

УДК 338

А. В. Костюк,

аспірант, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3405-350X>

DOI: 10.32702/2306-6792.2025.17.133

ІННОВАЦІЇ В СФЕРІ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ

A. Kostiuk,

Postgraduate student, Ukrainian State University of Science and Technologies

INNOVATIONS IN THE FIELD OF RAILWAY ENERGY SUPPLY: GLOBAL EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR UKRAINE

У статті досліджено сучасні інновації в сфері енергопостачання залізничного транспорту з урахуванням світового досвіду та окреслено перспективи їх впровадження в Україні. Проаналізовано актуальність проблеми в умовах переходу світових економік на енергозберігаючі технології та зростаючих вимог до запровадження принципів сталого розвитку. Розкрито приклади використання відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової, гідроенергії), систем накопичення енергії (акумулятори, суперконденсатори, маховики), рекуперативного гальмування, водневих технологій, а також впровадження смарт-мереж на залізничному транспорті. Особливу увагу приділено практичним розробкам провідних компаній світу, які створюють інноваційні поїзди на водневих паливних елементах, акумуляторах та гібридних системах. Визначено перспективи застосування таких рішень в Україні, серед яких: розширення електрифікації, модернізація підстанцій, розвиток інфраструктури для водневих поїздів, встановлення відновлюваних джерел на станціях та депо, інтеграція мікромереж. Зроблено висновок, що інновації у сфері енергопостачання на залізничному транспорті виконують стратегічну, економічну, соціальну, конкурентну та адаптаційну функції.

The article examines modern innovations in the field of energy supply for railway transport, taking into account world experience and the prospects for their implementation in Ukraine. The relevance of the problem in the context of energy transition and growing demands for sustainable development is analyzed. Examples of the use of renewable energy sources (solar, wind, hydropower), energy storage systems (batteries, supercapacitors, flywheels), regenerative braking, hydrogen technologies, as well as the implementation of smart grids are disclosed. Special attention is paid to practical developments of leading world companies that create innovative trains on hydrogen fuel cells, batteries and hybrid systems. The prospects for the application of such solutions in Ukraine are determined, including the expansion of electrification, modernization of substations, development of infrastructure for hydrogen trains, installation of renewable sources at stations and depots, integration of microgrids. Some examples of the modern implementation of energy-efficient technologies in railway transport are given. It is concluded that innovations in the field of energy supply in railway transport should perform the following functions: strategic (to achieve the ambitious strategic goals of railway transport managers in terms of gaining an increasing share of the transport services market), economic (the measures introduced must be economically justified and scientifically substantiated), competitive (the introduction of energy-efficient technologies. It will undoubtedly bring railway transport to a leading position, because consumers of transport services are able to turn to transport service providers who do not negatively affect the environment), adaptive

(railway energy saving plans must be coordinated with global and national energy development programs), social (any innovations must, first of all, be focused on people, and only then on achieving business advantages). Successful examples of the use of hydrogen and battery trains in the production of trains are given, and the need to introduce such trains in Ukraine is emphasized.

Ключові слова: інновації, енергопостачання, залізничний транспорт, управління електропостачанням, відновлювальні джерела енергії, водневі поїзди, рекуперація.

Key words: innovation, energy supply, rail transport, power supply management, renewable energy sources, hydrogen trains, recovery.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Енергоресурси, без сумніву, потрібні для функціонування будь-якої галузі, адже саме ці ресурси здатні запускати (забезпечувати функціонування) відповідні процеси, підтримувати їх або просто бути допоміжним засобом у тому чи іншому виробництві чи сфері послуг. Останні десятиліття людство замислюється над тим, що енергоресурси можуть бути вичерпними, а тому науковці та практики в різних країнах намагаються розробити та запровадити у реальне життя енергозберігаючі технології, знайти альтернативні джерела енергії задля досягнення сталого розвитку суспільства, який передбачає серед іншого і економію усіх доступних видів ресурсів. Саме сталий розвиток є головним вектором розвитку країн, які запроваджують реалізацію принципів сталого розвитку в різних сферах — транспорті, металургії, аграрному секторі, туризмі, і навіть в освіті тощо [1-3]. Тому, на наш погляд, узагальнення провідного передового досвіду в сфері інновацій в енергосекторі в транспортній сфері (в нашому дослідженні — на залізничному транспорті) провідних країн світу та аналіз в цьому контексті потенційних заходів для менеджерів АТ "Укрзалізниця" є доволі корисним для українських підприємств, адже можливо, в найближчому майбутньому, в контексті євроінтеграції, вдасться реалізувати найкращі світові практики в українській економіці.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Інноваціям в сфері енергетики в останні часи приділено достатньо уваги з боку науковців, адже це перспективна тематика, досліджень в якій гостро потребує сучасне суспіль-

ство (витрати енергії людства зростають, а виходів альтернативних джерел недостатньо). Так, дослідники у науковій статті [4] окреслили сучасні напрями інновацій в енергетиці, які можуть бути запроваджені майже в усіх галузях економіки за умови сприятливих інвестиційних умов. В дослідженнях [5-10] йде мова про необхідність запровадження інновацій саме на залізничному транспорті, якщо менеджери АТ "Укрзалізниця" планують вивести залізничний транспорт на лідируючі позиції у порівнянні із автомобільним транспортом. Про запровадження інновацій як необхідного елементу антикризового управління знаходимо слушні думки у дослідженнях [11—14], при цьому інші автори вказують про необхідність дбати про економічну безпеку в умовах стрімкої діджиталізації (в тому числі й в енергетичній сфері на залізничному транспорті) [15—21], а також враховувати потенційні ризики від інноваційної діяльності на залізничному транспорті [22, 23]. Разом з тим, потрібно зауважити, що в окреслених дослідженнях конкретного узагальнення напрямів впровадження енергоефективності діяльності залізничного транспорту немає, тож є необхідність усунути цю прогалину.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є узагальнення інновацій в сфері енергопостачання залізниць: світовий досвід та перспективи України на підставі відкритих наукових джерел в мережі Інтернет та з власних досліджень автора.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Кабінет міністрів України на засіданні 25 червня 2024 року схвалив Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) на період до 2030 року, який передбачає суттєві інвестиції —

41,5 мільярдів доларів та спрямований на декарбонізацію та розширення використання альтернативних джерел енергії [24]. Окрім того, Україна має амбітні плани — до 2050 року отримувати 70% енергії з відновлювальних джерел [25], більша частина якої буде спрямована на функціонування транспорту, в тому числі й залізничного. Інновації в сфері енергопостачання на залізничному транспорті спрямовані, в першу чергу, на зниження негативного впливу роботи залізниць на навколишнє середовище. Загалом, інновації — це не тільки щось кардинально нове, а й удосконалене вже існуюче. Тому не завжди є сенс та ресурси у підприємства видумувати щось нове, яке потребує значних ресурсів, в тому числі фінансових, а є сенс застосувати у себе на підприємстві те, що успішно застосовують інші суб'єкти господарювання в спорідненій галузі. На залізничному транспорті в провідних країнах застосовують інновації, що сприяють екологічності, енергоефективності та економічності.

В першу чергу, відбувається перехід на відновлювальні джерела енергії:

— Енергія сонця. Так, вже для людства в усіх, без винятку, країнах не є дивиною сонячні панелі. Вони можуть бути різні за потужністю, за іншими характеристиками, але те, що вони вже є скрізь, це точно. На вокзалах, вздовж залізничних колій, в структурних підрозділах залізниць світу використовують сонячні панелі (так, в Німеччині на шпали встановлені сонячні батареї, які здатні виробляти до 0,1 МВт електроенергії на кілометр) [26];

— Енергія вітру. Наприклад, у Великобританії установки, які здатні перетворювати енергію за допомогою вітру, стають все більш популярними та потужними та виробляють майже третину енергії в країні та мають всі шанси вийти на перше місце. Вітрові електростанції забезпечують живлення залізничних ліній [27];

— Гідроенергія (використання потужності гідроелектростанцій на базі річок, які розташовані недалеко від залізничної інфраструктури). В Україні в сфері гідроенергетики планують ввести наступні інновації: використання безпечних (для водних живих організмів) гідрокінетичних турбін, розвиток малих гідроелектростанцій. Гідроелектростанції є потужним інструментом накопичення енергії в комплексі з сонячними та вітровими установками для забезпечення безперебійної роботи залізничного транспорту та підприємств інших галузей [28].

По-друге, на залізницях світу успішно використовуються різноманітні системи накопичення енергії:

— Акумуляторні батареї. Ця ідея доволі вдала для застосування у використанні гібридних поїздів, коли літій-іонні акумуляторні батареї накопичуватимуть надлишок енергії, отриманої з відновлювальних джерел енергії (такі конструкції доволі популярні на залізницях Японії) [29];

— Суперконденсатори (іоністори). Ці пристрої, розроблені китайськими вченими, здатні забезпечити супершвидку зарядку та розрядку, що робить їх ідеальними для рекуперативного гальмування [30];

— Рекуперативне гальмування. Завдяки рекуперативному гальмуванню залізничним компаніям вдається використовувати на 30% менше електроенергії [31];

— Маховики. Це спеціальні механічні системи для накопичення енергії, що зберігати велику кількість енергії протягом тривалого часу.

По-третє, розумні мережі. Використання розумних мереж, згідно із досвідом залізниць інших країн, забезпечує ефективне керування енергопостачанням внаслідок ефективної комунікації між залізничною мережею та електромережею. Розумні мережі дозволяють аналізувати поточне споживання енергії та прогнозувати її споживання на майбутнє, а також оптимально розподіляти потоки енергії між споживачами.

По-четверте, водневі технології. Водневі паливні елементи (передбачає використання для живлення локомотивів та іншої залізничної техніки). Приклад: Німеччина, де вже експлуатуються поїзди на водневих паливних елементах. Водень вважається екологічно чистим видом палива, оскільки єдиним продуктом його використання є водяна пара. На відміну від традиційних джерел енергії, він не створює викидів шкідливих речовин чи парникових газів, які сприяють стрімкому глобальному потеплінню. Важливо й те, що виробляти водень можна з різних ресурсів, у тому числі відновлюваних (енергії сонця, вітру чи води), що робить його ще більш перспективним і сталим варіантом майбутнього енергозабезпечення.

Найбільший світовий виробник залізничного транспорту (китайська компанія CRRC) представив інноваційний потяг з нульовим рівнем викидів, який працює на водневому паливі та суперконденсаторах, використовуючи їх як основні джерела енергії. Конструкція поїзда включає чотири вагони, він має запас ходу близько 600 км і при цьому може розвивати

швидкість до 160 км/год, що робить його на сьогоднішній день найшвидшим у світі залізничним транспортним засобом, що працює на водні. Серед технічних особливостей новинки є інтеграція технології 5G, яка забезпечує високий рівень зв'язку та управління. Крім того, в потязі передбачено інтелектуальні режими, зокрема автоматичний запуск, зупинку та самостійне повернення в депо, що значно підвищує рівень автоматизації та безпеки експлуатації.

Сьогодні лідером у впровадженні водневих потягів вважається Німеччина, де вже курсують 14 поїздів компанії Alstom, що ефективно працюють на водневому паливі. Водночас китайський потяг від компанії CRRC демонструє суттєву перевагу у швидкості приблизно на 20 км/год, тоді як німецькі аналоги мають більший запас ходу, приблизно 1000 км. У свою чергу, у 2019 році Великобританія запустила перший водневий поїзд HydroFLEX, створений на базі модернізованого електропоїзда класу 319.

У сфері розвитку водневого транспорту активну позицію тривалий час займали Японія та Південна Корея, які розглядали водень як "зелену" альтернативу традиційним видам палива. Проте останні статистичні дані свідчать, що саме Китай нині бере на себе провідну роль у практичному розгортанні інфраструктури, насамперед, водневих заправних станцій. У світі функціонує близько тисячі таких станцій, і майже третина з них розташована в Китаї. Цей факт має стратегічне значення: держава, яка й так контролює більшість світового ланцюга постачання літєвих батарей, тепер поступово починає розширювати вплив і на сектор водневої енергетики. В умовах можливого дефіциту літію, що може негативно вплинути на рівень цін і загальмувати розвиток електротранспорту, Китай вже сьогодні використовує альтернативу у вигляді водню як ключового елементу енергетичної системи майбутнього.

Китай поставив перед собою амбітну мету — стати світовим лідером у водневій енергетиці. Відповідно до плану, затвердженого Національною комісією з розвитку та реформ та Національним управлінням з енергетики, вже у 2025 році країна планує вивести на дороги близько 50 000 транспортних засобів на водневих паливних елементах, а щорічне виробництво "зеленого" водню з відновлюваних джерел має сягати приблизно двохсот тонн. Таким чином, Китай демонструє не лише технічну, а й стратегічну готовність до глобальної енергетичної трансформації, де водневий транспорт може стати невід'ємною частиною як залізнич-

ної, так і автомобільної індустрії майбутнього [32].

Компанія Stadler є одним із лідерів у виробництві водневих і акумуляторних потягів, за якими, безумовно, майбутнє. Ще у 2022 році компанія представила у Берліні акумуляторний поїзд FLIRT Akku та найпотужніший (на той момент) у Європі гібридний локомотив EURO9000. Моторвагонний поїзд із водневим приводом FLIRT H2 для США є першим пасажирським потягом, який використовує водень як паливо (в складі поїзда три вагони, при чому один з яких, той, що всередині, є своєрідним акумулятором, де водень перетворюється на електричний струм). Поїзд здатен розганятися до 130 кілометрів на годину, що, наприклад, для України, було б допустимим. Також компанія Stadler представила перший серійний рухомий моторвагонний склад для неелектрифікованої залізничної мережі в Німеччині (FLIRT Akku). Цікаво, що FLIRT Akku здолав 224 км без додаткового живлення і таким чином встановив світовий рекорд. Крім того, Stadler представила інноваційний локомотив для вантажних залізничних перевезень у Європі EURO9000. Він оснащений Європейською системою управління рухом поїздів та дистанційним радіо керуванням. Головна перевага локомотива полягає в модульній конструкції, яка дозволяє інтегрувати одразу три різні типи приводів: електропривід, дизельний двигун із двома економними моторами потужністю по 950 кВт та акумуляторні батареї. Це забезпечує можливість ефективної й екологічно чистої роботи навіть на ділянках, де відсутня електрифікація [33];

— Виробництво водню з відновлювальних джерел енергії (в цьому випадку відбувається електроліз води за допомогою енергії сонця, вітру або інших відновлювальних джерел енергії для отримання "зеленого" водню, який використовується як екологічно чисте паливо).

Залізнична мережа України довжиною близько 21 тисячі кілометрів, є однією з найбільших в Європі. До початку повномасштабної агресії російської федерації проти України та обстрілів залізничних підстанцій, українська залізниця була електрифікована на 47%. Економічно-ефективним шляхом декарбонізації залізничних перевезень є подальша електрифікація мережі. Використання залізничного транспорту на водневих паливних елементах (комірках) є перспективним на маршрутах, які складно електрифікувати, та потребує подальшого техніко-економічного обґрунтування. Водночас одним із кроків із впровадження водневих технологій на залізничному транспорті

Таблиця 1. Інновації в сфері енергопостачання залізниць: світовий досвід та перспективи України

Інновації	Приклад зарубіжної країни	Можливість реалізації в Україні
Рекуперація	У Німеччині, Іспанії та Франції економія до 25% електроенергії завдяки поверненню енергії гальмування в мережу	Встановлення інверторних модулів для продажу надлишкової енергії в енергосистему України; особливо актуально у пікові години
Узбічні накопичувачі енергії	США (Філадельфія) – літій-іонні батареї; Іспанія (Барселона) – суперконденсатори для стабілізації напруги	Використання для резервного живлення сигналізації, диспетчеризації та евакуаційних рейсів у разі атак на енергосистему
Схема 2×25 кВ з автотрансформаторами	Франція, Японія, Китай – зменшення втрат та більша стабільність живлення	Перехід на сучасні системи живлення на нових високошвидкісних і вантажних коридорах
Гібридні та акумуляторні поїзди	Німеччина (Siemens Mireo Plus B), Японія – робота на неелектрифікованих ділянках	Заміна дизельних поїздів на західних напрямках України; зниження викидів та витрат на паливо
Водневі поїзди	Alstom Coradia iLint – комерційна експлуатація в Німеччині та Франції	Розвиток водневої інфраструктури за підтримки ЄС; інтеграція у відбудову транспортної системи України
Відновлювана енергетика на станціях	Японія – сонячні панелі на станціях; Британія – живлення ділянок напругу від сонячних панелей	Використання сонячних панелей і вітрових установок для автономного живлення вузлових станцій та депо
Мікромережі (microgrids)	США – стратегічні транспортні вузли із резервним живленням	Децентралізоване живлення залізничних вузлів у разі масових відключень електроенергії під час війни

Джерело: узагальнено автором на підставі [32–40].

може бути переоснащення залізничної снігоочисної техніки, що укомплектована енергетичними дизельними вагонами, на використання водню [34].

Енергоефективність залізничного транспорту йде нарівні з іншими стратегічними планами керівництва АТ "Укрзалізниця", серед яких: капітальне оновлення інфраструктури, рухомого складу, створення безбар'єрного [38] середовища (загальні потреби в інвестиціях залізничного відомства до 2030 року оцінюються приблизно в 430 млрд гривень). В досягненні поставлених цілей разом із залізничним відомством будуть задіяні майже півтисячі підприємств, що є суттєвим для підтримки воєнної економіки України. Джерела фінансування запланованих амбітних цілей — держбюджет, кошти залізниць, інвестиції приватних інвесторів [35].

Укрзалізниця задля безперервного забезпечення руху поїздів потребує постійного надходження електроенергії, окрім того, компанія також є однією найбільших (обслуговує понад сто тисяч приєднаних споживачів електроенергії)

розподільчих компаній України за протяжністю мереж та обсягами перетоку електроенергії. Задля ефективного власного забезпечення та приєднаних споживачів в АТ "Укрзалізниця" в 2024 році створили окрему юридичну особу ТОВ "УЗ Енерго", яка займається питаннями електропостачання. В умовах виконання цілі зростання цифрової трансформації послуг, що надаються в залізничній галузі, запущено спеціальний цифровий сервіс, який дозволяє потенційним споживачам електроенергії доєднатися до послуг АТ "Укрзалізниця", а вже існуючим споживачам — отримувати якісний зворотній зв'язок [36].

Щодо реального запровадження інновацій в сфері енергетики на залізничному транспорті в Україні, то потрібно зауважити, що поки що поточний стан запровадження інновацій знаходиться не в задовільному стані, в першу чергу, внаслідок об'єктивних причин, а саме: відсутність коштів в держбюджеті, адже лівова частина коштів йде на захист країни, небажання потенційних інвесторів вкладати кошти в економіку України як в таку, що є високо ризико-

ваною. Правда, є і позитивні моменти. Так, в кінці серпня 2025 року відкрито транскордонну лінію електропередач сполученням Ужгород-Чоп. Ця ділянка стане частиною залізничного сполучення Київ-Братислава та забезпечить прямий рух пасажирів і вантажів до країн ЄС. В рамках цієї події заплановано також будівництво (із завершенням у 2032 році з загальною сумою інвестицій більше 200 мільйонів євро) нової лінії електропередач Мукачєво-Великі Капушани, що дозволить ефективніше співпрацювати двом країнам у сфері енергетики. Окрім того, за участі Словаччини заплановано реалізацію проєкту "Зелений острів", який передбачає побудову нових вітрових та сонячних станцій [37].

На підставі узагальнення позитивного досвіду іноземних залізниць окреслимо деякі можливі інновації і для України (табл. 1).

Для підвищення ефективності енергосистем залізничного транспорту доцільно використовувати інструменти штучного інтелекту, які здатні оптимізувати навантаження на електромережі та зробити попит рівномірним.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Інновації в сфері енергопостачання на залізничному транспорті повинні виконувати функції: стратегічну (досягати амбітних стратегічних цілей менеджерів залізничного транспорту стосовно завоювання все більшої частки ринку транспортних послуг), економічну (запроваджені заходи повинні економічно себе виправдовувати, бути науково обґрунтовані), конкурентну (запровадження енергоефективних технологій, безперечно, виведе залізничний транспорт на лідируючі позиції, адже споживачі транспортних послуг здатні звертатися до надавачів транспортних послуг, які не впливають негативно на навколишнє середовище), адаптаційну (плани енергозбереження залізниць повинні бути узгоджені із світовими та національними програмами енергорозвитку), соціальну (будь-які інновації повинні, в першу чергу, бути орієнтовані на людей, а вже потім на досягнення бізнес-переваг). Перспективами подальших розвідок автора можуть стати дослідження, які стосуватимуться конкретних прикладів запровадження інновацій в сфері енергопостачання з вказанням конкретних маршрутів або структурних підрозділів залізниць України, з прорахунком необхідної суми інвестицій та з рекомендаціями щодо джерел залучення інвестицій на ці потреби.

Література:

1. Марценюк А., Шніпов, В. Напрями сталого розвитку залізничного транспорту України. Науковий вісник Дніпровського державного університету внутрішніх справ. 2024. № 2. С. 153—163. URL: <https://doi.org/10.31733/2078-3566-2024-2-153-163>
2. Марценюк А.В., Сидорчук А.О. Напрями реалізації цілей сталого розвитку України на залізничному транспорті та їх адаптація до умов воєнного стану. Інвестиції: практика та досвід,. 2024. № 16. С. 88—97. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.16.88> URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/4362/4397>
3. Марценюк А.В., Тараненко А.С. Моделювання сталого розвитку приватних індустриальних підприємств. Агросвіт. 2025. № 6. С. 47—55. DOI: [10.32702/2306-6792.2025.6.47](https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.6.47) URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/5911/5970>
4. Пантелєєва І. В., Шматько Н. М., Глушко А. В. Види інновацій в енергетиці, що розвиваються. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Сер.: Технічні науки. 2023. Т. 34 (73), № 4. С. 129—134. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/78125>
5. В. О. Мельник, А. В. Марценюк, М. І. Міщенко, О. П. Власова. Розробка науково-методичного підходу до планування процесів інноваційного розвитку залізниць. Ефективна економіка. 2019. № 2. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6875>
6. Марценюк А. В., Запорожець В. М. Парадигма інноваційного розвитку залізничних компаній. Економіка та держава. 2020. № 2. С. 32—38. DOI: [10.32702/2306-6806.2020.2.32](https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.2.32) URL: http://www.economy.in.ua/pdf/2_2020/8.pdf
7. Марценюк А. В., Грабовська Г. В. Стратегія інноваційного розвитку пасажирських компаній. Економіка та держава. 2020. № 3. С. 37—41. DOI: [10.32702/2306-6806.2020.3.37](https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.3.37) http://www.economy.in.ua/pdf/3_2020/9.pdf
8. Марценюк А.В., Файфер С.М. Комплексний підхід до створення бізнес-екосистеми економічної безпеки підприємств України в умовах воєнної економіки та післявоєнного відновлення. Агросвіт. 2025. № 4. С. 56—63. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/5660/5718> DOI: [10.32702/2306-6792.2025.4.56](https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.4.56)
9. Марценюк А.В., Чаркіна Т.Ю. Комплексний підхід до антикризового управління з урахуванням інструментів діджитал менеджменту.

Агросвіт. 2025. № 8. С. 23—29. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.8.23> URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/6117>

10. Марценюк Л.В. Напрями удосконалення управління бізнес-процесами підприємств залізничного транспорту в умовах глобалізації економіки. Агросвіт. 2025. № 14. С. 54—60. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.14.54> URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/6895/7000>

11. Чаркіна, Т. Ю., Марценюк, Л. В., & Задоя, В. Діджитал-менеджмент як інструментарій антикризового управління розвитком підприємства. Review of transport economics and management. 2025. № 12 (28) С. 214—223. URL: <https://doi.org/10.15802/rtem2024/328092>

12. Ivanov, M.; Martseniuk, L.; Angelova, M.; Faifer, S. Strategic Risk Management of Digital Transformation in the Economic Security of Industrial Enterprises. Economics Ecology Socium. 2025. № 9. P. 124—141. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2025.9.2-9>

13. Марценюк Л.В. Бізнес-процеси підприємств в умовах глобалізації: проблеми та перспективи (на прикладі залізничного транспорту). Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 14. С.13—20. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.14.13>. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/6918/7024>

14. Марценюк Л.В. Аутсорсинг бізнес-процесів підприємств залізничного транспорту в умовах трансформації економіки. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 15. С. 8—13. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.15.7>. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/7117/7234>

15. Марценюк Л., Бобиль В., Міщенко М., Пікуліна О., Калініченко Л. Прогнозування зносу інфраструктурних об'єктів задля покращення ефективності функціонування підприємств транспортного будівництва. Науковий вісник Одеського національного економічного університету. 2023, № 1—2 (302—303). С. 30—36. DOI:10.32680/2409-9260-2023-1-2-302-303-30-36. URL: <https://visnik.dduvs.in.ua/wp-content/uploads/2023/04/1/1-2023-339-345.pdf>

16. Марценюк Л.В. Важливість збереження економічної безпеки українських залізниць в умовах реформування та відновлення. Науковий вісник ДДУВС. 2023. № 3. С. 26—33. DOI: https://visnik.dduvs.in.ua/wp-content/uploads/2023/10/3/nv_3-2023-26-33.pdf

17. Л. А. Калініченко, М. І. Міщенко, Л. В. Марценюк, В. В. Бобиль, О. В. Пікуліна. Аналіз впливу рухомого складу на інфраструктурні об'єкти, як фактор управління економічною ефективністю діяльності підприємств транспортного будівництва. Інвестиції: практика та досвід. 2023. № 8. С. 76—82. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/1366/1376>. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2023.8.76>

18. 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](https://doi.org/10.20858/tp.2022.17.1.17).

19. Rail passenger hubs. Bobyl, V., Charkina, T., Martseniuk, L., Matusevich, O., Kersys, A. Transport Means — Proceedings of the International Conference, 2019, 2019-October, 999-1003.

20. Марценюк Л.В., Міщенко М.І., Чернова Н.С. Визначення доцільності залучення інвестицій на концесійній основі на залізничному транспорті в Україні. Ефективна економіка. 2020. № 9, С. 4—11. DOI: [10.32702/2306-6806.2020.9.4](https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.9.4) http://www.economy.in.ua/pdf/9_2020/3.pdf

21. Martseniuk L., Dyomin Ye. Formation of the anti-crisis concept of increasing the strategic stability of Ukrzaliznytsia. Scientific Bulletin of Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs. 2021. Special Issue № 1 (113). P. 173—181.

22. Марценюк Л. В., Наливайко Л.Р. Мінімізація юридичних ризиків суб'єктів господарювання як важливий аспект національної безпеки України. Herald of Zaporizhzhia National University. Jurisprudence. 2021. No. 2. С. 11—18. DOI <https://doi.org/10.26661/2616-9444-2021-2-02>. URL: <http://www.law.journalsofznu.zp.ua/archive/visnik-2-2021/2.pdf>

23. Корольов Д.С., Марценюк Л.В. Управління ризиками та можливостями у процесі організаційних змін на підприємствах. Ефективна економіка. 2024. № 12. URL: <https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5327/5380> DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.12.12>

24. Уряд затвердив Національний план з енергетики та клімату до 2030 року. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/uriad-zatverdyy-natsionalnyi-plan-z-enerhetyky-ta-klimatu-do-2030-roku>

25. Концепція "Зеленого енергетичного переходу України" до 2050 року. URL: <https://>

kompek.rada.gov.ua/uploads/documents/30556.pdf

26. Deutsche Bahn тестує сонячні батареї на шпалах. URL: https://cfts.org.ua/news/2022/07/05/deutsche_bahn_testue_sonyachni_batare_na_shpalakh_70904

27. Велика Британія наростила частку вітрової енергії в енергобалансі до 29%. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/velyka-brytaniia-narostyla-chastku-vitrovoi-enerhii-v-enerhobalansi-do-29>

28. Гідроенергетика у 2025 році: що чекає на галузь? URL: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/hidroenerhetyka-u-2025-rotsi-shcho-chekaye-na-haluz

29. Вчені з Японії придумали для акумуляторів неймовірну технологію: що вона може. URL: <https://focus.ua/uk/digital/719374-vcheni-z-yaponiji-pridumali-dlya-akumulyatoriv-neymovirnu-tehnologiyu-shcho-vona-mozhe>

30. Вчені винайшли суперконденсатори: чим вони кращі за звичайні батареї. <https://psm7.com/uk/technology/vcheni-vynajshly-superkondensatory-chym-vony-krashhi-za-zvyčajni-batareyi.html>

31. 10 найшвидших поїздів світу: технології, що перевершують час. URL: <https://kokl.ua/10-najshvydshyh-poyizdiv-svitu-tehnologiyi-shho-perevershuyut-chas/>

32. Китай запустив перший водневий потяг, який розвиває швидкість до 160 км/год, має запас ходу 600 км та 5G-зв'язок. URL: <https://itc.ua/ua/novini/kytaj-zapustyv-vodnevyj-potyag/>

33. Stadler представить водневий і акумуляторний потяги. URL: <https://www.railinsider.com.ua/stadler-predstavyt-vodnevyj-i-akumulyatornyj-potyagy/>

34. Воднева стратегія України на період до 2050 року. URL: <https://www.mev.gov.ua/sites/default/files/field/file/vodneva-strategiya17.05.2024.pdf>

35. Укрзалізниця інвестує 431,4 млрд грн у модернізацію транспорту: деталі стратегії до 2030 року. URL: <https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznytsia-investments-2030/>

36. Укрзалізниця створює нову компанію "УЗ Енерго". URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/632524/

37. Залізниця, електроенергія, зелена енергетика: Словаччина та Україна переходять до фази впровадження. URL: <https://zaholovok.com.ua/zaliznytsya-elektroenerhiya-zelena-enerhetyka-slovachchyna-ta-ukrayina-perekhodyat-do-fazy>

38. Наливайко А. Р., Марценюк А. В. Безбар'єрна Україна: проблеми та перспективи. Нове українське право. 2023. № 4. С. 82—93. DOI: <https://doi.org/10.51989/NUL.-2023.4.11>.

39. Martseniuk L., Kandel B., Kovalenko-Marchenkova Y. Passenger Transport Hubs: Thematic Overview. Philosophy, Economics and Law Review. 2022. Vol. 2. No. 1. P. 76—87. DOI: [10.31733/2786-491X-2022-1-76-87](https://doi.org/10.31733/2786-491X-2022-1-76-87).

40. Martseniuk L., Kandel B., Kovalenko-Marchenkova Y. Directions of integration of railway transport of Ukraine into the European railway network. Philosophy, Economics and Law Review. 2022. Vol. 2. No. 2. P. 96—109. DOI: [10.31733/2786-491X-2022-2-96-109](https://doi.org/10.31733/2786-491X-2022-2-96-109)

References:

1. Martseniuk, L.V. and Shnipov, V. (2024), "Directions of sustainable development of railway transport of Ukraine", *Naukovyj visnyk Dniprovskoho derzhavnogo universytetu vnutrishnikh sprav*, vol. 2, pp. 153—163. <https://doi.org/10.31733/2078-3566-2024-2-153-163>

2. Martseniuk, L.V. and Sydorchuk, A.O. (2024), "Directions for the implementation of the goals of sustainable development of Ukraine in railway transport and adaptation of these goals to the conditions of martial law", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol. 16, pp. 88—97, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/4362/4397> (Accessed 25 July 2025). DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.16.88>

3. Martseniuk, L.V. and Taranenko, A.S. (2025), "Modeling the sustainable development of private industrial enterprises", *Ahrosvit*, vol. 6, pp. 47—55, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/5911/5970> (Accessed 25 July 2025). DOI: [10.32702/2306-6792.2025.6.47](https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.6.47)

4. Panteleeva, I. V. Shmatko, N. M. and Glushko, A. V. (2023), "Types of energy innovations that are developin", *Vcheni zapysky Tavrijs'koho natsional'noho universytetu im. V. I. Vernads'koho. Ser.: Tekhnichni nauky*, vol. 34 (73), no. 4, pp. 129—134, available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/78125> (Accessed 25 July 2025).

5. Mel'nyk, V. O. Martseniuk, L. V. Mischenko, M. I. and Vlasova, O. P. (2019), "Development of scientific and methodical approach to process planning innovation development of railways", *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 2, available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6875> (Accessed 25 July 2025).

6. Martseniuk, L. and Zaporozhets, V. (2020), "Paradigm of innovative development of railway companies", *Ekonomika ta derzhava*, vol. 2, pp. 32—38, available at: http://www.economy.in.ua/pdf/2_2020/8.pdf (Accessed 25 July 2025). DOI: 10.32702/2306-6806.2020.2.32

7. Martseniuk, L. and Grabovska, G. (2020), "Strategy for innovative development passenger companies", *Ekonomika ta derzhava*, vol. 3, pp. 37-41, available at: http://www.economy.in.ua/pdf/3_2020/9.pdf (Accessed 25 July 2025). DOI: 10.32702/2306-6806.2020.3.37

8. Martseniuk, L.V. and Fajfer, S.M. (2025), "A comprehensive approach to creating a business ecosystem of economic security of enterprises of Ukraine in the conditions of the war economy and post-war recovery", *Ahrosvit*, vol.4, pp. 56-63, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/5660/5718> (Accessed 25 July 2025). DOI: 10.32702/2306-6792.2025.4.56

9. Martseniuk, L.V. and Charkina, T.Yu. (2025), "A comprehensive approach to crisis management, taking into account digital management tools", *Ahrosvit*, vol. 8, pp. 23—29, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/6117> (Accessed 25 July 2025). DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.8.23>

10. Martseniuk, L.V. (2025), "Directions for improving business process management of railway transport enterprises in the context of economic globalization", *Ahrosvit*, vol.14, pp. 54—60, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/agrosvit/article/view/6895/7000> (Accessed 25 July 2025). DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.14.54>

11. Charkina, T.Yu. Martseniuk, L.V. and Zadoia, V. (2025), "Digital management as a tool for anti-crisis management of enterprise development", *Review of transport economics and management*, vol. 12(28), pp. 214—223. <https://doi.org/10.15802/rtem2024/328092>

12. Ivanov, M. Martseniuk, L. Angelova, M. and Faifer, S. (2025), "Strategic Risk Management of Digital Transformation in the Economic Security of Industrial Enterprises", *Economics Ecology Socium*, vol. 9, pp. 124—141. <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2025.9.2-9>

13. Martseniuk, L.V. (2025), "Business processes of enterprises in the context of globalization: problems and prospects (using the example of railway transport)", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol.14, pp. 13—20, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/6918/7024> (Accessed 25 July 2025). DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.14.13>

14. Martseniuk L.V. (2025), "Outsourcing of business processes of railway transport enterprises in the context of economic transformation", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol. 15, pp. 8—13. available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/7117/7234> (Accessed 25 July 2025). DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.15.7>

15. Martseniuk, L. Bobyl', V. Mischenko, M. Pikulina, O. and Kalinichenko, L. (2023), "Forecasting the wear and tear of infrastructure facilities to improve the efficiency of transport construction enterprises", *Naukovy visnyk Odes'koho natsional'noho ekonomichnoho universytetu*, vol. 1—2 (302—303), pp. 30—36, available at: <https://visnik.dduvs.in.ua/wp-content/uploads/2023/04/1/1-2023-339-345.pdf> (Accessed 25 July 2025). DOI:10.32680/2409-9260-2023-1-2-302-303-30-36

16. Martseniuk, L.V. (2023), "The importance of maintaining the economic security of Ukrainian railways in conditions of reform and restoration", *Naukovy visnyk DDUVS*, vol. 3 (124), pp. 26—33, available at: https://visnik.dduvs.in.ua/wp-content/uploads/2023/10/3/nv_3-2023-26-33.pdf (Accessed 25 July 2025). DOI: 10.31733/2078-3566-2023-3-26-33

17. Kalinichenko, L.L. Mischenko, M.I. Martseniuk, L.V. Bobyl', V.V. and Pikulina, O.V. (2023), "Analysis of the influence of rolling stock on infrastructure facilities as a factor of management of the economic efficiency of transport construction enterprises", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol. 8, pp. 76—82, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/1366/1376> (Accessed 25 June 2025). DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2023.8.76>

18. Pshinko, O. Charkina, T. Martseniuk, L. and Orlovska, O. (2022), "Hubs as a Key Tool for Improving the Quality of the Service and Development of Multimodal Passenger Traffic", *Transport Problems*, vol. 17, Issue 1, pp. 201—214. DOI: 10.20858/tp.2022.17.1.17.

19. Bobyl, V., Charkina, T., Martseniuk, L., Matusevich, O. and Kersys, A. (2019), "Rail passenger hubs", *Transport Means — Proceedings of the International Conference*, 2019-October, pp. 999—1003.

20. Martseniuk, L., Mishchenko, M. and Chernova, N. (2020), "Determination of the feasibility of attracting investments on a concession basis in railway transport in Ukraine", *Ekonomika ta derzhava*, vol. 9, pp. 4—11, available at: http://www.economy.in.ua/pdf/9_2020/3.pdf (Accessed 25 June 2025). DOI: 10.32702/2306-6806.2020.9.4

21. Martseniuk, L. Dyomin, Ye. and Galushko, O. (2021), "Formation of the anti-crisis concept of

increasing the strategic stability of Ukrzaliznytsia", Scientific Bulletin of Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs, Special Issue 1 (113), pp. 254—262.

22. Nalyvajko, L.R. and Martseniuk, L.V. (2021), "Minimization of legal risks of business entities as an important aspect of national security of Ukraine", Visnyk Zaporiz'koho natsional'nogo universytetu. Yurydychni nauky, vol. 2, pp. 11—18, available at: <http://www.law.journalsofznu.zp.ua/archive/visnik-2-2021/2.pdf> (Accessed 25 June 2025). DOI: <https://doi.org/10.26661/2616-9444-2021-2-02>

23. Korol'ov, D.S. and Martseniuk, L.V. (2024), "Risk and opportunity management in the process of organizational change in enterprises", Efektyvna ekonomika, vol. 12, available at: <https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/5327/5380> (Accessed 25 July 2025). DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.12.12>

24. Ukrainian Energy (2024), "Ukraine has approved the National Energy and Climate Plan", available at: <https://ua-energy.org/uk/posts/uriad-zatverdyyv-natsionalnyi-plan-z-enerhetykita-klimatu-do-2030-roku> (Accessed 15 Aug 2025).

25. Ministry of Energy and Environmental Protection of Ukraine (2020), "The concept of "Green Energy Transition of Ukraine" until 2050", available at: <https://kompek.rada.gov.ua/uploads/documents/30556.pdf> (Accessed 15 Aug 2025).

26. Center for Transport Strategies (2022), "Deutsche Bahn tests solar panels on sleepers", available at: https://cfts.org.ua/news/2022/07/05/deutsche_bahn_testue_sonyachni_batare_na_shpalakh_70904 (Accessed 15 Aug 2025).

27. Ukrainian Energy (2023), "Great Britain increased the share of wind energy in the energy balance to 29%", available at: <https://ua-energy.org/uk/posts/velyka-brytaniia-narostylachastku-vitrovoi-enerhii-v-enerhobalansi-do-29> (Accessed 15 Aug 2025).

28. Ukrhydroenergo (2025), "Hydropower in 2025: what awaits the industry?", available at: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/hidroenerhetyka-u-2025-rotsi-shcho-chekayena-haluz (Accessed 15 Aug 2025).

29. Refahi, I. (2025), "Scientists from Japan have come up with an incredible technology for batteries: what it can do", available at: <https://focus.ua/uk/digital/719374-vcheni-z-yaponijipridumali-dlya-akumulyatoriv-neymovirnu-tehnologiyu-shcho-vona-mozhe> (Accessed 15 Aug 2025).

30. Pay Space (2024), "Scientists have invented supercapacitors: how they are better than

conventional batteries", available at: <https://psm7.com/uk/technology/vcheni-vynajshly-superkondensatory-chym-vony-krashhi-zazvyčajni-batareyi.html> (Accessed 15 Aug 2025).

31. Levchyn, V. (2025), "10 fastest trains in the world: technologies that surpass time", available at: <https://kokl.ua/10-najshvydshyh-poyizdivsvitu-tehnologiyi-shho-perevershuyut-chas/> (Accessed 15 Aug 2025).

32. Dan'shyna, K. (2023), "China has launched the first hydrogen train, which develops a speed of up to 160 km/h, has a range of 600 km and 5G communication", available at: <https://itc.ua/ua/novini/kytaj-zapustyv-vodnevyj-potyag/> (Accessed 15 Aug 2025).

33. Rail.insider (2022), "Stadler will present hydrogen and battery trains", available at: <https://www.railinsider.com.ua/stadler-predstavyt-vodnevyj-i-akumulyatornyj-potyag/> (Accessed 15 Aug 2025).

34. Ministry of Energy of Ukraine (2024), "Hydrogen Strategy of Ukraine for the Period Until 2050", available at: <https://www.mev.gov.ua/sites/default/files/field/file/vodnevastategiya17.05.2024.pdf> (Accessed 15 Aug 2025).

35. Rail.insider (2025), "Ukrzaliznytsia Invests UAH 431.4 Billion in Transport Modernization: Details of the Strategy Until 2030", available at: <https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznytsia-investments-2030/> (Accessed 15 Aug 2025).

36. Ukrzaliznytsia (2024), "Ukrzaliznytsia Creates a New Company "UZ Energo", available at: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/632524/ (Accessed 15 Aug 2025).

37. Zaholovok (2025), "Railways, Electricity, Green Energy: Slovakia and Ukraine Move to the Implementation Phase", available at: <https://zaholovok.com.ua/zaliznytsya-elektroenerhiyazelena-enerhetyka-slovachchyna-ta-ukrayinaperekhodyat-do-fazy> (Accessed 15 Aug 2025).

38. Nalyvaiko, L.R. and Martseniuk, L.V. (2023), "Barrier-free Ukraine": problems and prospects", Nove ukrainske parvo, vol. 4, pp. 82—93. DOI: <https://doi.org/10.51989/NUL.2023.4.11>.

39. Martseniuk, L. Kandel, B.K. and Kovalenko-Marchenkova, Ye. (2022), "Passenger Transport Hubs: Thematic Overview", Philosophy, Economics and Law Review, vol. 2, no. 1, pp. 76—87. DOI: [10.31733/2786-491X-2022-1-76-87](https://doi.org/10.31733/2786-491X-2022-1-76-87).

40. Martseniuk, L., Kandel, B. and Kovalenko-Marchenkova, Y. (2022), "Directions of integration of railway transport of Ukraine into the European railway network", Philosophy, Economics and Law Review, Vol. 2, No. 2, pp. 96—109. DOI: [10.31733/2786-491X-2022-2-96-109](https://doi.org/10.31733/2786-491X-2022-2-96-109)

Стаття надійшла до редакції 25.08.2025 р.