

**SELECTION OF RATIONAL SCHEMES FOR LOADING
SOFT CYLINDER-SHAPED CONTAINERS
INTO CARGO COMPARTMENTS OF VEHICLES**

The paper considers issues related to containerization of cargo transportation. Containers of various designs are widely used today in technological processes of transporting large quantities of cargo. They constitute a separate type of transport equipment with established technical characteristics and equipment for mechanized performance of reloading operations. The use of containers increases the efficiency of both the transport process and cargo and warehouse operations. One of the promising areas for improving technologies for delivering bulk materials is the introduction of various soft containers into logistics schemes for supplying products. Such packaging is economically feasible, especially in conditions of temporary storage and transportation of large batches of bulk cargo. The features of using soft containers as a promising type of transport equipment in technologies for delivering bulk and bulk cargo are considered. The advantages of using such transport equipment in transport and logistics technologies are analyzed. Special attention is paid to the need to take into account the possible transverse deformation of the container walls when choosing rational schemes for placing cylindrical soft containers in cargo spaces. The magnitude of these deformations is determined by a set of factors, among which the key ones are the properties of the cargo, the geometric parameters of the container and the characteristics of the shell material. The most significant influence is exerted by the dimensions of the container and the density of the bulk material. The coefficient of friction between the cargo and the container walls and the ratio of horizontal and vertical pressure, which determine the magnitude of the lateral load, also have a significant impact. The contribution of the properties of the container shell material is also noticeable: its strength, stiffness, thickness, fiber structure, fabric condition, and the presence of reinforcing elements. Taking this into account, approaches are proposed to clarify the calculation dependencies used when developing schemes for placing soft containers that have the shape of a cylinder in the cargo spaces of vehicles.

Keywords: Bulk cargo, transportation, technology, soft container, parameters, deformation, cargo space, loading scheme.

Стаття надійшла 02.12.2025р.

УДК 629.4.01

doi.org/10.31498/2522-9990302025347240

Карашук В.О.

**ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО
СКЛАДУ ДЛЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

У роботі проведено огляд гібридного залізничного рухомого складу з метою впровадження для пасажирських перевезень. Визначено, що основним видом транспорту для пасажирських перевезень в Україні є автомобільний транспорт (автобусні перевезення), яким щорічно перевозиться 41,8% пасажирів, а доля залізничного транспорту складає лише 3,3%. Аналіз перевезень пасажирів за видами сполучення дозволив встановити, що на залізничний транспорт припадає 25,9% пасажирських перевезень у міжміському сполученні та 23,9% у приміському, при цьому у міському сполученні він взагалі не задіяний. Встановлено,

що автобусні пасажирські перевезення мають ряд проблемних місць таких як, застарілість парку рухомого складу, низька енергоефективність та екологічність транспортних засобів, велике шумове забруднення (особливо в містах), висока завантаженість автомобільних доріг особливо в години пік, низький рівень безпеки на дорозі. З урахуванням сучасних вимог щодо використання джерел енергії з низьким вмістом вуглецю в тому числі для транспорту пропонується збільшення частки залізничного транспорту у перевезеннях вантажів та пасажирів (з метою заміни/скорочення перевезень автомобільним транспортом). Це потребує нових підходів до організації перевезень, вибору транспортних засобів, що характеризуються високою енергоефективністю та екологічністю, використанні альтернативних палив та збільшення частки відновлювальних джерел енергії для тягового приводу залізничного рухомого складу. Одним з підходів є використання гібридного приводу для пасажирського моторвагонного рухомого складу. Автором виконано аналіз гібридних поїздів за гібридними технологіями (в тому числі на основі відновлювальних нетрадиційних джерел енергії), техніко-експлуатаційними показниками та сферою застосування на основі технічної літератури, а також звітах розробників залізничних гібридних тягових засобів. Також визначені обмеження використання гібридного МВРС за компоновкою модулів у коротко- та середньо терміновій перспективі розвитку гібридних залізничних технологій для пасажирських перевезень.

Ключові слова: Пасажирські перевезення, залізничний транспорт, гібридні технології, гібридний поїзд, залізничний рухомий склад.

Вступ. Основними викликами для транспортної галузі в Україні є подорожчання вартості пального та електроенергії, дефіцит енергоресурсів в умовах постійних ворожих атак на енергетичну інфраструктуру країни, посилення екологічних стандартів, вимоги прийнятого «Зеленого курсу» щодо декарбонізації транспорту, вимоги щодо підвищення енергоефективності та екологічності транспортних засобів зумовлені стратегічними цілями розвитку залізничного транспорту. Подолання цих викликів потребує нових ініціатив, що дозволять скоротити витрати енергоресурсів та покращити екологічні показники транспорту при одночасному підвищенні мобільності та сталості розвитку.

Постановка проблеми. Збільшення частки залізничного транспорту для вантажних та пасажирських перевезень за умови зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище потребує аналізу технологій підвищення його енергоефективності та енергозбереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі багато науковців в Україні та світі займаються питанням розробки та впровадження гібридних технологій для залізничного транспорту. Авторами роботи [1] розглянуто методи та моделі визначення техніко-економічних показників локомотивів із гібридним приводом. У роботах [2-3] визначено техніко-економічні показники гібридних транспортних засобів з урахуванням умов експлуатації та досліджено вплив типу експлуатації на параметри маневрового тепловоза з гібридною силовою установкою. Наукова праця авторів [4] присвячена удосконаленню методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних маневрових тепловозів. В роботі [5] автор виконав огляд гібридних залізничних технологій, що охоплює гібридні конфігурації та пристрої накопичення енергії. Дослідження які виконані у наукових працях присвячені впровадженню і використанню гібридних технологій для тягового рухомого складу задіяного в маневровій роботі, огляд гібридних технологій не охоплює питань використання відновлювальних джерел енергії для гібридного транспорту, специфіку та стан перевезень пасажирів в Україні.

Мета дослідження. Метою цієї роботи є аналіз технологій гібридного залізничного рухомого складу з метою обґрунтування його використання для галузі.

Транспортні технології

Основний матеріал дослідження. Основними видами транспорту для пасажирських перевезень в Україні є: автомобільний, залізничний та міський електротранспорт до складу якого входять тролейбусні, трамвайні та перевезення метрополітеном. Майже не задіяні у перевезенні пасажирів морський, внутрішній водний та авіаційний транспорт.

За даними статистичної служби України (за період 2018-2023 р.р.) щорічно лідером перевезень пасажирів є міський електротранспорт яким перевозиться – 1606,2 млн. пас. (54,9% всіх пасажирських перевезень), автомобільний (автобусні перевезення) – 1225,2 млн. пас. (41,8% всіх пасажирських перевезень) та залізничний транспорт – 96,7 млн. пас. (3,3% всіх пасажирських перевезень). Динаміка перевезень пасажирів за видами транспорту наведено на рис.1.

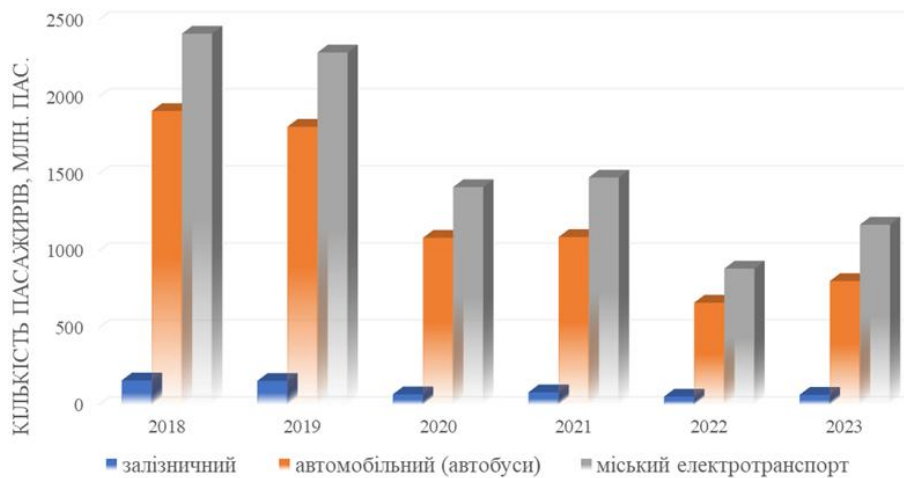


Рисунок 1 – Динаміка перевезень пасажирів за видами транспорту в Україні за період 2018-2023 р.р. (побудовано автором за даними джерела [6])

З рис.1. можна спостерігати скорочення кількості перевезень пасажирів за всіма видами транспорту, що пов'язано у 2020-2021 р.р. з пандемією Covid-19 та повномасштабним вторгненням росії до території України у 2022 році та масовою міграцією населення викликаного ним.

За видами сполучення, пасажирські перевезення (за аналогічний період), розподілилися наступним чином:

- міжміське сполучення:
 - автомобільний (автобуси) – 77 млн. пас. щорічно;
 - залізничний – 29,3 млн. пас. щорічно;
 - авіаційний – 7 млн. пас. щорічно;
- приміське сполучення:
 - автомобільний (автобуси) – 215 млн. пас. щорічно;
 - залізничний – 67,5 млн. пас. щорічно;
 - внутрішній водний – 0,3 млн. пас. щорічно;
- міське сполучення:
 - міський електротранспорт – 1606,2 млн. пас. щорічно;
 - автомобільний (автобуси) – 933,2 млн. пас. щорічно.

Відсотковий розподіл кількості перевезених пасажирів за видами транспорту та сполучення наведені на рис. 2.

Транспортні технології



Рисунок 2 – Відсотковий розподіл кількості перевезених пасажирів за видами транспорту та сполучення в Україні за період 2018-2023 р.р. (побудовано автором за даними джерела [6])

Як встановлено дослідженнями, щорічні викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел у атмосферне повітря в Україні сягають 1578194,32 т [7].

За даними енергетичного балансу України встановлено, що основним споживачем нафтопродуктів є автомобільний транспорт. Таким чином на сьогоднішній день автобусні перевезення характеризуються такими слабкими місцями, як:

- висока собівартість перевезень;
- великі витрати на паливо (бензин та дизельне паливо);
- застарілість парку рухомого складу;
- низька енергоефективність та екологічність транспортних засобів;
- велике шумове забруднення (особливо в містах);
- висока завантаженість автомобільних доріг особливо в години пік;
- низький рівень безпеки на дорозі.

Для вирішення проблем споживання традиційних енергоресурсів всіма галузями виробництва, в тому числі і в транспортній галузі та використання джерел енергії з низьким вмістом вуглецю в Європейському Союзі розроблено план для досягнення кліматично нейтральної Європи до 2050 року, так званий Європейський зелений курс (далі ЄЗК). Правове та політичне підґрунтя цього процесу в Європейському Союзі становлять: Європейська зелена угода; Комюніке «Європейський зелений курс»; Воднева стратегія ЄС; Стратегія ЄС з адаптації до зміни клімату.

Серед пріоритетних сфер для України у рамках Європейської зеленої угоди розглядається екологізація транспорту та передбачає: скорочення викидів парникових газів у секторі на 90%; збільшення частки сталих видів транспорту, таких як залізничний і внутрішній

водний; жорсткі стандарти викидів забруднюючих речовин для транспортних засобів із двигунами внутрішнього згорання; розвиток інфраструктури для електромобілів та водневих транспортних засобів [8].

В свою чергу в Україні розроблена «Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року», що передбачає перехід до енергосистеми з використанням джерел енергії з низьким вмістом вуглецю, розбудову джерел чистої електричної та теплової енергії, стимулювання використання альтернативних нафтопродуктам моторних палив і перехід вантажних та пасажирських перевезень на більш екологічні чисті види транспорту, такі як внутрішній водний транспорт та залізничний транспорт [9].

З урахуванням вищезазначеного, збільшення частки залізничного транспорту у перевезеннях вантажів та пасажирів (з метою заміни/скорочення перевезень автомобільним транспортом) потребує нових підходів до організації перевезень, вибору транспортних засобів, що характеризуються високою енергоефективністю та екологічністю, використанні альтернативних палив та збільшення частки відновлювальних джерел енергії для тягового приводу залізничного рухомого складу.

Наразі залізничні пасажирські перевезення у міжміському сполученні здійснюються електровозами серій ЧС2, ЧС7, ЧС4, ЧС8, ДС3, ВЛ40, ВЛ10 та тепловозами серій ТЕП70, ТЕП150 у складі пасажирських поїздів та високошвидкісними поїздами Hyundai Rotem. У приміському сполученні задіяні електропоїди серій ЕР9Е, ЕР9Т, ЕР9М, ЕПЛ9Т, ЕД9М та дизель-поїди серій ДР1А, рейкові автобуси PESA 620М, 630М. В якості міської кільцевої електрички м. Києва задіяні електропоїди серій ЕР9Е.

За даними Міністерства розвитку громад та територій України середній вік парку локомотивів складає 46 років, а зношеність понад 96% [10]. Оновлення парку ТРС відбувається повільними темпами в основному шляхом модернізації існуючих локомотивів та МВРС на власних ремонтних потужностях Укрзалізниці. На даний час модернізація не вирішує основних проблем локомотивної тяги в контексті підвищення енергоефективності тягового рухомого складу, екологічності та використання альтернативних джерел енергії для тягового приводу.

Одним з підходів щодо скорочення витрат енергії та палива на тягу поїздів, зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище, використання відновлювальних джерел енергії для тягового приводу локомотивів та МВРС є використання гібридних технологій тягового приводу. Використання гібридних поїздів у секторі пасажирських перевезень дозволить досягти основні цілі стратегій розвитку транспорту в Україні.

За матеріалами джерела [11] обсяг ринку гібридних поїздів у 2022 році оцінювався у 16,4 млрд доларів США, і, за прогнозами, він зростатиме із середньорічним темпом зростання понад 5% у період з 2023 по 2032 рік. Розвиток гібридних поїздів нерозривно пов'язаний зі зростаючим споживанням нафтопродуктів в якості палива для транспортних засобів та гострим питанням скорочення викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел. Виробники гібридного залізничного транспорту пропонують екологічну альтернативу, що призводить до зниження шкідливих викидів при експлуатації та підвищення паливної ефективності. Цей підхід перебуває у контексті глобальної боротьби зі зміною клімату та скорочення вуглецевого сліду транспортного сектора, що робить гібридні локомотиви та моторвагонний рухомий склад привабливим рішенням для стійкого залізничного транспорту.

Провідні будівельні компанії залізничного рухомого складу пропонують різні концепції гібридного тягового приводу. Характеристики гібридного моторвагонного рухомого складу для пасажирських перевезень наведено у табл. 1.

Транспортні технології

Таблиця 1 – Характеристики гібридного моторвагонного рухомого складу для пасажирських перевезень

Гібридна технологія	Назва поїзда (серії), виробник	Швидкість, км/год	Запас ходу, км	Сфера застосування
Акумуляторний-електропоїзд (Battery Electric Multiple Unit)	Mireo Plus B (Siemens Mobility) [12]	160	80-120	Частка залізничної мережі з електрифікованими та неелектрифікованими ділянками (змішані залізничні мережі); використання гібридних беземісійних поїздів для міського та приміського сполучення в якості заміни автомобільного транспорту для пасажирських перевезень; використання гібридних поїздів для міського та приміського сполучення
	B 82500 (Alstom) [13]	160	80-160	
	Flirt Akku (Stadler) [14]	140	150	
	RegioPanter (BEMU) (Škoda Group) [15]	160 120 від АБ	80	
Дизель-електричний поїзд (Diesel Electric Multiple Unit)	SNCF B 81500 (Bombardier) [16]	160	-	Не електрифіковані ділянки залізничної мережі, що обслуговуються дизельними поїздами; частка залізничної мережі з електрифікованими та неелектрифікованими ділянками (змішані залізничні мережі); використання гібридних беземісійних поїздів для міського та приміського сполучення в якості заміни автомобільного транспорту для пасажирських перевезень; використання гібридних поїздів для регіонального та заміського сполучення
	Plus 227M (FPS) [17]	120; 160	-	
Воднево-акумуляторний поїзд (Hydrogen Battery Multiple Unit)	Mireo Plus H (Siemens Mobility) [18]	160	600-1000	Для збільшення додаткового запасу ходу електротранспорту; живлення допоміжних ланцюгів (освітлення, кондиціонування, привід допоміжних агрегатів, подача живлення для зарядки пристроїв пасажирів і т.ін.); автономне джерело енергії для руху транспортних засобів у внутрішньо міському режимі з невеликим завантаженням з підзарядкою на проміжних станціях; як заміна трамваїв
	Coradia iLint (Alstom) [19]	140	1000	
Акумуляторний електро-дизель-поїзд (Battery Electric Diesel Multiple Unit)	Régiolis (SNCF, Alstom, CAF) [20]	160; 200	1000	
	Škoda 27Ev BEDMU (Škoda Group, RegioJet) [21]	160; 120 від АБ	-	
Сонячно-акумуляторний електро/дизель-поїзд (Solar Battery Electric/Diesel Multiple Unit)	Eco 4 (Bombardier) [22]	-	-	
	Byron Solar Train (Byron Bay) [23]	-	3	

Розробник Siemens Mobility пропонує альтернативні системи приводу на поїздах Mireo Plus B та Mireo Plus H для приміського та регіонального сполучення на гібридній платформі. Технічні характеристики Mireo Plus B (рис.3):

- змішаний режим роботи: пантограф + акумулятор;
- 2- та 3-вагонні одиниці;
- кількість місць: 120 - 160;
- швидкість: до 160 км/год;
- запас ходу: від 80 до 120 км.

Транспортні технології



Рисунок 3 – Гібридний поїзд Mireo Plus B [12]

На поїзді застосовані акумуляторні батареї, в яких анодний матеріал використовується титанат літію, що має значні переваги з точки зору надійності. Вони також старіють повільніше, ніж батареї, що використовуються у звичайних електромобілях, в яких як анодний матеріал використовується графіт. Але зараз розробляються елементи батарей, у яких використовується новий анодний матеріал – батареї з оксиду титану і ніобію. Вони займають стільки ж місця, але мають вдвічі більшу ємність і заряджаються набагато швидше [12]. Особливостями застосування електро-акумуляторного гібридного поїзда є висока його енергоефективність, оскільки акумулятор заряджається за допомогою рекуперативного гальмування, також його можна заряджати через пантограф під час руху та на стоянці, через силовий кабель у депо; відсутність локальних викидів CO₂; гнучкість у зарядці та експлуатації; відсутність додаткової інфраструктури для екіпірування дизельним паливом; обмеження у відстані - до 130 км без контактної мережі.

У Mireo Plus H (див. рис. 4) використана гібридна технологія приводу, що складається з паливного елемента та акумулятора. Замість пантографа джерелом живлення є паливний елемент, який живиться воднем з баків на даху. Він має акумулятор, який забезпечує тягову потужність та використовує рекуперативне гальмування.



Рисунок 4 – Гібридний поїзд Mireo Plus H [18]

Колеса поїзда приводяться у рух безпосередньо - тобто без карданних валів - індукційними генераторами з живленням від перетворювача. Живлення подається від тягової батареї, що призначена для рекуперативного гальмування. Тягова батарея живить процеси прискорення Mireo Plus H, воднева система заряджає батарею і підтримує бортове живлення під час нормальної роботи на постійній швидкості [18].

Технічні характеристики Mireo Plus H:

Транспортні технології

- режим роботи: паливні елементи + акумулятор;
- 2- та 3-вагонні одиниці;
- кількість місць: 120 - 160;
- швидкість: до 160 км/год;
- запас ходу: від 600 до 1000 км.

Особливостями застосування воднево-акумуляторного гібридного поїзда є висока його енергоефективність, низький рівень шуму; робота без викидів CO₂ при використанні водню, отриманого внаслідок електролізу; використання надлишкової електроенергії в мережі з використанням водню як середовища зберігання.

Поряд із поїздами на акумуляторних батареях та водневими поїздами гібридний електро-дизель-акумуляторний поїзд є однією з трьох технологій декарбонізації, які група SNCF розробляє спільно зі своїми партнерами Alstom, CAF та французькими регіонами для пасажирських перевезень на неелектрифікованих (або частково електрифікованих) регіональних лініях (рис. 5).



Рисунок 5 – Гібридний поїзда Régiolis [24]

Гібридизація поїзної групи Régiolis включала заміну половини теплових двигунів на системи зберігання енергії, що складаються з літій-іонних акумуляторів. Коефіцієнт рекуперації енергії гальмування, що використовується для заряджання акумуляторів, дуже високий і становить більше 90%, що дозволяє заощаджувати до 20% енергії в залежності від маршруту без використання двигунів внутрішнього згоряння, що може бути корисно для низьковуглецевих поїздок у населених пунктах. На неелектрифікованих лініях гібридний регіональний потяг зберігає запас ходу вихідної моделі до 1000 км [14].

Гібридний дизель-електричний поїзд, розроблений заводом FPS із Познані (рис. 6) - двовагонний Plus 227M вміщує до 229 пасажирів, 84 з яких можуть сидіти. Електротяга дозволяє поїзду розвивати швидкість до 160 км/год, а дизельний режим – до 120 км/год [17].

Škoda Group та RegioJet підписали контракт на постачання 34 гібридних багатоцільових установок типу BEDMU (Battery Electric Diesel Multiple Unit) (рис.7). Гібридні поїзди розраховані на роботу в двох системах (3 кВ постійного та 25 кВ змінного струму) і включатимуть блоки акумуляторів і дизельну силову установку. Дизель-генератор служить лише генератором для безперервної зарядки акумуляторної батареї та може працювати на гідроочищеній рослинній олії [21].

Транспортні технології



Рисунок 6 – Гібридний поїзд Plus 227M [17]



Рисунок 7 – Гібридний поїзд Škoda 27Ev [21]

У виробника Bombardier розроблено лінійку енергозберігаючих потягів Есо 4. Поїзд працює на сонячній енергії, виготовлений з легких матеріалів та використовує технологію MagLev, що передбачає використання технології магнітної левітації для пересування на високій швидкості з низьким енергоспоживанням. Панелі сонячних батарей (рис.8.), розташовані на верхній частині поїзда, призначені для його живлення, а також освітлення салону і забезпечення енергією зарядних станцій для пасажирів [22].

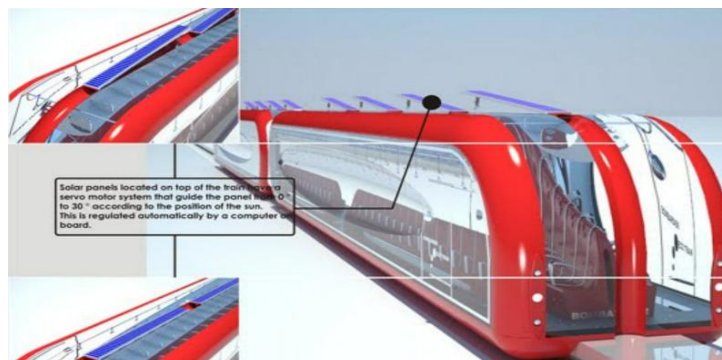


Рисунок 8 – Схема розташування сонячних панелей на потязі виробництва Bombardier [22]

Транспортні технології

За результатами представленого матеріалу для визначення перспектив впровадження гібридного моторвагонного рухомого складу потрібно визначити обмеження їх використання за модулями. Результати аналізу наведено у табл.2.

Таблиця 2 – Обмеження та перспективи впровадження гібридного МВРС за компоновкою модулів

За компоновкою модулів	Обмеження для впровадження	Перспективи впровадження в Україні
Акумуляторний - електропоїзд (BEMU)	Обмежений запас ходу при роботі від акумуляторів; середній термін служби АБ - 6-7 років; наявність електрифікованих ділянок та залізничної інфраструктури	Можливе використання в режимі міської кільцевої електрички з метою економії електроенергії за рахунок рекуперації та наступного використання для тяги поїзда; для приміського та регіонального руху на електрифікованих та неелектрифікованих мережах; можливість заміни міського пасажирського автотранспорту при наявності електрифікованих ділянок та залізничної інфраструктури з метою скорочення шкідливих викидів та шумового забруднення міст
Дизель - електричний поїзд (DEMU)	Наявність стикування електрифікованих ділянок з неелектрифікованими; необхідність електрифікації ділянок	Можливе використання для міжміського, приміського та регіонального руху на електрифікованих та неелектрифікованих мережах; можливість заміни міського пасажирського автотранспорту при наявності електрифікованих ділянок з метою скорочення шкідливих викидів та шумового забруднення міст
Воднево - акумуляторний поїзд (HBMU)	Наявність палива для водневого паливного елементу; вартість 1 кг водню; великі капітальні витрати для розбудови інфраструктури екіпування воднем; середній термін служби АБ - 6-7 років	Можливе використання гібридних беземісійних поїздів для міжміського, регіонального, приміського сполучення в якості заміни дизель-поїздів та пасажирських тепловозів при розвитку в Україні виробництва водню в якості палива для гібридного транспорту та розбудови інфраструктури для екіпування
Акумуляторний електро-дизель - поїзд (BEDMU)	Обмежений запас ходу при роботі від акумуляторів; середній термін служби АБ - 6-7 років	Можливе використання для міжміського, регіонального, приміського, міського сполучення на електрифікованих та неелектрифікованих мережах в якості заміни дизель-поїздів та пасажирських тепловозів, зменшення шкідливих викидів від відпрацьованих газів тепловозних ДВЗ, зменшення шумового забруднення, зменшення витрат електроенергії за рахунок використання енергії рекуперації від АБ
Сонячно - акумуляторний електро/дизель-поїзд (SBE/DMU)	Недостатня потужність сонячних панелей для використання в якості основного джерела живлення для тяги поїзду; обмежена габаритом рухомого складу корисна площа для розташування сонячних панелей; нестабільність джерела енергії та залежність від погодних умов	Можливість використання для міського руху, в якості заміни трамваїв та автотранспортних засобів при наявності залізничної інфраструктури; інтеграція в міську систему пасажирського транспорту з отриманням енергії від стаціонарних сонячних електростанцій (на зупиночних пунктах, будівлях прилеглої території, підзарядці в депо) шляхом організації руху гібридних транспортних засобів з можливістю заміни транспортного засобу для підзарядки; як додаткове джерело енергії для залізничних транспортних засобів.

ВИСНОВКИ

Поява і розвиток гібридних технологій, тобто використання більше одного джерела в силовій установці, наприклад дизель-генераторної установки та накопичувачів енергії дозволить використовувати двигун внутрішнього згоряння меншої потужності, відповідно менших габаритів, шляхом використання енергії від накопичувачів при пікових навантаженнях, поліпшити ефективність його роботи за рахунок роботи при високих навантаженнях, що характеризуються меншими питомими витратами палива, підвищити ККД. Одночасно використання менш потужної силової установки дозволить зменшити обсяги споживання дизельного палива, що в свою чергу відобразиться на обсягах шкідливих викидів з відпрацьованими газами дизелів. До того ж використання гібридного моторвагонного рухомого складу у міському та приміському сполученні дозволить знизити рівень шумового забруднення та покращити екологічні показники у містах, що в основному пов'язані з використанням автомобільних транспортних засобів.

Подальший підхід до розвитку гібридного моторвагонного рухомого складу на основі «модульної системи» шляхом вибору модулів джерел енергії відповідно до видів сполучення, протяжності електрифікованих ділянок та неелектрифікованих, можливості організації інфраструктури для використання відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії, пасажиротоку, методів організації експлуатації дозволить гнучко та ефективно використовувати гібридний моторвагонний рухомий склад та забезпечити мобільність населення.

Список використаних джерел

1. Фалендиш, А.П. Вдосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників локомотивів із гібридним приводом / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. – Луганськ, вид. СХУ, 2014. – №3 (210). – С. 272-276.
2. Володарець М.В. Щодо питання визначення техніко-економічних показників гібридних транспортних засобів з урахуванням умов експлуатації / М.В. Володарець, О.В. Клецька // Міжнародна науково-технічна конференція. «Університетська наука – 2021». – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2021. – Т.3. – С.181.
3. Falendysh, A. The impact of the type of operation on the parameters of a shunting diesel locomotive with hybrid power plant / A. Falendysh, M. Volodarets, V. Hatchenko, O. Kletska // BulTrans-2017 – 9th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies – MATEC Web of Conferences 133, 03003 (2017) DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713303003>.
4. Проектування, випробовування та експлуатація тягового рухомого складу залізниць. Частина 1. Удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних маневрових тепловозів: кол. моногр./ А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, О.В. Клецька, Д.А. Іванченко, В.О. Карашук, О.В. Джус – Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2023. – 240 с.
5. Fábio C. Barbosa. Hybrid rail technology review: an intermediate pathway for electrifying the freight and commuter rail sector - a technical and operational assessment/Fábio C. Barbosa// FCB Research and Consulting Brasília, Distrito Federal, Brazil, JRC2021-58271, DOI: 10.1115/JRC2021-58271 https://www.researchgate.net/publication/352237556_Hybrid_Rail_Technology_Review_an_Intermediate_Pathway_For_Electrifying_the_Freight_and_Commuter_Rail_Sector_-_a_Technical_and_Operational_Assessment

6. Транспорт України 2023 – Статистичний збірник, Київ, 2024. Електронний ресурс: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 30.11.2025 р.)
7. Каращук В.О., Помазков М.В., Клецька О.В., Джус О.В., Катунов І.В. Стан та перспективи підвищення екологічності та енергоефективності транспорту/ В.О. Каращук, М.В. Помазков, О.В. Клецька, О.В. Джус, І.В. Катунов // Наука та виробництво. – Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2023. – №26 – С. 70-78.
8. Реалізація Європейського зеленого курсу в транспорті та формування сталої мобільності. Електронний ресурс: <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-252598252/252598252#1> (дата звернення 30.11.2025).
9. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. Веб-сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Електронний ресурс: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf (дата звернення 30.11.2025).
10. Угода з Alstom на 55 локомотивів, профінансована міжнародними партнерами, дозволить УЗ модернізувати вкрай застарілий парк та втримати обсяги вантажних перевезень. Веб-сайт Міністерства розвитку громад та територій України. Електронний ресурс: <https://mindev.gov.ua/news/uhoda-z-alstom-na-55-lokomotyviv-profinansovana-mizhnarodnymy-partneramy-dozvolyt-uz-modernizuvaty-vkrai-zastariyli-park-ta-vtrymaty-obsiahy-vantaznykh-perevezen> (дата звернення 05.12.2025).
11. Ринок гібридних поїздів. Електронний ресурс: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/hybrid-train-market> (дата звернення 20.11.2024 р.)
12. Mireo Plus B – A pioneering step into the future. Електронний ресурс: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/mireo/mireo-plus-b.html> (дата звернення 30.11.2025 р.)
13. SNCF and Bombardier convert diesel to battery trains. Електронний ресурс: <https://www.urban-transport-magazine.com/en/sncf-and-bombardier-convert-diesel-to-battery-trains/> (дата звернення 30.11.2025 р.)
14. FLIRT Akku: continues where the overhead line ends. Електронний ресурс: <https://www.stadlerrail.com/en/solutions/rolling-stock/mainline-flirt-akku> (дата звернення 30.11.2025 р.)
15. BEMU for České dráhy. Електронний ресурс: <https://www.skodagroup.com/reference/regiopanter-battery-un> (дата звернення 05.12.2025 р.)
16. SNCF Класс В 81500. Електронний ресурс: https://en.wikipedia.org/wiki/SNCF_Class_B_81500 (дата звернення 05.12.2025 р.)
17. First Hybrid Train from FPS Begins Operations in Poland. Електронний ресурс: <https://www.railway.supply/uk/pershij-gibridnij-po%20d1%97zd-fps-u-polshhi-ekologichnij-proriv/> (дата звернення 30.11.2025 р.)
18. The way is paved for Mireo Plus H. Електронний ресурс: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/company/stories/alternative-drives-the-way-is-paved-for-mireo-plus-h.html> (дата звернення 30.11.2025 р.)
19. Alstom Coradia iLint – the world's 1st hydrogen powered passenger train. Електронний ресурс: <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/alstom-coradia-ilint-worlds-1st-hydrogen-powered-passenger-train> (дата звернення 30.11.2025 р.)
20. SNCF Voyageurs et Alstom présentent le premier train hybride français pour les Régions Occitanie, Grand-Est, Nouvelle-Aquitaine et Centre-Val-de-Loire. Електронний ресурс: <https://www.alstom.com/fr/press-releases-news/2022/2/sncf-voyageurs-et-alstom-presentent-le-premier-train-hybride-francais> (дата звернення 30.11.2025 р.)
21. RegioJet orders battery-electric-diesel trains as the best option for partly-electrified routes. Traction and rolling stock Електронний ресурс: <https://www.railwaygazette.com/traction-and->

rolling-stock/regiojet-orders-battery-electric-diesel-trains-as-the-best-option-for-partly-electrified-routes/69615.article (дата звернення 30.11.2025 р.)

22. Solar-Powered MagLev Concept Train is Sleek Alternative Transportation. Електронний ресурс: <https://inhabitat.com/solar-powered-maglev-concept-train-for-bombardier/> (дата звернення 30.11.2025)

23. Byron Solar Train. Електронний ресурс: <https://byronbaytrain.com.au/sustainability/> (дата звернення 30.11.2025)

24. Hybrid train successfully tested in France. Електронний ресурс: <https://www.railwaypro.com/wp/electric-diesel-battery-train-successfully-tested-in-france/> (дата звернення 30.11.2025 р.)

Karashchuk V. O.

PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF HYBRID RAILWAY ROLLING STOCK FOR PASSENGER TRANSPORTATION

The article reviews hybrid railway rolling stock for passenger transportation. It was determined that the main mode of transport for passenger transportation in Ukraine is road transport (bus transportation), which annually carries 41.8% of passengers, and the share of railway transport is only 3.3%. Analysis of passenger transportation by mode of transport allowed us to establish that railway transport accounts for 25.9% of passenger transportation in intercity traffic and 23.9% in suburban traffic, while it is not involved in urban traffic at all. It was established that bus passenger transportation has a number of problem areas such as the obsolescence of the rolling stock fleet, low energy efficiency and environmental friendliness of vehicles, high noise pollution (especially in cities), high traffic congestion on highways, especially during rush hour, and low level of road safety. Taking into account modern requirements for the use of low-carbon energy sources, including for transport, it is proposed to increase the share of rail transport in freight and passenger transportation (in order to replace/reduce road transport). This requires new approaches to the organization of transportation, the selection of vehicles characterized by high energy efficiency and environmental friendliness, the use of alternative fuels and an increase in the share of renewable energy sources for the traction drive of railway rolling stock. One of the approaches is the use of a hybrid drive for passenger railcar rolling stock. The author has analyzed hybrid trains using hybrid technologies (including those based on renewable non-traditional energy sources), technical and operational indicators and scope of application based on technical literature, as well as reports by developers of railway hybrid traction vehicles. Limitations on the use of hybrid MVRs by module layout in the short- and medium-term perspective of the development of hybrid railway technologies for passenger transportation are also identified.

Keywords: Passenger transportation, rail transport, hybrid technologies, hybrid train, railway rolling stock.

Стаття надійшла 09.12.2025 р.