

Секція
**РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРИ УПРАВЛІННІ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ**

УДК 004.89:656.078

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЄС ЯК РОЗВ'ЯЗАННЯ
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ**

**REASONING OF A RATIONAL STRATEGY FOR THE
DECARBONIZATION OF EU RAIL TRANSPORT AS A MULTI-
CRITERION TASK SOLVING**

*д.т.н. В.М. Самсонкін¹, О.В. Роговий¹, к.т.н. О.Г. Юрченко¹,
д.і.н. О.Г. Стрелко¹, д.т.н. Г. Бурейка²*

¹*Національний транспортний університет (Київ)*

²*Вільнюський технічний університет ім. Гедемінаса (Вільнюс)*

*DSc. V. Samsonkin¹, O. Rohovyi¹, PhD O. Yurchenko¹,
DSc. O. Strelko¹, DSc. G. Bureika²*

¹*National Transport University (Kyiv)*

²*Vilnius Gediminas Technical University (Vilnius)*

Декарбонізація залізничного транспорту є одним з пріоритетніших напрямів європейської політики. [1] вимагає скорочення викидів парникових газів і досягнення кліматичної нейтральності.

На сьогодні існує безліч технічних рішень з декарбонізації, які оцінюються за різними критеріями. Прості фінансові розрахунки не здатні адекватно відобразити таку багатокритеріальність, тому використовують методи багатокритеріального прийняття рішень (MCDM).

Визначення стратегії декарбонізації залежить від кількох взаємопов'язаних факторів: структури уявлення статистики альтернатив, кількості критеріїв оцінки, горизонту прогнозування.

Проаналізовано чотири альтернативних технологій декарбонізації, які вже використовуються в ЄС: електрифікація ділянок руху поїздів (EL), локомотиви на водневому паливі (H₂), акумуляторні локомотиви (BAT), дизельні поїзди на біопаливі (B100).

Для кожної з чотирьох технологій на першому етапі дослідження було визначено оцінку життєвого циклу LCA (ISO 14040) за допомогою міжнародної бази даних інвентаризації життєвого циклу (Ecoinvent 3.9) та підходу R&D GREET 2023 (для порівняння та зіставлення повного впливу викидів парникових газів для всіх компонентів життєвого циклу транспортного засобу) [2].

Було розглянуто п'ять критеріїв оцінки альтернатив декарбонізації (екологічний, економічний, капітальний, технічний, соціальний), які отримали вагові коефіцієнти (середні значення з середнє-квадратичним відхиленням) на основі чотирьох актуальних досліджень, наприклад [2]. Вагові коефіцієнти представлені у таблиці 1.

Табл.1. Вагові коефіцієнти критеріїв оцінки альтернатив

Критерій	Опис критерію; показник	ar.mean $\pm$ σ
екологічний	Скільки викидів CO ₂ утворюється на кожну тонно-кілометр перевезення; (↓)	0,30 $\pm$ 0,02
економічний	Середня приведена вартість тягової енергії ; (↓)	0,24 $\pm$ 0,03
капітальний	Початкові капітальні витрати на один поїзд; (↓)	0,18 $\pm$ 0,02
технічний (надійність)	Середній час безвідмовної роботи; (↑)	0,15 $\pm$ 0,02
соціальний	Скільки робочих місць створюється та наскільки технологія підтримується громадськістю; (↑)	0,13 $\pm$ 0,01

де показник (↓) означає «чим менше, тим краще», а (↑) – «чим більше тим краще».

На другому етапі використано метод АНР, в результаті чотири альтернативи декарбонізації було ранжовано по п'яти критеріях. На третьому етапі було розглянуто базовий сценарій методу TOPSIS.

АНР використовується для визначення ваг критеріїв, тоді як TOPSIS ранжує технології на основі їхньої близькості до ідеального рішення та віддаленості від антиідеалу. Такий підхід забезпечує прозоре ранжування.

Остаточний результат дослідження представлений у таблиці 2.

Таблиця 2. Ранжування альтернатив декарбонізації на основі використання підходу LCA $\rightarrow$ АНР $\rightarrow$ TOPSIS

Альтернативи	Відстань до ідеалу	Відстань до анти-ідеалу	Індекс близькості	Остаточний ранг
EL	0,016	0,265	0,942	1
H ₂	0,174	0,114	0,396	2
BAT	0,21	0,074	0,261	3
B100	0,263	0,052	0,164	4

Дані розрахунки підтвердили стратегічний пріоритет електрифікації (EL). BAT є економічно життєздатним для маршрутів до 150 км та не більше двох циклів зарядки акумулятора на день. H₂ має конкуренцію лише при зниженні вартості «зеленого» водню та збільшення вартості інфраструктури при електрифікації більше 30%. Варіант B100 має найнижчий рейтинг завдяки високому впливу на навколишнє середовище та нестабільності цін його сировини.

Дослідження виконано за підтримки проекту PhDs EU-Rail, фінансованого Європейським Союзом та Europe's Rail Joint Undertaking.

- [1] Vashchenko, O.: Decarbonizing Strategy of Ukrainian Transport Sector. Lect. Notes Netw. Syst. 1335, (2024).
[2] Light Duty Vehicle Greenhouse Gas Life Cycle Assessment. https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-07/eere-greet-fact-sheet_july-2024.pdf
[3] Marjani, S.R., et al.: Assessing hydrogen as an alternative fuel for rail transport. Sci. Rep. 15, 6449 (2025).

УДК 656.073:004.94

ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY TO IMPROVE THE RESILIENCE OF MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORTATION IN TRANSPORT AND LOGISTICS CHAINS

канд. техн. наук Є. В. Ходаківська

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Ye. Khodakivska PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Стійкість транспортно-логістичних систем є визначальним чинником ефективності мультимодальних перевезень в умовах нестабільності зовнішнього середовища, зміни конфігурацій маршрутів постачання та зростання вимог до цифрової взаємодії учасників перевізного процесу. Інтеграція транспортної системи України до транс'європейської транспортної мережі (TEN-T) актуалізує питання інтероперабельності, що передбачає узгоджену взаємодію видів транспорту, терміналів та інформаційних систем на основі єдиних технічних і цифрових стандартів. Забезпечення належного рівня стійкості та інтероперабельності є ключовою умовою адаптивності, надійності й енергоефективності транспортно-логістичних ланцюгів.

Аналіз попередніх наукових робіт [1,2,3] показує, що більшість із них зосереджуються на окремих аспектах цифровізації або оптимізації логістичних процесів, проте бракує інтегрованих підходів, які поєднують цифрові двійники, штучний інтелект (AI) і моделі змішаного цілочисельного програмування (MILP) [4, 5]. Це зумовлює необхідність формування єдиної методології, здатної забезпечити комплексне управління стійкістю мультимодальних перевезень у цифровому середовищі.

Метою дослідження є формування системної технології управління стійкістю та інтероперабельністю мультимодальних вантажних перевезень, що забезпечує цифрову інтеграцію учасників транспортно-логістичних ланцюгів. Запропоновано гібридну оптимізаційну модель, яка поєднує технології цифрових