

Светош В. Ю., здобувачка вищої освіти

Науковий парк «Алгоритм інновацій», м. Харків, Україна

ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ, ЯК КЛЮЧ ДО СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Актуальність теми полягає в тому, що глобальні кліматичні зміни, прискорене виснаження природних ресурсів та забруднення довкілля є одними з ключових викликів для світової спільноти. Транспортна галузь, яка спричиняє значну частину світових викидів парникових газів, потребує особливої уваги щодо екологізації. Хоча залізничний транспорт вирізняється вищою енергоефективністю та екологічною безпечністю у порівнянні з автомобільним і авіаційним транспортом, його вплив на довкілля все ще залишається вагомим. Використання дизельних локомотивів, масштабні роботи з будівництва та ремонту інфраструктури, шумове і вібраційне навантаження, а також забруднення ґрунтів і водних об'єктів у зоні залізничних шляхів потребують системних і довгострокових рішень.

Україна володіє однією з найбільших залізничних мереж у Європі, що робить цю сферу стратегічно важливою для економіки та національної безпеки. Водночас лише половина залізничної мережі країни електрифікована, а значна частина рухомого складу є морально застарілою[1]. У сучасних умовах відновлення держави та інтеграції до Європейського Союзу екологізація транспортної інфраструктури постає пріоритетним завданням, від якого залежить рівень енергетичної незалежності, конкурентоспроможності та якості життя населення.

Огляд досліджень. Світова практика демонструє, що залізничний транспорт має найвищий потенціал серед усіх видів транспорту для зменшення викидів CO₂. Дослідження життєвого циклу високошвидкісних залізничних мереж показують, що понад половину екологічного впливу становлять матеріали та енергетичні витрати на будівництво колій, мостів і тунелів[2]. Використання технологій повторної переробки матеріалів, екологічних цементів та сталі зі зниженим вуглецевим слідом здатне суттєво зменшити негативний ефект.

У сфері тяги ключовим напрямом розвитку є водневі поїзди. Сучасні потяги на паливних елементах працюють без прямого викиду шкідливих речовин, а їхня автономність дозволяє уникати дорогих інвестицій у контактні мережі на

малонаселених маршрутах. Паралельно розробляються гібридні технології, де поєднано акумулятори та водневі установки, що підвищує гнучкість перевезень.

Системи рекуперації енергії гальмування сьогодні застосовуються у високошвидкісних поїздах та метрополітенах. Вони дозволяють повертати в електромережу до третини енергії, витраченої на рух поїзда[3]. Ця технологія не лише зменшує вуглецевий слід, а й приносить економічний ефект.

Важливим напрямом розвитку є інтеграція відновлюваних джерел енергії в залізничну інфраструктуру. У багатьох країнах станції та депо обладнуються сонячними та вітровими електростанціями. Це дозволяє забезпечити енергією освітлення вокзалів, системи сигналізації та зарядні станції для електротранспорту.

Міжнародний досвід свідчить про доцільність масштабної електрифікації залізничних колій. Країни ЄС поступово відмовляються від дизельних локомотивів, роблячи ставку на електропоїзди та енергоефективну інфраструктуру. Швейцарія вже електрифікувала 100% залізниць, а Франція, Німеччина та Італія мають показники понад 60%[4].

Основними завданнями дослідження є оцінка чинників негативного впливу залізниці на довкілля, зокрема викидів, шуму, забруднення ґрунтів та вод, вивчення міжнародного досвіду у впровадженні електрифікації, водневих поїздів, гібридних технологій та відновлюваних джерел енергії, аналіз економічних, правових і технологічних механізмів екологізації галузі, а також розробка пропозицій для України щодо модернізації інфраструктури та інтеграції в європейську транспортну мережу.

Аналіз екологічного впливу залізничного транспорту доцільно здійснювати у комплексному вимірі, враховуючи енергоспоживання, особливості будівництва та експлуатації інфраструктури, локальні екологічні проблеми, а також потенціал сучасних технологічних рішень. Однією з ключових проблем є використання дизельних локомотивів, що залишаються основним джерелом викидів вуглекислого газу, оксидів азоту, діоксиду сірки та дрібнодисперсного пилу. Близько половини залізничних ліній України досі не електрифіковано, що зумовлює залежність від дизельного палива та підвищує антропогенне навантаження на довкілля. Для порівняння, у країнах Європейського Союзу понад 60% залізниць електрифіковано, а у Швейцарії цей показник досягнув 100%, що свідчить про реальну можливість відмови від дизельної тяги.

Важливим чинником негативного впливу залізничної галузі є будівництво та ремонт інфраструктури, що супроводжуються значними матеріальними та

енергетичними витратами. За результатами досліджень, 40–60% вуглецевого сліду залізничного транспорту формується саме на етапі зведення та оновлення об'єктів. Використання вторинних матеріалів і впровадження принципів екологічного проєктування дозволяють знизити цей показник на 20–30%. Водночас локальні екологічні проблеми залишаються актуальними: забруднення ґрунтів важкими металами, гербіцидами та залишками паливно-мастильних матеріалів фіксується вздовж залізничних колій, що негативно позначається на стані земельних і водних ресурсів та вимагає запровадження сучасних систем моніторингу й рекультивації.

Суттєвий потенціал для екологізації залізничного транспорту мають інноваційні технологічні рішення. Водневі поїзди, прикладом яких є Alstom Coradia iLint, довели ефективність у досягненні нульових викидів і можуть стати перспективними для малонаселених маршрутів в Україні. Гібридні системи, що поєднують акумуляторні батареї та паливні елементи, забезпечують автономність руху без потреби у контактній мережі. Впровадження технологій рекуперативного гальмування сприяє скороченню витрат електроенергії на 20–30%[5]. Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема встановлення сонячних електростанцій на вокзалах і в депо, зменшує навантаження на централізовану мережу, а цифровізація процесів і автоматизовані системи управління рухом підвищують ефективність перевезень та знижують рівень викидів.

Україна вже здійснює кроки у напрямі екологізації галузі. Відкриття у 2025 році колії європейського стандарту Ужгород–Чоп стало важливим етапом інтеграції у транспортну систему Європейського Союзу [6]. Подальші проєкти зеленої реконструкції передбачають масштабну електрифікацію залізничних ліній, модернізацію вокзалів, оновлення локомотивного парку та впровадження інноваційних технологій. Водночас екологічна модернізація залізничної інфраструктури неможлива без належного правового та економічного забезпечення. Посилення екологічних стандартів у національному законодавстві та фінансова підтримка міжнародних організацій, зокрема UNIDO, ЄБРР та ЄІБ, які спрямовують інвестиції у розвиток транспортної інфраструктури за умови впровадження екологічних рішень, створюють підґрунтя для системних змін.

Таким чином, комплексний аналіз демонструє, що екологізація залізничного транспорту України є не лише технічно можливою, але й економічно та стратегічно доцільною в умовах інтеграції до європейського простору.

Висновок

Залізниця — це транспорт майбутнього, який має потенціал стати основним засобом декарбонізації перевезень. Екологічні технології, такі як електрифікація, водневі поїзди, рекуперація енергії, використання ВДЕ та цифрові системи управління, дозволяють створити екологічно чисту, ефективну та безпечну транспортну систему. Україна має унікальну можливість поєднати модернізацію залізничної інфраструктури з інтеграцією у європейський простір [7]. Реалізація проєктів зеленої реконструкції та масштабне впровадження інновацій допоможуть зменшити залежність від викопних ресурсів, знизити рівень забруднення та зробити українську залізницю рушієм сталого розвитку.

Література

1. Рибіна О. І. Організаційно-економічні основи сталого розвитку залізничного транспорту України. — К., 2013. — С. 164–166.
2. Запорожець О. І., Бойченко С. В., Матвеева О. Л., Шаманський С. Й., Дмитруха Т. І., Маджд С. М. Транспортна екологія : навч. посіб. — Київ : НАУ, 2017. — С. 110–118.
3. Danchenko Y., Bosak P., Shukel I., Popovych V. Railway infrastructure of Ukraine as a factor of soil chemical hazard / Vilnius Tech, 2023. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://vilniustech.lt/files/5100/255/12/3_0/-873.pdf
4. de Bortoli A., Bouhaya L., Feraille A. A life cycle model for high-speed rail infrastructure: environmental inventories and assessment of the Tours-Bordeaux railway in France : arXiv preprint, 2025. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2501.10458>
5. UNIDO. The National Guiding Framework for Standards and Technical Regulations for the Green Reconstruction of Ukraine, 2025. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2025-02/The-National-Guiding-Framework-for-Standards-and-Technical-Regulations-Underpinning-green-reconstruction-of-Ukraine.pdf>
6. EIB. Ukraine opens its first railway line with European track width standard, 2025. <https://euneighbourseast.eu/news/latest-news/ukraine-first-european-gauge-railway-track-opens-with-eu-support/#:~:text=September%20%2C%202025-,Ukraine%3A%20first%20European%20gauge%20railway%20track%20opens%20with%20EU%20support,Chop%20on%20the%20Hungarian%20border.>
7. Хатнюк Ю. А. Поняття та суть екологічної безпеки у діяльності залізничного транспорту в Україні / Львів , 2021. — С. 7–10.