

УДК 621.331

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Д-р техн. наук О. М. Ананьєва, магістр О. В. Червенко

ANALYSIS OF ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY METHODS AND THEIR IMPLEMENTATION ON UKRAINIAN RAILWAYS

Dr. Sc. (Tech.) O. Ananieva, master's O. Chervenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320789>



Анотація. У зв'язку зі зростаючою глобальною увагою до скорочення споживання енергії та викидів вуглекислого газу залізничний транспорт визнано критично важливою сферою для впровадження енергоефективних технологій. Українські залізниці, як важливий компонент національної транспортної системи, стикаються з проблемами, пов'язаними із застарілою інфраструктурою, енергоємними операціями та обмеженою інтеграцією сучасних енергозберігаючих рішень. У статті розглянуто шляхи підвищення енергоефективності та використання енергозберігаючих технологій на залізницях України. Було порушено питання деяких поточних проблем, такі як надмірна залежність від дизельних локомотивів, недостатня електрифікація та використання застарілих технологій, які не є екологічно чистими. Ряд прикладів із Японії, США та Австралії також розширюють практику енергоефективних заходів, включаючи використання гібридних поїздів, систем відновлення енергії та екостанцій. Основна увага дослідження зосереджена на визнанні важливості зміни застарілих структур і використанні сучасних технологій для скорочення викидів парникових газів, зловживання ресурсами та загального підвищення ефективності. Серед обговорюваних заходів – газові електростанції, відновлювані джерела енергії та поїзди на акумуляторних батареях, переваги і рентабельність яких можуть викликати зацікавленість для подальшої реалізації.

Ключові слова: енергоефективність, електрифікація, екологічно чистий транспорт, дизельні локомотиви, гібридні поїзди, відновлювана енергетика, декарбонізація, енергозберігаючі технології, вплив на навколишнє середовище.

Abstract. Due to the growing global focus on reducing energy consumption and carbon dioxide emissions, rail transport has been recognised as a critical area for the introduction of energy efficient technologies. Ukrainian railways, as an important component of the national transport system, face challenges related to outdated infrastructure, energy-intensive operations, and limited integration of modern energy-saving solutions. The article discusses ways to improve energy efficiency and use of energy-saving technologies on Ukrainian railways. Some of the current problems, such as over-reliance on diesel locomotives, insufficient electrification and the use of outdated technologies that are not environmentally friendly, were raised. A number of examples from Japan, the US and Australia are also expanding energy efficiency practices, including the use of hybrid trains, energy recovery systems and eco-stations. The focus of the article is on recognising the importance of changing outdated structures and using modern technologies to reduce greenhouse gas emissions, resource misuse and overall efficiency. Among the measures discussed are gas-fired power plants, renewable energy sources and battery-powered trains, the benefits and cost-effectiveness of which may be of interest for further implementation. The article underscores the importance of integrating

energy efficiency into the strategic development plans for Ukrainian railways. By adopting a holistic approach that combines technological innovation, policy support, and workforce training, the railway sector can achieve significant energy savings and contribute to Ukraine's broader sustainability goals. The findings suggest that these measures not only enhance operational efficiency but also strengthen the competitiveness of Ukrainian railways in the regional and global transportation markets.

Keywords: *Energy efficiency, electrification, clean transport, diesel locomotives, hybrid trains, renewable energy, decarbonization, energy-saving technologies, environmental impact.*

Вступ. Україна, як і багато інших країн, запровадила низку заходів для заохочення практики енергозбереження в залізничному секторі з метою мінімізації високих експлуатаційних витрат і впливу на навколишнє середовище. Залізниці споживають значну кількість енергії через складну мережу різного роду структур і потребу в постійних і безперервних послугах як у сфері перевезень, так і безпосередньому забезпеченні надійної та безпечної експлуатації рухомого складу, систем ЗАТ тощо. Як наслідок, запровадження функцій енергозбереження в залізничній системі може допомогти зменшити залежність від невідновлюваних джерел енергії, а також допомогти їй досягти інших цілей екологічної стійкості. У статті проаналізовані заходи та підходи щодо використання енергозберігаючих технологій на залізницях деяких країн Європи та Азії. Дослідження сфокусовано на тому, як інновації, пов'язані з енергетикою, технології, що включають відновлювані ресурси, і розробки в цифровому секторі можуть сприяти трансформації української залізничної системи, а також зробити її більш надійною, економічно ефективною і стійкою.

Постановка проблеми. Енергоефективність і сталість залишаються гострими проблемами для українських залізниць, які є невід'ємною складовою національної транспортної інфраструктури. Високе споживання енергії в поєднанні зі збільшенням операційних витрат і залежністю від традиційних джерел призводить до економічної та екологічної перспективи, яка може стати на заваді

довгостроковій життєздатності та конкурентоспроможності залізничного сектору. Без цілеспрямованих зусиль з енергозбереження залізниці ризикують збільшити свою енергетичну залежність і вплив на навколишнє середовище всупереч глобальним кліматичним цілям і зобов'язанням країни щодо сталого розвитку. У статті розглянуто нагальну потребу в переході на більш сучасні рішення з енергоефективності, які б допомогли зменшити споживання енергії, скоротити викиди і дати змогу створити більш перспективну систему постачання електроенергії до різних ланок залізниці.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання енергозбереження та енергоефективності дійсно є актуальним і пріоритетним завданням для залізничної інфраструктури. У статті [1] автори проаналізували споживання різного роду палива залізницею в різні періоди, починаючи з 1991 року, відносно об'ємів вантажних і пасажирських перевезень, а також виконали аналітичні дослідження щодо державних програм про енергозбереження. Автори статті [2] проаналізували питання енергозбереження на рухомому складі в метрополітені. За ухваленими рішеннями у процесі аналізу можна зробити висновок, що методи підвищення енергоефективності локомотивів, такі як впровадження систем рекуперації, накопичення енергії та інші, де-факто є вирішальними пунктами забезпечення зменшення споживання електроенергії та інших видів палива на тягу поїздів.

Мета. Метою дослідження є аналіз сучасних способів і методів досягнення

кращих показників енергозбереження та енергоефективності серед різних елементів структури залізниці у країнах Європи та Азії і доведення доцільності їх впровадження в залізничну систему України.

Викладення основного матеріалу дослідження. Українська залізнична система є однією з найбільших у Європі, довжина якої складає більше 22 тис. км, із яких 10 тис. є електрифікованими, – майже 48 % загального значення всіх шляхів сполучень [3, 4]. Більша частина залізничних ліній залишається без електрифікації, що призводить до значного використання тепловозів і дизель-поїздів. За

рік «Укрзалізниця» споживає близько 440 тис. т дизельного пального (у т. ч. на тягу 370 тис. т), щодобово на екіпірування близько 840 тепловозів витрачають 1200-1250 т (у т. ч. 1130 т на тягу поїздів) [5].

Як можна побачити зі статистики «Укрзалізниці» [3] щодо кількості наявних одиниць локомотивів у парку (рис. 1), тенденція впровадження саме рухомих одиниць, джерелом енергії яких є електроенергія, має не дуже виражений характер розвитку – тепловози на дизельному пальному досі залишаються серед лідерів.

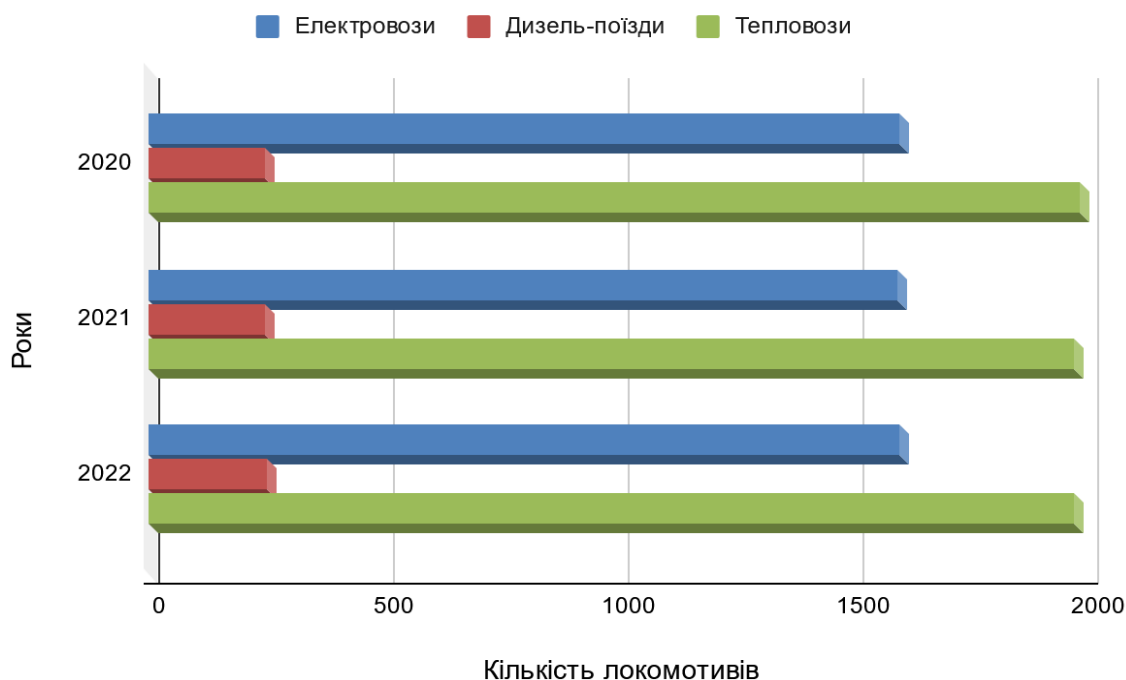


Рис. 1. Порівняння кількості локомотивів від їхнього виду в парках АТ «Укрзалізниця»

Тепловози були винайдені як заміна застарілим локомотивам на паровій тязі, ККД яких приблизно дорівнював 5-10 %, що є дуже малим показником. Із впровадженням тепловозів, двигуни яких переважно працюють на дизельному пальному, цей показник вдалося підвищити в чотири-п'ять разів. Конструкція дизельного двигуна є відносно простою, а можливість локомотива рухатися за будь-

яких навколишніх умов робить його універсальною і в той час важливою одиницею в галузі організації перевезень на залізниці. Водночас електровози потребують безперервного джерела живлення у вигляді повітряної контактної мережі. Також слід зазначити, що затрати на прокладання такої лінії довжиною 5 км еквівалентно вартості нового тепловоза.

Проте тепловози мають один серйозний недолік за впливом на навколишнє середовище – це викид відпрацьованих газів в атмосферу. Ця проблема дійсно є актуальною, по-перше, через інтенсивну експлуатацію саме через їхню універсальність; по-друге, більшість тепловозів і схожі на них машини не мають у своєму складі так званих каталізаторів, тобто відсутня можливість фільтрації або переробки цих газів.

Для зменшення їхньої кількості необхідно зменшити подавання пального у двигун – провести оптимізацію пропускну системи. Як приклад, тепловоз ТЕ10 має дуже великий показник витрат пального, майже 50 % якого відправляється назовні. Тому постало питання про зменшення такого впливу шляхом запровадження спеціальних заходів і технологій, що дають змогу скоротити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Декарбонізація – це процес зменшення викидів вуглекислого газу (CO_2) в атмосферу, який є основним фактором зміни клімату. Витрати пального (зокрема викопного палива – нафта, газ, вугілля) безпосередньо впливають на рівень викидів CO_2 . Якщо систему витрат пального використовують для моніторингу, оптимізації та зменшення витрат (наприклад через ефективніші технології чи стратегії управління), це може сприяти декарбонізації, оскільки зменшення витрат пального зазвичай означає й зменшення викидів парникових газів.

З плином часу було розроблено та впроваджено декілька таких систем, що здатні здійснювати контроль за витратами дизельного пального, аналізувати ефективність його використання та ін. Однією з таких є «БІС-Р» – це мікропроцесорна система контролю витрат пального тепловозів. Програмне забезпечення системи дає змогу отримати візуальний звіт про витрати пального та проаналізувати роботу тепловоза, а також накопичувати і

архівувати всі дані, отримані системою. Приклади даних і звітів показані на рис. 2.

Робота системи заснована на безперервному контролі витрат пального відповідно до вимірної потужності, що розвиває дизель-генераторна тягова установка. Станом на 2011 рік встановлено 929 систем «БІС-Р» у серії тепловозів ЧМЕЗ [3].

Також можна виділити ще одну систему контролю показників роботи тепловоза (СКПРТ) – «Дельта-СУ». Її функційні можливості ефективного використання пального включають:

- динаміку фактичної кількості пального в баку тепловоза;

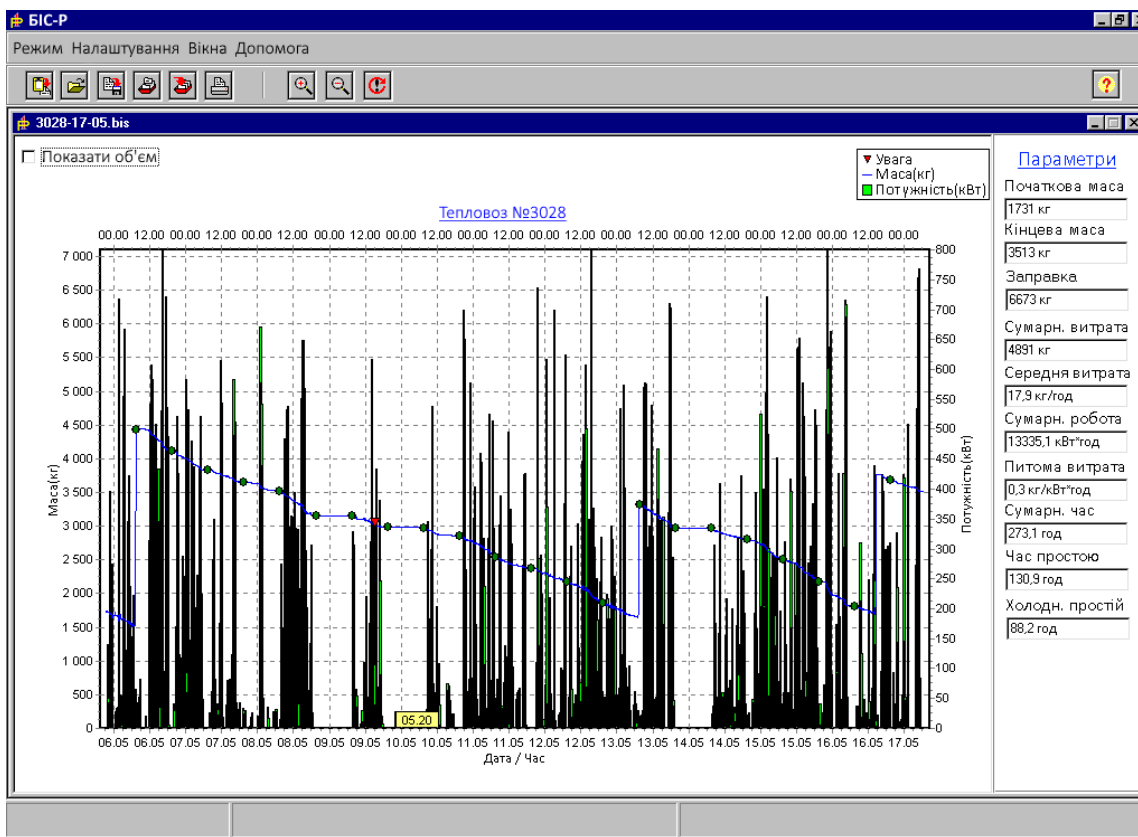
- визначення фактичних витрат дизельного пального та порівняння їх із розрахунковими [7];

- автоматизацію передавання залишків пального в баку між змінами локомотивних бригад, виключивши в обліку витрат пального «людський» фактор та унеможлививши нецільове використання пального на локомотиві;

- перегляд чинних норм і розроблення коректної системи нормування витрат пального маневровими тепловозами з урахуванням виконаної роботи, режимів роботи протягом зміни та реального технічного стану конкретних локомотивів.

Отже, використання таких систем може бути частиною декарбонізаційних заходів, якщо їх інтегрувати в більш широкі стратегії скорочення викидів парникових газів.

Ще одним методом збереження енергії, винайденим паралельно з впровадженням електрифікованого транспорту, є використання ефекту рекуперації – процесу відновлення енергії, яка у звичайних умовах втрачається, і її повторне використання. Основний принцип рекуперації полягає в перетворенні надлишкової енергії, що виділяється в ході роботи систем, у корисну форму, яка може бути використана повторно. На транспорті, у тому числі і залізничному, цей метод частіше за все використовують у гальмівних системах.



а

АСУ БІС-Р

е: тепловоз №3028 18.04.06 15:15

Дата	Зміна	Небезпеці	Час роботи (год)	Маневри (год)	Простій (год)		Отримано (кг)	Здано (кг)	Заправка (кг)	Витрата (кг)	Середній (кг/год)	Робота (кВт*год)	Примітки
					Загальний	Холодн.							
06.05.06	07:30-19:30		12,0	6,9	5,1	2,6	4425	4107	0	318	26,5	1113	
06.05.06	19:30-07:30		12,0	8,4	3,6	1,5	4107	3836	0	271	22,5	698	
07.05.06	07:30-19:30		12,0	6,0	6,0	2,8	3836	3654	0	182	15,1	410	
07.05.06	19:30-07:30		12,0	3,2	8,8	4,8	3654	3513	0	141	11,8	313	
08.05.06	07:30-19:30		12,0	8,3	3,7	1,7	3513	3151	0	362	30,1	1132	
08.05.06	19:30-07:30		12,0	0,1	11,9	11,9	3151	3151	0	1	0,1	0	
09.05.06	07:30-19:30		12,0	6,2	5,8	3,3	3155	2980	0	174	14,5	350	
09.05.06	19:30-07:30		12,0	0,1	11,9	11,0	2980	2975	0	5	0,4	0	
10.05.06	07:30-19:30		12,0	4,5	7,5	6,4	2977	2858	0	118	9,9	306	
10.05.06	19:30-07:30		12,0	9,1	2,9	0,6	2858	2539	0	319	26,5	988	
11.05.06	07:30-19:30		12,0	6,6	5,4	4,7	2547	2376	0	171	14,2	420	
11.05.06	19:30-07:30		12,0	6,8	5,2	3,6	2376	2173	0	204	16,9	462	
12.05.06	07:30-19:30		12,0	9,6	2,4	0,7	2173	1864	0	309	25,7	839	
12.05.06	19:30-07:30		12,0	8,6	3,4	1,6	1864	3318	1670	216	18,0	445	
13.05.06	07:30-19:30		12,0	9,1	2,9	1,1	3318	2962	0	356	29,6	1196	
13.05.06	19:30-07:30		12,0	0,1	11,9	11,9	2962	2963	0	0	0,0	0	
14.05.06	07:30-19:30		12,0	8,3	3,7	1,8	2964	2801	0	163	13,6	359	
14.05.06	19:30-07:30		12,0	9,2	2,8	1,3	2801	2510	0	291	24,2	919	
15.05.06	07:30-19:30		12,0	7,9	4,1	2,1	2509	2179	0	330	27,5	998	
15.05.06	19:30-07:30		12,0	5,0	7,0	3,0	2178	1806	0	372	30,9	1025	
16.05.06	07:30-19:30		12,0	7,6	4,4	2,4	1807	3678	2065	194	16,1	434	
16.05.06	19:30-07:30		11,0	5,2	5,8	3,3	3678	3513	0	165	14,9	380	
УСЬОГО	Дата	Час роботи (год)	Маневри (год)	Простій (год)		Отримано (кг)	Здано (кг)	Заправка (кг)	Витрата (кг)	Середній (кг/год)	Робота (кВт*год)	Примітки	
	Початк.	Кінцев.		Загальний	Холодн.								
	06.05.06	16.05.06	263	137	126	84			3735	4662	17,7	12787	

Стр. 1/1

б

Рис. 2. Інтерфейс АСУ «БІС-Р»: а – діаграма; б – таблиця

Рекуперація енергії під час гальмування означає, що замість того, щоб перетворювати кінетичну енергію рухомого транспорту в теплоту (що є характерним для традиційних гальм), цю енергію перетворюють в електричну і передають назад у мережу або використовують для живлення самого транспортного засобу.

Прикладом є локомотив під час скочування з гірки, електродвигуни якого починають працювати в режимі генератора, вироблюючи електроенергію, що передається через контактну мережу або іншим локомотивам (рис. 3), або в загальну енергосистему через тягові підстанції.

Це знижує потребу в додатковій енергії, зменшує витрати пального, а також зменшує рівень викидів вуглекислого газу.

Україна займає 14 місце у світі за кількістю електрифікованих ліній на залізницях. З початку років незалежності

для зменшення залежності від невідновлюваних джерел енергії почали розробляти різні програми розвитку залізниць з переходу на тягу постійного або змінного струму. Так, у 1993 році була затверджена програма електрифікації на найближчі 10 років (1994-2004). Проект передбачав переведення на електротягу більше 2000 км. Результати виконання за окремими філіями показані на рис. 4.

У 2005 році був затверджений аналогічний проект на 2005-2008 роки. Із запланованих 875 км загальної довжини електрифікованих ліній вдалося здійснити тільки 303 км.

Наприкінці 2007 року впроваджують нову програму електрифікації на 2008-2020 роки. У планах було електрифікувати більше 2,2 тис. км залізниць. Але у 2015 році були внесені деякі корективи у вигляді зменшення цього показника до 838 км [6].

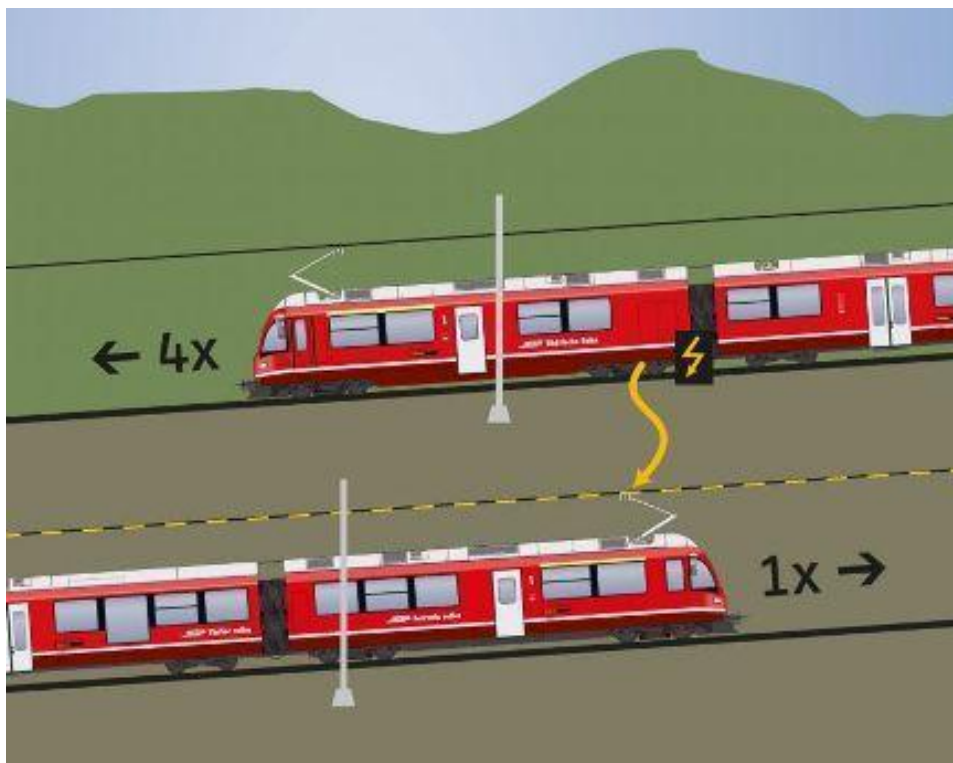


Рис. 3. Принцип передавання електроенергії від одного електропоїзда до іншого методом рекуперативного гальмування

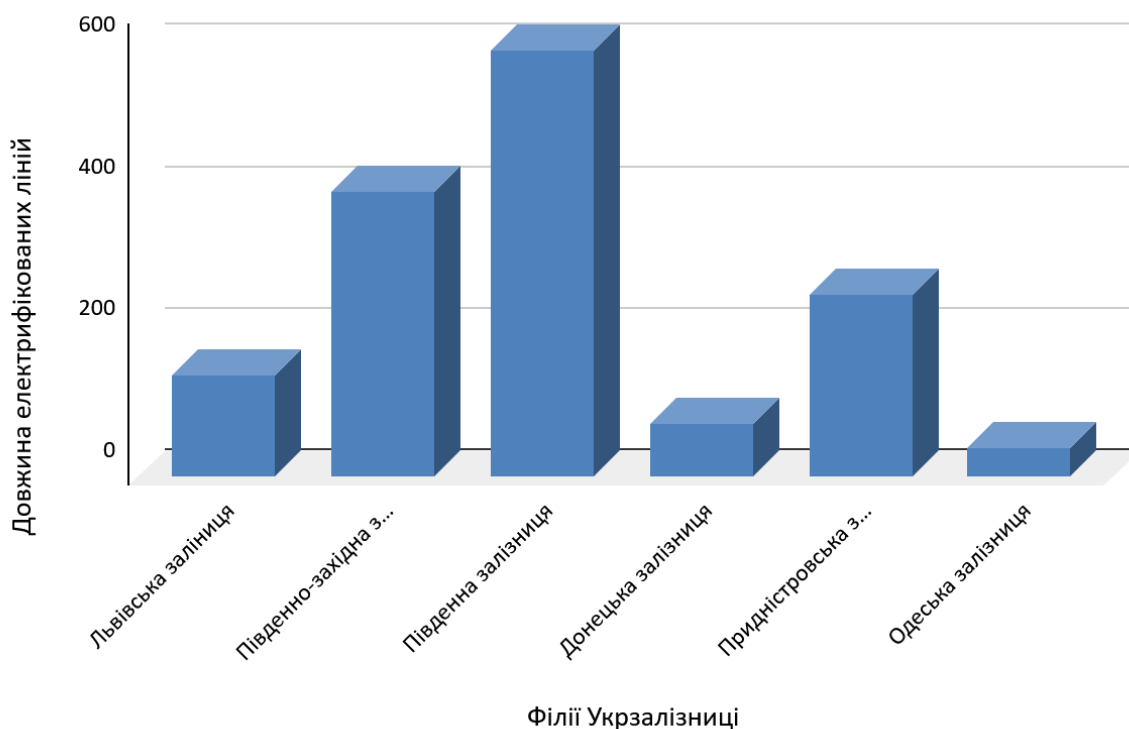


Рис. 4. Довжини залізничних ліній, що були електрифіковані в період 1994-2004 років

Серед проєктів зі створення більш екологічного джерела електроенергії, ніж що є зараз, АТ «Укрзалізниця» оголосила про плани створення газових електростанцій потужністю 250 МВт за теперішнього споживання 300 МВт. Така станція могла б частково забезпечити потреби залізничної критичної інфраструктури та споживачів в Україні [8]. Слід зазначити, що такі станції мають удвічі більший ККД, ніж теплові електростанції, але все ж таки поступаються АЕС із показником 80 %. Єдина проблема атомних станцій – це наявність у своєму складі радіоактивних елементів і матеріалів, що з порушенням нормальної роботи компонентів може призвести до їх викиду в навколишнє середовище.

Щодо рішень у таких країнах, як Сполучені Штати Америки та країни Азії, то там використовують більш широкий підхід до вирішення цієї проблеми у сфері

співіснування залізниць і природи. У Японії на залізницях JR East було впроваджено 10 екостанцій. У 2018 році завдяки сонячним і вітровим електростанціям було вироблено та спожито на станціях і депо більше 2 ГВт електроенергії, сумарно виробляючи 18,4 ГВт на рік. У межах станції було здійснено заміну всіх освітлювальних пристроїв на світлодіодні, оптимізовано систему вентиляції та кондиціонування повітря в підземних секціях станцій Токіо та Уено, що допомогло скоротити споживання енергії на 1,15 ГВт. Використання датчиків руху та інтелектуальних систем управління для автоматичного ввімкнення освітлення та кондиціонування також є дієвим рішенням щодо збереження енергії – відповідні елементи системи активні лише тоді, коли є необхідність. Приклад концепту екостанції Йоцуя (Токіо) зображений на рис. 5.

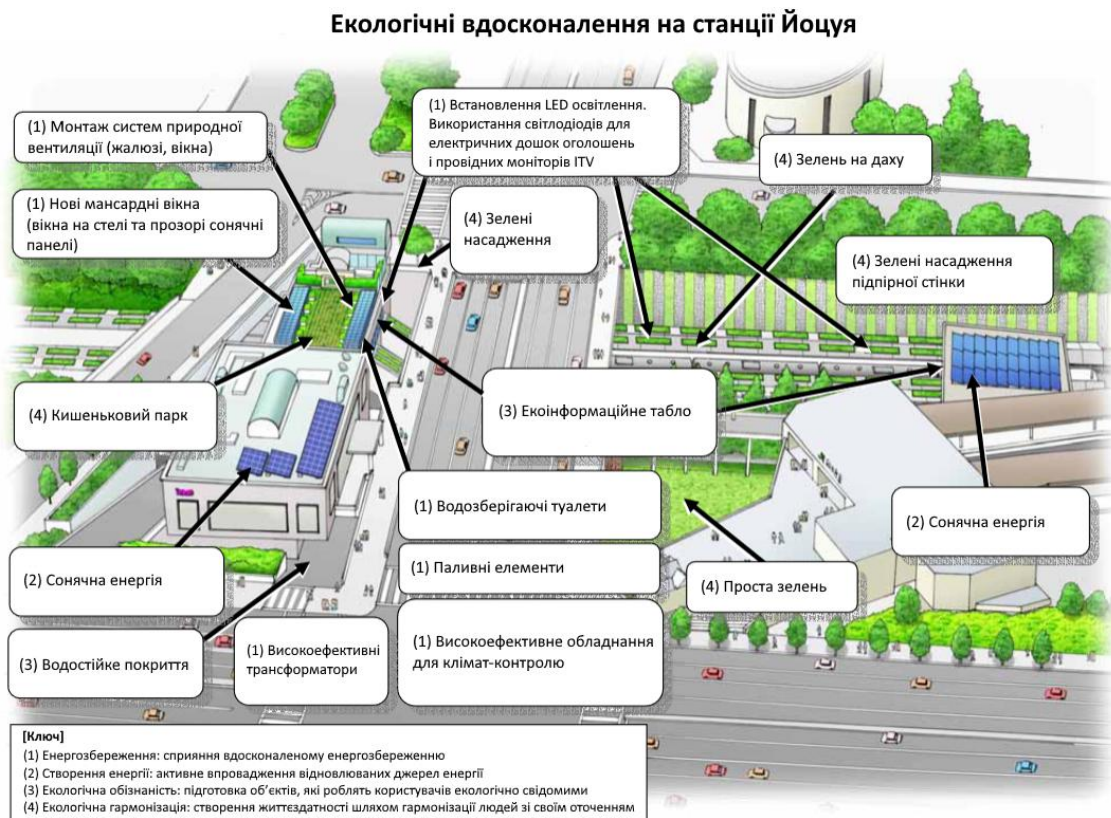


Рис. 5. Концепт впровадження екологічних складових на станції Йоцзя

Щодо рухомого складу, то в Тайвані шляхом встановлення рекуперативних систем вдалося зберегти близько 6,3 ГВт електроенергії за рік. У тягову частину локомотивів були впроваджені нові спеціальні схемні рішення на основі біполярних транзисторів.

З 2018 року понад 98 % вагонного парку JR East складається з вагонів нового покоління високої енергоефективності і функціями рекуперативних гальм і тягових інверторів із системами змінної напруги. Серія E200 – перші у світі гібридні вагони з дизельним і електричним двигуном – запущені в експлуатацію на лінії Коумі в липні 2007 року. Це призвело до зниження споживання палива на 10 % і значних переваг у плані зниження рівня шуму.

У США дослідження Агур у 2015 році для організації швидкого транзиту Bay Area Rapid Transit (BART) виявило можливості для таких систем, як сонячні

фотоелектричні установки та акумуляторні батареї. Дослідження показало, що ці системи можуть забезпечувати від 10 до 34 % енергії, використовуваної для тягової потужності поїздів і залізничних споруд, зменшуючи витрати, скорочуючи викиди та підвищуючи стійкість [9].

Як перспективний вид палива можна виділити біопаливо – це такий вид палива, що виробляють із продуктів життєдіяльності організмів, тваринної або рослинної сировини тощо. Найбільша американська залізнична компанія Union Pacific для заправки своїх локомотивів почала використовувати 100 % відновлюване паливо на верфі в Колтоні, штат Каліфорнія, і продовжить тестувати ефективність UltraClean Blend протягом наступних кількох років. UltraClean Blend – це суміш PuriD і VelociD, що складається з 80 % відновлюваного дизельного пального та 20 % біодизелю [10].

Ще більш цікавою концепцією є поїзди з бортовим джерелом живлення – акумуляторною батареєю. Такі поїзди зменшують викиди вуглецю в атмосферу та рівень шуму, знижують витрати на технічне обслуговування і забезпечують гнучкість електрифікації, мінімізуючи різного виду перешкоди під час модернізації. Будучи модифікованою технологією з потенціалом для початку з малого та масштабування пізніше, це очевидний екологічний вибір для декарбонізації.

Однією з компаній, що займається розробленням і створенням таких тягових рухомих одиниць, є Hitachi Rail. Вони впроваджують гібридні, напівдизельні або «full-battery» поїзди різних категорій – від трамваїв до поїздів міжрегіонального призначення, Intercity та ін.

Перший варіант забезпечує покращену продуктивність у всьому автопарку – нижчий викид CO₂, скорочений час у дорозі та збільшений запас ходу завдяки гнучкій масштабованій ємності акумулятора. Ці потяги з батарейним живленням, здатні рухатися як на електрифікованих, так і неелектрифікованих залізничних лініях, пропонують більшу гнучкість для управління парком на регіональних лініях, практично не впливаючи на залізничну інфраструктуру [11].

Другий вид – застосування технології «full-battery», тобто живлення відбувається тільки через внутрішню батарею. Такі поїзди на акумуляторних батареях можуть долати 70 км на неелектрифікованих лініях, працюючи на міжміських швидкостях із тією самою або збільшеною продуктивністю. Підзарядження батареї здійснюється за рахунок контактної мережі, або за її відсутності – через рекуперативне гальмування. Вони експлуатовані вже в деяких країнах Європи – Великобританії та Італії.

В Австралії знаходиться одна з найбільш протяжних та енергоємних залізничних мереж. Декарбонізація цього сектору – складний процес з огляду на жаркий клімат і великі відстані між станціями. Дизельні локомотиви, як і в багатьох країнах світу, залишаються основою, але перехід до нових технологій декарбонізації є перспективним напрямом зниження викидів парникових газів.

Дослідження Університету Квінсленду та Aurizon [12] сфокусовані на створенні локомотивів, здатних перевозити великий об'єм вантажу на значні відстані (рис. 6). Проблеми включають значну вагу батарей і потребу в ефективній системі охолодження. Одним із рішень є використання рекуперативного гальмування, яке дає змогу повертати частину енергії назад у систему, знижуючи загальні витрати енергії.



Рис. 6. Структура електричного акумуляторного локомотива (модифікований BNSF)

Що стосується охолодження, то існує проблема, яка дуже сильно впливає на нормальну роботу акумуляторної батареї, – це температура навколишнього середовища: у випадку занадто низького значення ККД батареї стрімко зменшується, тобто погіршується здатність віддавати енергію. Під час спеки відбувається її нагрів, що зменшує термін служби, а в екстремальних умовах може призвести до пожежі.

Це завдання виявляється дедалі складнішим, оскільки для живлення такого роду машин необхідна велика кількість електроенергії, результатом чого є великий об'єм акумулятора. Залежно від положення центральні батареї мають тенденцію до більш швидкого деградування, ніж ті, що розташовані зовні. Крім того, на загальну вагу та об'єм батарейного відсіку також суттєво впливає включення систем охолод-

ження, що у кінцевому результаті складає приблизно 10 т. Такі системи теж створюють додаткові витрати електроенергії – 10-20 % загальної кількості споживаної енергії локомотива, що за суворих умов експлуатації може призвести до збиткових, а іноді й катастрофічних наслідків.

Оптимальні параметри батареї визначені конструкцією та її хімічними властивостями. Так, більшість виробників автомобілів використовують акумуляторні елементи з хімічним складом NMC (LiNiCoMnO_2). Компанія Tesla розробила власну унікальну хімію, відому як NCA (LiNiCoAlO_2). Для підвищення безпеки та довшого терміну служби виробники елементів впроваджують структуру LFP (LiFePO_4) або LTO ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). [12] Їхні порівняльні характеристики подані у вигляді діаграми на рис. 7.

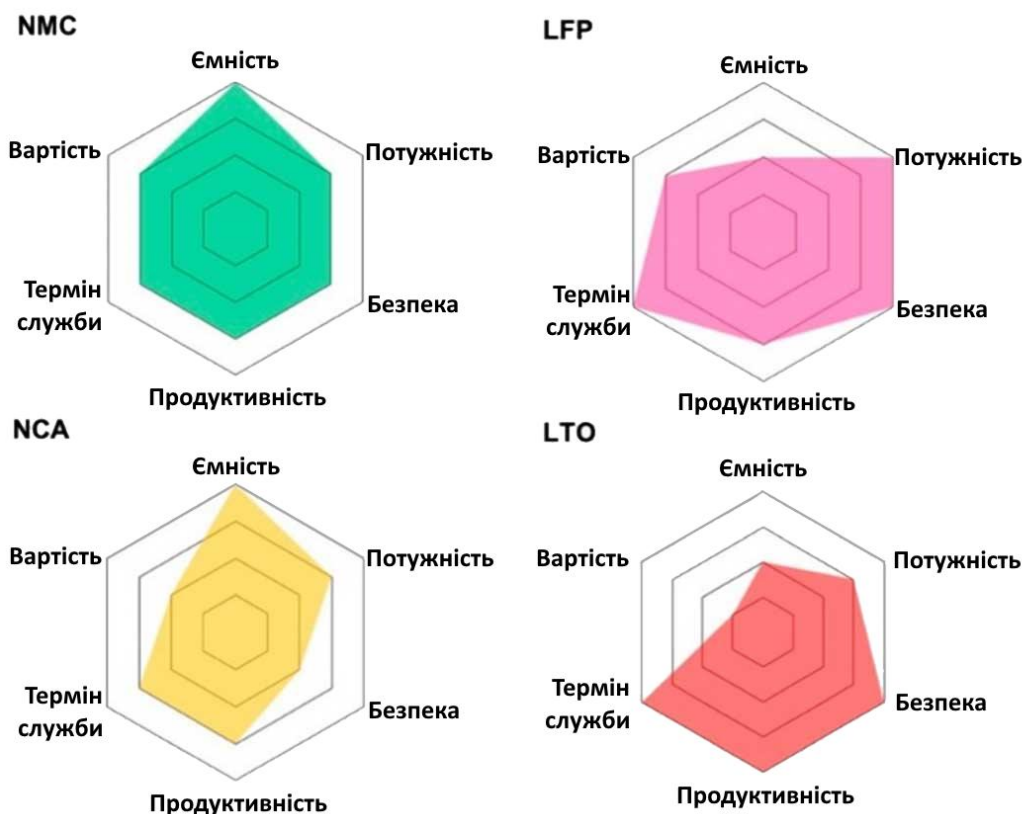


Рис. 7. Порівняння акумуляторних батарей із різною хімічною структурою за основними якісними та кількісними показниками

Висновки. Упровадження розглянутих методів використання енергії на залізницях України щодо модернізації або створення нових об'єктів (станцій, локомотивів тощо) дає великі можливості заощадити природні та економічні ресурси. Звісно, існує проблема залучення інвестиційних коштів для реалізації

подібних проєктів – великі початкові вкладення. Однак, досягши їх впровадження в різні елементи залізничної системи, це дасть змогу в десятки, а то і сотні разів скоротити витрати невідновлюваних джерел енергії, замінивши їх більш гнучкими та екологічними аналогами.

Список використаних джерел

1. Малишко І. В., Малишко Л. І., Пилипенко Л. В., Романко В. І. Споживання електроенергії та енергозбереження на залізничному транспорті України. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2006. № 12. С. 245-248. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2006/18880> (дата звернення: 16.11.2024).
2. Аналіз питань енергозбереження та енергоефективності під час експлуатації рухомого складу метрополітену / А. В. Донченко, А. О. Сулим, О. С. Сіора та ін. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2016. № 3(63). С. 108-119. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74732> (дата звернення: 16.11.2024).
3. Залізничний транспорт. Міністерство розвитку громад та територій. URL: <https://mtu.gov.ua/timeline/Zaliznichniy-transport.html> (дата звернення: 16.11.2024).
4. Залізничний транспорт України. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Залізничний_транспорт_України (дата звернення: 16.11.2024).
5. У 2011 році Укрзалізниця заощадила понад 2,7 тис. тон дизельного пального: прес-центр «Укрзалізниця». URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/latest_news/archive/main_2011/page-46/306346/ (дата звернення: 16.11.2024).
6. Електрифікація залізниць України за роки незалежності. СПП «КВАЗАР». URL: <https://kvazar.com.ua/uk/novosti-ua/225-elektrifikatsiya-zalznitsi-nezalezhnoji-ukrajini> (дата звернення: 16.11.2024).
7. Тези доповідей за матеріалами восьмої науково-практичної міжнародної конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України». *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2012. № 38. С. 1-148. URL: <https://ideas.repec.org/a/scn/031720/15103863.html> (дата звернення: 16.11.2024).
8. «Укрзалізниця» планує будівництво газової генерації потужністю 250 МВт». *Forbes*. 2024. URL: <https://forbes.ua/news/ukrzalznitsya-planue-pobuduvati-elektrogeneratsii-na-250-mvt-06062024-21616> (дата звернення: 16.11.2024).
9. How can we achieve an energy efficient railway? ARUP. URL: <https://www.arup.com/insights/how-can-we-achieve-an-energy-efficient-railway/> (дата звернення: 18.11.2024).
10. UP Crossing into a Lower-Carbon Future. Chevron Renewable Energy Group. URL: <https://www.regi.com/resources/case-studies/crossing-into-a-lower-carbon-future-1> (дата звернення: 18.11.2024).
11. Battery Powered Trains. Hitachi Rail. URL: <https://www.hitachirail.com/products-and-solutions/battery-powered-trains/> (дата звернення: 18.11.2024).

12. Decarbonising Australian railway fleets with batteries. The University of Queensland.
URL: <https://mechmining.uq.edu.au/article/2022/02/decarbonising-australian-railway-fleets-batteries> (дата звернення: 20.11.2024).

Ананьєва Ольга Михайлівна, доктор технічних наук, професор кафедри автоматичного та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.
E-mail: ananeva@kart.edu.ua. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>.

Червенко Олександр Володимирович, магістр кафедри автоматичного та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.
E-mail: aleksandr.4ervenko@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7936-8282>.

Ananieva Olha, Dr. Sc (Tech.), Professor of the Department of Automation and computer telecontrol of trains, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: ananeva@kart.edu.ua.
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>.

Chervenko Oleksandr, master's of Department of Automation and computer telecontrol of trains, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: aleksandr.4ervenko@gmail.com.
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7936-8282>.

Статтю прийнято 12.12.2024 р.