of IEC 62443-3-2. *Computers & Security*. 2025. 156, pp.104477. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2025.104477>.
91. Alstom. Towards the first railway cybersecurity international standard - why standards are important for secure railways: Press releases and news, 15 Mar 2024. URL: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2024/3/towards-first-railway-cybersecurity-international-standard-why-standards-are-important-secure-railways> (дата звернення: 10.04.2025).

92. From CCS-Planning to Testautomation: The Digital Testfield of Deutsche Bahn in Scheibenberg. 2021. 29 Sep. URL: <https://arxiv.org/abs/2109.14378> (дата звернення: 27.04.2025).
93. Залеський О. В. Цифрове управління на підприємствах транспорту. *Агросвіт*. 2025. № 10. С.176–182.
94. Чаркіна Т. Ю., Пікуліна О. В., Задоя В. О. СТРАТЕГІЇ АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В УМОВАХ ТОТАЛЬНОЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ [Електронний ресурс] // Ефективна економіка. – 2025. – № 2. – DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.2.20>
95. Kumar S. Implementing Agile in Railway Product Development: A Balance of Compliance and Innovation. *International Journal of Emerging Research in Engineering and Technology*. 2022. Vol. 3, Iss. 3. P. 20-28. DOI: <https://doi.org/10.63282/3050-922X.IJERET-V3I3P103>
96. Sarp, S., Kuzlu, M., Jovanovic, V. et al. Digitalization of railway transportation through AI-powered services: digital twin trains. *Eur. Transp. Res. Rev.* 2024. 16, 58. <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00679-5>
97. Тарифи на послуги з розподілу електричної енергії / АТ «Укрзалізниця». Київ : АТ «Укрзалізниця», 2025. URL: https://www.uz.gov.ua/about/activity/electropostachannia/el_tariffs/ (дата звернення: 10.05.2025).
98. ATO over ETCS as the key to greater efficiency, capacity and sustainability / Siemens Mobility. URL: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/company/newsroom/technical-articles/ato-over-etcs-as-the-key-to-greater-efficiency-capacity-and-sustainability.html> (дата звернення: 25.04.2025).
99. Державна служба статистики України. Каталог публікацій статистичних збірників. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ8_u.htm (дата звернення: 27.04.2025).
100. Європейський банк реконструкції та розвитку. Проект стратегії для сектору інфраструктури (v10.0) (2025-2029 pp.) Київ : ЄБРР, 2024. 90 с.

- URL: <https://www.ebrd.com/infrastructure-sector-strategy-ukrainian.pdf> (дата звернення: 03.05.2025).
101. Cost of Capital Study 2024 / KPMG Switzerland. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmgsites/ch/pdf/cost-of-capital-study-2024.pdf.coredownload.inline.pdf> (дата звернення: 02.05.2025).
102. Інноваційні напрямки розвитку внутрішнього туризму в Україні [Текст] : монографія / В. О. Задоя, Т. Ю. Чаркіна, Л. В. Марценюк, О. В. Пікуліна; за ред. д-ра екон. наук, проф. Т. Ю. Чаркіної. Електрон. вид. Дніпро : Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025. 150 с.
103. Digitalisation in railway transport / RentalWagons. URL: <https://rentalwagons.com/en/digitalisation-in-railway-transport/> (дата звернення: 09.05.2025).
104. Філія «Приміська пасажирська компанія» АТ «Укрзалізниця». Послуги з капітального ремонту лінійного обладнання дизель-поїзда ДЕЛ-02 (тендер UA-2024-06-01-000006-а) / Система «Prozorro». 2024. URL: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2024-06-01-000006-a> (дата звернення: 25.05.2025).
105. AI Case Study. Deutsche Bahn reduces maintenance cost by 25% and delay-causing failures using machine learning / BestPractice. AI. URL: https://www.bestpractice.ai/ai-case-study-best-practice/deutsche_bahn_reduces_maintenance_cost_by_25%25_and_delay-causing_failures_using_machine_learning (дата звернення: 08.05.2025).
106. Європейська комісія. Стратегія сталої та розумної мобільності: формування транспортної системи ЄС на майбутнє: Повідомлення Комісії. Брюссель, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0789> (дата звернення: 11.11.2025).
107. Залеський О. В. Розбудова інноваційної логістичної інфраструктури в системі мультимодальних перевезень в Україні. Актуальні проблеми та тренди розвитку систем управління в сучасних умовах : матеріали

- Міжнародної наук.-практ. конф. (Дніпро, 26 березня 2025 р.) / за заг. ред. Ю. Проїдака. Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2025. С. 84-86.
108. Залеський О. В. Цифрова трансформація залізничного транспорту як каталізатор структурної перебудови транспортної економіки України. Матеріали III Міжнародної наук.-практ. конф. «Цифрова економіка» (Київ, 5-6 червня 2025 р.). Київ : КНЕУ, 2025. С. 171-173.
109. Статистичні дані щодо залізничного транспорту та АТ «Укрзалізниця» за 2023-2024 роки / Міністерство розвитку громад і територій України. Київ : Мінрегіон, 2025. URL: <https://mindev.gov.ua/diialnist/napriamy/zaliznychnyi-transport/statystychni-dani-pro-ukrainsku-zaliznytsiu/statystychni-dani-po-at-ukrzaliznytsia-za-2023-2024-roky> (дата звернення: 09.11.2025).
110. Генеральний штаб Збройних Сил України. Щоденні зведення. URL: <https://www.mil.gov.ua> (дата звернення: 11.11.2025).
111. Deutsche Bahn Open Data Portal. Passenger Flows Dataset. URL: <https://data.deutschebahn.com> (дата звернення: 11.11.2025).
112. McKinsey & Company. The future of mobility. Brussels : McKinsey Mobility Institute, 2023. URL: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/automotive%20and%20assembly/our%20insights/the%20future%20of%20mobility/the-future-of-mobility.pdf> (дата звернення: 11.11.2025).
113. Deloitte UK. The Railway Digital Transformation Journey. 2024. URL: <https://www.deloitte.com/uk/en/alliances/sap/research/sap-digital-transformation-railways.html> (дата звернення: 11.11.2025).
114. Railway Safety and Interoperability: the 2022 / European Union Agency for Railways (ERA). 2022. URL: https://www.era.europa.eu/content/railway-safety-and-interoperability-2022-report_en (дата звернення: 27.04.2025).
115. European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Infrastructure Sector Strategy 2025-29. London, 2024. URL: https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/sustainable-infrastructure/infrastructure-sector-strategy.pdf (дата звернення: 11.11.2025).

116. Canadian Institute for Cybersecurity. CIC-IDS-2018 Dataset. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2018.html> (дата звернення: 11.11.2025).
117. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Transport Cybersecurity Report 2023. Athens : ENISA Publications, 2023. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-transport-threat-landscape> (дата звернення: 11.11.2025).
118. Siemens Mobility. Digital services for railways: innovative approach to digital asset management for rail systems. URL: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/digital-solutions-software/digital-services/digital-asset-management-for-rail-systems/whitepaper-innovative-approach.html> (дата звернення: 11.11.2025).
119. World Bank. Transforming Transportation 2024: Mobilizing Finance for Climate. URL: <https://live.worldbank.org/en/event/2024/transforming-transportation-mobilizing-finance-climate-action> (дата звернення: 11.11.2025).
120. Fortin F. A. DEAP: Evolutionary Algorithms Made Easy / F. A. Fortin, F. M. De Rainville, M. A. Gardner et al. *Journal of Machine Learning Research*. 2012. Vol. 13. P. 2171–2175.
121. Deloitte. Rail Industry Trends. URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consumer-business/articles/future-rail-industry-trends.html> (дата звернення: 11.11.2025).
122. Langford J., Zhang T. The Epoch-Greedy Algorithm for Multi-armed Bandits with Side Information. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2007. URL: https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2007/file/4b04a686b0ad13dce35fa99fa4161c65-Paper.pdf
123. Каменев А. Ю., Лапко А. О., Щєбликіна О. В., Лазарев О. В., Ушаков М. В. Модель диспетчерського керування взаємозалежними транспортними потоками на промисловому залізничному транспорті. *Зб. наук. пр. УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 182. С. 27–35.

124. Задоя В. О., Костюк С. А. Основні аспекти цифровізації системи управління залізничними перевезеннями України. *Ефективна економіка*. 2024. № 3. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.3.64>.
125. L2M Rail. Cyber-Physical Systems. URL: <https://l2mrail.com/cyber-physical-systems/> (дата звернення: 08.11.2025).
126. Alstom. Digital solutions and services for railway operators and owners. URL: <https://www.alstom.com/solutions/services/digital-railway-solutions-unlock-higher-asset-availability-reliability-and-performance> (дата звернення: 08.11.2025).
127. Europe's Rail Joint Undertaking. About Europe's Rail / Europe's Rail. URL: <https://rail-research.europa.eu/about-europes-rail/> (дата звернення: 08.11.2025).
128. Europe's Rail Joint Undertaking. Publications: Cost-Benefit Analysis of Shift2Rail Innovations. URL: <https://rail-research.europa.eu/publications-2/> (дата звернення: 08.11.2025).
129. Passenger Digital Experience on Ukrainian Railways / Railinsider. URL: <https://railinsider.com.ua> (дата звернення: 08.11.2025).
130. Support for Ukrainian Rail Corridor Integration // EIB. URL: <https://www.eib.org> (дата звернення: 08.11.2025).
131. Єгупов Ю. А., Кошельок Г. В., Єгупова І. М. Сфера застосування чистого дисконтованого доходу в аналізі інвестиційних проєктів. *Економіка та суспільство*. 2022. № 38. С. 414–425. DOI: 10.32782/2524-0072/2022-38-65.
132. АТ «Укрзалізниця». Управління ризиками. АТ «Укрзалізниця». URL: https://www.uz.gov.ua/about/risk_management/ (дата звернення: 28.04.2025).
133. Європейський банк реконструкції та розвитку / Міністерство фінансів України. URL: <https://mof.gov.ua/uk/ebrr> (дата звернення: 29.04.2025).
134. «Geopolitical necessity» Rail Baltica receives more EU funding / RB Rail AS. URL: <https://www.railbaltica.org/news/geopolitical-necessity-rail-baltica-receives-more-eu-funding/> (дата звернення: 06.05.2025). (посилання веде на зображення)

135. Shift2Rail Joint Undertaking. Інноваційні проекти у залізничному транспорті / Shift2Rail Joint Undertaking. - Брюссель : Shift2Rail JU, 2025. URL : <https://shift2rail.org/> (дата звернення: 10.05.2025).

136. KONUX GmbH. How is Deutsche Bahn AG using smart sensor technology to avoid infrastructure failure? Munich. 2022. URL: <https://konux.com/cases/deutsche-bahn-2-2/> (дата звернення 08.11.2025).

ДОДАТОК А

Результати експертного опитування з оцінки ризиків цифрової трансформації залізничного транспорту

Анкета експертного опитування

Експертам пропонується оцінити для кожного ризику ймовірність настання події (від 0 до 1) та ступінь її впливу (від 1 – мінімальний до 5 – катастрофічний).

Фрагмент анкети експертного опитування:

№	Назва ризику	Ймовірність	Наслідок
1	Затримка впровадження стандарту зв'язку нового покоління		
2	Кібератака на вузол мережі сенсорів і «розумних пристроїв»		
3	Девальвація гривні понад 25 % протягом року		
4	Втрата даних через збій серверів		
5	Руйнування інфраструктури внаслідок воєнних дій		
6	Недостатня кваліфікація персоналу		
7	Невідповідність технічних стандартів ЄС		

Узагальнені результати експертного оцінювання

№	Назва ризику	Ймовірність (p)	Наслідок (i)	Інтегральний ризик (r=p×i)	Рівень ризику	Рекомендована стратегія
1	Затримка впровадження стандарту зв'язку	0,30	4	1,20	Середній	Перенесення строків, резервний фонд
2	Кібератака на вузол мережі сенсорів	0,40	5	2,00	Високий	Архітектура «нульової довіри», центр кіберзахисту
3	Девальвація гривні понад 25 %	0,50	3	1,50	Середній-високий	Валютне хеджування, контракти у євро
4	Втрата даних через збій серверів	0,25	4	1,00	Середній	Резервне копіювання, дублювання дата-центрів
5	Руйнування інфраструктури внаслідок воєнних дій	0,20	5	1,00	Середній	Резервні маршрути, план безперервності
6	Недостатня кваліфікація персоналу	0,35	3	1,05	Середній	Підвищення кваліфікації,

						навчання
7	Невідповідність стандартів ЄС	0,25	4	1,00	Середній	Гармонізація стандартів, участь у CEN/CENELEC WG

ДОДАТОК Б

Програмна реалізація алгоритмічних моделей цифрового управління пасажирськими перевезеннями

Б.1. Прогнозування пасажиропотоку (LSTM-модель)

Фрагмент коду:

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import LSTM, Dense
import numpy as np
data = np.random.randint(1000, 5000, 100)
X = np.array([data[i:i+5] for i in range(len(data)-5)])
Y = data[5:]
X = X/np.max(X); Y = Y/np.max(Y)
X = np.reshape(X, (X.shape[0], X.shape[1], 1))
X_train, X_test, Y_train, Y_test = train_test_split(X, Y, test_size=0.2, random_state=42)
model = Sequential([LSTM(64, input_shape=(5,1)), Dense(1)])
model.compile(optimizer='adam', loss='mae')
model.fit(X_train, Y_train, epochs=100, batch_size=8, verbose=0,
validation_data=(X_test, Y_test))
```

Б.2. Оптимізація розкладу руху поїздів

Фрагмент коду:

```
import numpy as np, random, matplotlib.pyplot as plt
N_TRAINS, GENS = 20, 50
population = np.random.uniform(0, 60, (100, N_TRAINS))
def fitness(ind):
    return np.sum(ind) * 1.1 # сумарна вартість затримок та енергії
best = []
for g in range(GENS):
    values = np.apply_along_axis(fitness, 1, population)
    best.append(np.min(values))
    survivors = population[np.argsort(values)[:50]]
    offspring = []
    for _ in range(50):
        p1, p2 = random.sample(range(50), 2)
        cp = random.randint(1, N_TRAINS-1)
        child = np.concatenate((survivors[p1][:cp], survivors[p2][cp:]))
        if random.random() < 0.2:
            child[random.randint(0, N_TRAINS-1)] += np.random.normal(0,5)
        offspring.append(np.clip(child,0,60))
    population = np.array(offspring)
plt.plot(best)
plt.title("Збіжність генетичного алгоритму оптимізації розкладу")
plt.xlabel("Покоління"); plt.ylabel("Сумарні витрати")
plt.grid(True)
plt.savefig("appendix_B_schedule_optimization.png", dpi=300)
```

Б.3. Персоналізоване ціноутворення

Фрагмент коду:

```
vw --cb 5 -d data.vw -f model.vw --epsilon 0.1 --interactions ABCD
vw -t -d test.vw -i model.vw -p predictions.txt
```

ДОДАТОК В

Список публікацій здобувача за темою дисертації

статті у виданнях, що внесені до переліку наукових фахових видань і міжнародних наукометричних баз:

1. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Тенденції розвитку залізничних пасажирських перевезень в Україні. Ефективна економіка. 2024. № 2. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.2.29>. (Особистий внесок: сформовано механізм розвитку залізничних пасажирських перевезень для підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту України.)

2. Charkina T., Zaleskyi O. Organization of Project Management of Railway Transport Infrastructure Modernization in the Context of Digitalization. *Philosophy, economics and law review*. 2024. Vol. 4, no. 1. P. 103-112. DOI: <https://doi.org/10.63341/2786-491X-2024-1-103-112>. (Особистий внесок: розроблено стратегії управління ризиками та забезпечення високого рівня захисту інформації з позиції цифрової безпеки для успішної реалізації проєктів транспортної інфраструктури.)

3. Залеський О. В. Цифрове управління на підприємствах транспорту. *Агросвіт*. 2025. № 10. С. 176-182. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.10.176>

4. Залеський О. В. Інноваційні рішення для підвищення стійкості та конкурентоспроможності залізничного транспорту України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025. № 11. С. 202-208. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.11.202>

5. Залеський О. Цифрова трансформація пасажирської інфраструктури залізничного транспорту в умовах обмежених ресурсів. *Економіка та суспільство*. 2025. № 76. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-68>

тези доповідей і матеріали науково-практичних конференцій:

1. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Цифровізація як фактор підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень. *The 7th International scientific*

and practical conference “Science and innovation of modern world” (London, 2023, March 23-25). London : Cognum Publishing House, 2023. P. 715-719. (Особистий внесок: сформовано фактори привабливості поїздки для пасажирів залізничного транспорту.)

2. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Переваги цифрової економіки для суспільства та бізнесу. *The 7th International scientific and practical conference “Topical aspects of modern scientific research”* (Токуо, 2024, March 21-23). Токуо : CPN Publishing Group, 2024. P. 318-321. (Особистий внесок: сформовано основні переваги цифрової економіки для суспільства та бізнесу.)

3. Чаркіна Т. Ю., Залеський О. В. Застосування цифрових інструментів маркетингу у сфері залізничних вантажних перевезень. *Матеріали двадцятої наук.-практ. міжнар. конф. «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика»* (Харків, 6-7 черв. 2024 р.). Харків, 2024. С. 220-222. (Особистий внесок: запропоновано інструменти цифрового маркетингу для підвищення ефективності перевезень вантажів, створення нових можливостей для бізнесу та розширення географії логістики.)

4. Залеський О. В. Застосування цифрового маркетингу для підвищення якості обслуговування пасажирів на залізничному транспорті. *VIII Міжнародна наук.-практ. конф. «Innovative Development of Science, Technology and Education»* (Ванкувер, 09-11 трав. 2024 р.). Ванкувер, 2024. С. 646-649.

5. Залеський О. В. Використання цифрових технологій HR-менеджменту у сфері залізничних пасажирських перевезень. *The 1st International scientific and practical conference “Science in the modern world: innovations and challenges”* (Toronto, 2024. September 27-29). Toronto : Perfect Publishing, 2024. С. 451-453.

6. Залеський О. В. Розбудова інноваційної логістичної інфраструктури в системі мультимодальних перевезень в Україні. *Актуальні проблеми та тренди розвитку систем управління в сучасних умовах* : матеріали Міжнародної наук.-практ. конф. (Дніпро, 26 березня 2025 р.) / за заг. ред. Ю. Пройдака. Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2025. С. 84-86.

7. Залеський О. В. Цифрова трансформація залізничного транспорту як каталізатор структурної перебудови транспортної економіки України. *Матеріали III Міжнародної наук.-практ. конф. «Цифрова економіка»* (Київ, 5-6 червня 2025 р.). Київ : КНЕУ, 2025. С. 171-173.

8. Залеський О. В. Порівняння бізнес-моделей в умовах класичної та цифрової економіки. *IX International scientific and practical conference «SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF CONTEMPORARY SOCIETY»* (London, 4-6.04.2025). London, 2025. С. 487-489.

ДОДАТОК Г

Акти впровадження

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО

«АТТРАНС»

49006, м. Дніпро, пр. Лесі Українки (Пушкіна), буд.49, офіс 602, Код ЄДРПОУ 37898926, тел. (056)
371-55-04

АКТ від 19 грудня 2025 року

ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
ЗАЛЕСЬКОГО ОЛЕКСІЯ ВІКТОРОВИЧА НА ТЕМУ
«ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ»

В умовах ускладнення експлуатації залізничної інфраструктури та зростання вимог до технічної надійності зростає значення управлінських і технологічних рішень, заснованих на застосуванні цифрових інструментів. Перехід від ізольованих технічних рішень до системного використання даних і прогнозних моделей створює передумови для оптимізації виробничих процесів, зниження експлуатаційних ризиків та підвищення якості інженерного супроводу інфраструктурних об'єктів.

У цьому контексті наукові результати, отримані Залеським О.В. у межах дисертаційного дослідження, орієнтовані на формування комплексних механізмів цифрового розвитку залізничної галузі та можуть бути використані підприємствами інженерно-виробничого профілю. Запропоновані підходи до організації цифрових проєктів, застосування аналітичних інструментів і віртуального моделювання формують практичну основу для модернізації виробничо-управлінських процесів.

Основні наукові положення та прикладні результати були використані в діяльності ТОВ «Науково-виробниче підприємство «АТТРАНС»» при організації виробничих процесів та управління інженерними проєктами. Застосування результатів дослідження дозволило:

- обґрунтувати доцільність впровадження елементів цифрової інфраструктури (сенсорні системи моніторингу, IoT-рішення) при проєктуванні та обслуговуванні об'єктів залізничної інфраструктури;
- підвищити обґрунтованість управлінських рішень шляхом використання аналітичних показників ефективності та елементів портфельного управління;
- сформувати підходи до розвитку цифрових компетенцій інженерно-технічного персоналу підприємства.

Зазначені результати дисертаційної роботи підтвердили свою практичну цінність та можуть бути використані в подальшій діяльності ТОВ «Науково-виробниче підприємство «АТТРАНС»» для підвищення ефективності інженерних рішень, оптимізації виробничо-технологічних процесів, розвитку інноваційного потенціалу та адаптації підприємства до сучасних викликів цифрової трансформації транспортної галузі.

Директор



Сидорчук А.О.



Рух / Темп / Залізниця



АКТ

ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕСЬКОГО ОЛЕКСІЯ ВІКТОРОВИЧА НА ТЕМУ « ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ »

На сьогодні цифрові трансформації докорінно змінюють підходи до управління інфраструктурою та сервісами залізничного транспорту. Упровадження сенсорних систем, цифрових двійників, інтелектуальної аналітики та сучасних технологій зв'язку забезпечує перехід від фрагментованих процесів до цілісної цифрової екосистеми управління. Це дозволяє підвищити ефективність технічного контролю, знизити операційні витрати та забезпечити стійкість інфраструктури в умовах воєнних викликів.

З огляду на необхідність модернізації транспортної галузі України та адаптації підприємств до світових цифрових трендів, розроблені Залеським О.В. наукові положення є актуальними та своєчасними.

Запропоновані підходи до формування цифрової архітектури «Залізниця 4.0», удосконалення систем моніторингу, впровадження аналітичних платформ і моделі управління цифровими проектами визначають напрями й інструменти розвитку сучасних цифрових рішень у транспортній сфері.

Розроблені положення використано в діяльності ТОВ «ЛЕБЕДИНСЬКИЙ МБДЕ ЗАВОД «ТЕМП», що дозволило:

- визначити ефективні інструменти цифрового моніторингу обладнання;
- удосконалити інтеграцію виробничих і технологічних процесів;
- покращити якість сервісного обслуговування;
- підвищити рівень безпеки та цифрової готовності підприємства.

Зазначені результати дисертаційної роботи підтвердили свою практичну цінність та можуть надалі застосовуватися в діяльності підприємства для удосконалення цифрових процесів, оптимізації управлінських рішень і підвищення ефективності функціонування виробничо-логістичної інфраструктури.

З повагою,
Директор
Ірина ПОДНЄБЕСОВА



+380 670 002 019

info@zavodtemp.ua

www.zavodtemp.ua

42202, Україна, Сумська область,
Сумський р-н, м. Леbedин, вул. Сінова, 80