

УДК 621.341  
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/46>

**Бойко С.М.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Котов О.Б.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Жуков О.А.**

Вінницький національний технічний університет

**Коваль А.М.**

Вінницький національний технічний університет

**Риков Г.Ю.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Ланіна О.С.**

ТОВ «ЕЙР ТАУРУС»

## **АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

*Стаття присвячена питанням розробки рекомендації щодо впровадження додаткових джерел електричної енергії в системи електропостачання рухомого складу залізничного транспорту з метою забезпечення заходів безпеки, надійності доставки вантажів та комфорту пасажирів. У статті визначено основні вимоги, що пред'являються до автономних систем електропостачання різних типів вагонів. Акцентовано увагу на те, магістральний залізничний транспорт займає провідне місце у сфері вітчизняних та світових вантажних та пасажирських перевезень та найпоширенішими системами електропостачання пасажирських вагонів в Україні є автономні або змішані, що для живлення вагонних споживачів електрична енергія виробляється безпосередньо в самому вагоні підвагонним генератором, що обертається колісною парою. У статті, зважаючи на всі зазначені аспекти, умови та чинники, запропоновано підхід щодо забезпечення безпеки функціонування електрифікованих комплексів транспортних вузлів та, особливо, магістрального залізничного транспорту. Також, у статті за результатами досліджень доведено можливість впровадження відновлювальних джерел електричної енергії в умовах рухомого складу вагонів залізничного транспорту. Тож, під час експлуатації рухомого складу вагонів в денний час, завдяки впровадженню фотоелектричних установок виробляється електрична енергія при попаданні на них сонячної інсоляції, а при впровадженні вітроустановки забезпечується вироблення електроенергії в умовах руху пасажирського вагону та під час його стоянки. Стаття присвячена питанням вдосконалення існуючих систем енергозабезпечення рухомого складу залізничних вагонів та проєктування нових енергетичних установок з метою підтримання належного рівня безпеки при функціонуванні в умовах знеструмлення основних джерел електричної енергії. Визначено, що зважаючи на перспективність розвитку залізничного транспорту на теренах України та світу, актуальним залишається питання налагодження безпечних та надійних перевезень різних типів вантажів та пасажирів залізничним транспортом. Запропоновано впроваджувати автономні джерела електричної енергії в умовах залізничного транспорту та розроблено ряд рекомендацій щодо впровадження відновлювальних джерел електричної енергії в умовах рухомого складу вагонів залізничного транспорту.*

**Ключові слова:** залізничний транспорт, відновлювальні джерела енергії, безпека на залізничному транспорті, автономні джерела електричної енергії, транспортна система.

**Постановка проблеми.** Магістральний залізничний транспорт займає провідне місце у сфері вітчизняних та світових вантажних та пасажирських перевезень. Історично склалося так, що найпоширенішими системами електропостачання пасажирських вагонів в Україні є автономні або змішані. Це означає, що для живлення вагонних споживачів електрична енергія виробляється безпосередньо в самому вагоні підвагонним генератором, що обертається колісною парою. Розповсюдження цієї автономної системи електропостачання пояснюється наявністю в Україні значних ділянок неелектрифікованих залізниць та відсутністю при цьому в цих типах тепловозів можливості виробляти напругу необхідного рівня для подальшого забезпечення транспортування його у вагонні мережі електропостачання.

При цьому в обох з наведених варіантів до складу систем електропостачання входять акумуляторні батареї (АБ) що служать джерелом живлення електричних приймачів вагонів під час його стояння. У свою чергу, АБ є і споживачами електричної енергії. При цьому доповнимо, що недоліком існуючих систем електропостачання є те, що для початку живлення споживачів та заряду АБ потрібно, щоб вагон розвинув швидкість не менше 35 км/год. Даний недолік є найбільш критичним з точки зору забезпечення комфорту пасажирів, так як він означає, що під час стоянок і під час руху поїзда на низьких швидкостях вагонні електроспоживачі змушені отримувати живлення від акумуляторних батарей, при цьому потужні споживачі повинні бути відключені.

З метою вирішення вказаної проблеми, у низці наукових досліджень розглядається можливість і робляться конкретні пропозиції щодо включення в автономні мережі електропостачання пасажирських вагонів додаткових джерел електричної енергії. Такі рішення дозволяють зробити заряд АБ незалежно стану вагона – рух чи стоянка. Проте, обов'язково необхідно контролювати рівень заряду АБ [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зважаючи на результати аналізу іноземних та вітчизняних публікацій, розвиток окремих регіонів та України цілком можливий за рахунок розвитку економіки, котра нерозривно пов'язана з транспортними системами [1-3].

Між тим, ефективність транспортних перевезень безпосередньо залежить від взаємодії різних видів транспортних засобів та своєчасне постачання енергетичних ресурсів для транспортних засобів у відповідні транспортні вузли [4,

С. 114-118]. Окрім того, результати аналізу перспектив розвитку мультимодальних технологій пасажирських перевезень на регіональному рівні в аспекті «зеленої» логістики вказують на можливість впровадження сучасних альтернативних енергетичних ресурсів у транспортній галузі, у тому числі з використанням відновлювальних джерел електричної енергії [5, С. 94-99, 6, С. 115-121]. Провідними вітчизняними науковцями розглянуто варіанти впровадження відновлювальних джерел енергії в розподільних електричних мережах та їх вплив на підвищення ефективності функціонування [7, С. 33-41].

Зважаючи на те, що магістральний залізничний транспорт в своїй більшості є електрифікованим, що зважаючи на виклики сьогодення, спонукає до пошуку додаткових шляхів та можливостей щодо ефективного використання та додаткових джерел генерації електричної енергії [8-10].

Між тим, питання забезпечення безпеки функціонування електрифікованих комплексів транспортних вузлів та, особливо, магістрального залізничного транспорту залишається відкритим.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка рекомендацій щодо особливостей впровадження відновлювальних джерел електричної енергії в умовах рухомого складу вагонів залізничного транспорту.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз автономних систем електропостачання пасажирських вагонів, що використовуються на сьогоднішній день, показав ряд недоліків їх системи.

Зокрема:

1) для початку процесу заряду акумулятора потрібно розгін поїзда до швидкості щонайменше 35 км/год. Якщо швидкість не набрана, живлення навантаження продовжує здійснюватись від акумулятора;

2) велика інерційність системи, оскільки управління вихідною напругою індукторного генератора (ІГ) відбувається за рахунок регулювання струму високоінерційної ланцюга обмотки збудження (ОЗ) (рис. 1).

Водночас вимоги до автономних систем електропостачання різних типів вагонів:

– забезпечення стабільності напруги живлення при точності підтримки вихідної напруги у ширшому діапазоні зміни швидкостей поїзда для безперебійної роботи системи вентиляції та кондиціонування вагона;

– продовження ресурсу акумуляторних батарей за рахунок наявності стабільної напруги, що встановлюється у функції температури акумуля-

торних батарей, та обмеження струму заряду акумуляторних батарей;

– використання в системі нині існуючої схеми вироблення, зберігання та розподілу електроенергії: ІГ з механічною передачею до колісної пари, знижуючий трансформатор 3х380/88, що підключається на стоянці до електричної мережі, буферна схема підключення акумуляторних батарей до навантаження.

Аналіз електрообладнання, що застосовується у вітчизняних пасажирських вагонах, показав, що має місце використання останнього для освітлення салонів, купе, коридорів, туалетів; вентиляції приміщень вагона; опалення вагона і підігріву повітря, що подається в нього взимку; охолодження повітря, що подається влітку; охолодження продуктів харчування та питної води; радіомовлення та роботи пристроїв зв'язку; створення комфортних умов для перевезення пасажирів та полегшення обслуговування поїзною бригадою, а також для забезпечення роботи пристроїв сигналізації та контролю безпеки.

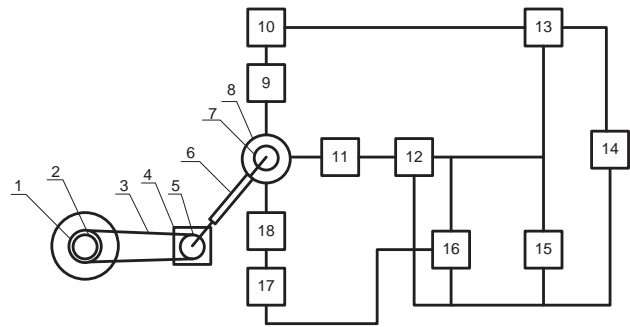
Пасажирські вагони з автономною системою електропостачання характеризуються тим, що мають власні джерела електричної енергії, що забезпечують живлення низьковольтних споживачів електроенергії під час руху та на стоянках.

Перевагою цієї системи є її незалежність від зовнішнього джерела живлення, що дозволяє експлуатувати вагони у будь-якому поїзді, у будь-якому напрямку та незалежно від типу поїзного локомотива.

У цій системі для низьковольтних споживачів застосовується постійний струм. Це пояснюється тим, що на вагоні встановлено АБ, яка служить резервним та аварійним джерелом живлення. Проте, слід зауважити, що в системах із приводом від осі колісної пари генератор працює зі змінною частотою обертання, пропорційною швидкості руху поїзда.

Як резервне та аварійне джерело енергії використовується АБ, яка живить основні споживачі поїзда при непрацюючому генераторі (при його несправності, на стоянці), а також при малій швидкості руху поїзда, коли генератор не розвиває необхідну потужність. Крім того, АБ сприймає піки навантаження, що виникають при одночасному включенні кількох споживачів великої потужності, пуску електричних двигунів, короткочасних перевантаження та ін.

При швидкості поїзда вище 35–40 км/год усі споживачі одержують живлення від підвагонного генератора, а АБ знаходиться в режимі заряджання



**Рис. 1. Структурна схема автономної системи електропостачання пасажирського вагона з використанням підкузовного генератора:**  
 1 – провідний шків; 2 – вісь колісної пари;  
 3 – клиновий ремень; 4 – редуктор; 5 – ведений шків;  
 6 – карданний вал; 7 – якорь; 8 – генератор;  
 9 – додаткова обмотка генератора; 10, 12,  
 17 – випрямлячі; 11 – основна обмотка генератора;  
 13 – перемикаючий пристрій; 14 – акумуляторна батарея; 15 – споживачі електроенергії;  
 16 – регулятор напруги; 18 – шунтуюча обмотка

від зарядного пристрою. На сучасних вагонах встановлюються генератори змінного струму, які простіші за конструкцією та більш надійні в експлуатації порівняно з генераторами постійного струму. У зв'язку з цим електроспоживачі підключені через випрямляючий міст. Під час стоянки та при низькій швидкості руху споживачі отримують живлення від акумуляторної батареї. Коли вагон знаходиться на тривалій стоянці – у відстої, споживачі отримують живлення від зовнішнього джерела живлення через блок зовнішнього джерела електроенергії, що перетворює змінну трифазну напругу зовнішньої мережі 380/220 В змінна трифазна напруга 142 В, яка випрямляється так само, як і змінна трифазний випрямляючий міст.

Для пасажирських вагонів застосовуються кислотні та лужні батареї, що складаються з певної кількості акумуляторів, з'єднаних між собою послідовно. Кислотні АБ бувають свинцеві, лужні – нікель – залізні та нікель – кадмієві.

В основі запропонованого науково-технічного рішення є розширення сфери використання відновлювальних джерел енергії, зокрема енергії збуреного турбулентного повітряного потоку що виникає на даху пасажирського вагону під час його руху та запинок, під дією атмосферних потоків повітря та сонячної інсоляції, що дозволить:

1. Використовувати генеровану потужність для власних потреб пасажирських вагонів.

2. Економити кошти на закупівлю електричної енергії.

Таким чином, вітроустановка монтується на даху пасажирського вагону, що дозволяє використовувати

незадіяну кінетичну енергію природних атмосферних потоків повітря та збуреного повітряного потоку, що виникає в результаті руху пасажирського вагону.

На рис. 2 та на рис. 3 наведено схеми розташування однієї вітроустановки на даху пасажирського вагону та розташування фотоелектричних установок малої потужності, на яких прийняті наступні позначення: 1 – вісь обертання вітроколеса, 2 – лопаті вітроколеса, 3 – генератор, 4 – опорна муфта, 5 – дах пасажирського вагону, 6 – фотоелектричні установки.

Тож, на даху пасажирського вагону встановлюється принаймні одна вітроустановка, чи вісім фотоелектричних установок малої потужності.

При чому вона монтується таким чином, щоб габарити вітроколеса задовольнялися потребам вимог експлуатації вагонів та не заважали обслуговуванню вагону та були на безпечній відстані від контактної лінії. Слід зазначити можливість встановлення гібридних систем.

Таким чином, у результаті руху вагону виникають збурення турбулентних повітряних потоків, що набігають на лопаті вітроколеса 2 та приводять його в рух. Як наслідок кінетична енергія колеса передається на вал генератора 3, який генерує електричну енергію. Згенерована електроенергія надходить безпосередньо до електромережі пасажирського вагону.

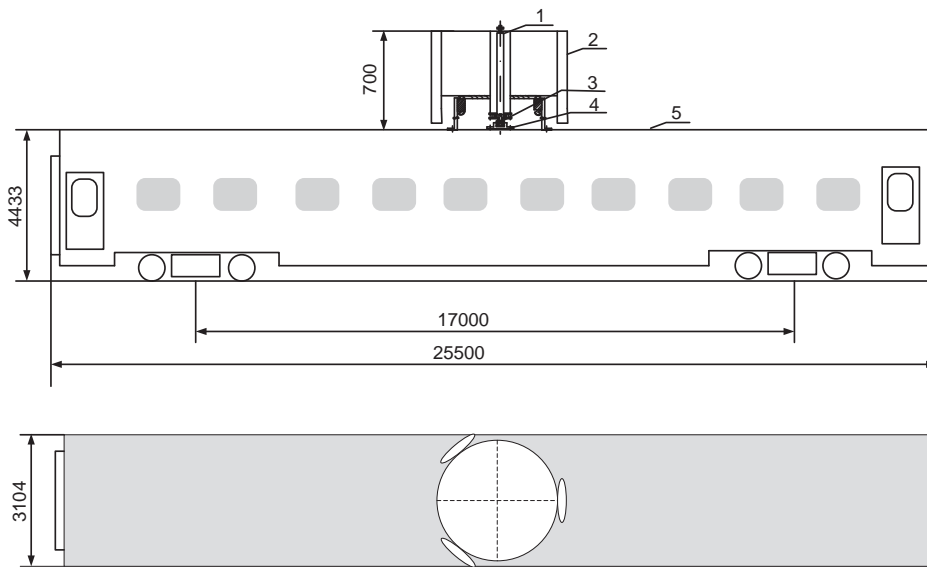


Рис. 2. Розташування вітроенергетичної установки на конструкції пасажирського залізничного вагону

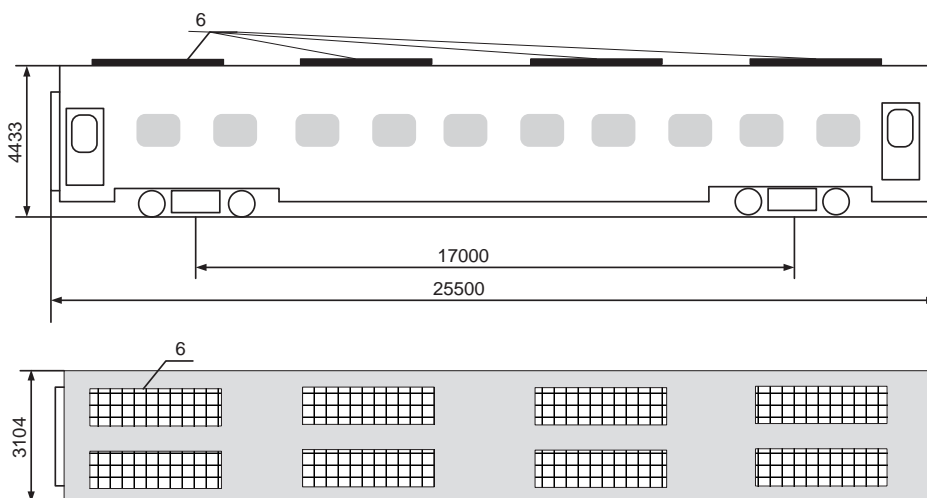


Рис. 3. Розташування фотоелектричної установки на конструкції залізничного пасажирського вагону

Завдяки такому розташуванню вітроустановки забезпечується вироблення електроенергії в умовах руху пасажирського вагону та під час його стоянки.

Під час експлуатації рухомого складу вагонів в денний час, за допомогою фотоелектричних установок виробляється електрична енергія при попаданні на них сонячної інсоляції. Завдяки такому розташуванню фотоелектричних установок, забезпечується генерація додаткового обсягу електричної енергії як під час руху вагонів так і під час стоянки.

**Висновки.** 1. Зважаючи на перспективність розвитку залізничного транспорту на теренах України та світу, актуальним залишається питання налагодження безпечних та надійних перевезень різних типів вантажів та пасажирів залізничним транспортом.

2. Запропоновано впроваджувати автономні джерела електричної енергії в умовах залізничного транспорту та розроблено ряд рекомендацій щодо впровадження відновлювальних джерел електричної енергії в умовах рухомого складу вагонів залізничного транспорту.

#### Список літератури:

1. Сторонянська І.З. Стале ендегенне зростання регіонів України в умовах децентралізації: монографія. Львів: ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України», 2019. 501 с.
2. Державна служба статистики. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
3. Analitichnyy ohlyad «LCOE vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi v Ukrayini» Кууiv 2018 27 s.
4. Соколова О. Є. Концептуальні засади формування мультимодальної системи перевезення вантажів. *Наукоємні технології*. 2014. № 1. С. 114–118.
5. Бойко С.М., Котов О.Б. Перспективи розвитку мультимодальних технологій пасажирських перевезень на регіональному рівні в аспекті «зеленої» логістики. *Системи та технології*, 2023. Випуск 1 (65), С. 94–99.
6. Бойко С. М., Жуков О. А., Коваль А. М., Бомбик В. С. Особливості конфігурації систем керування інверторів фотоелектричних установок. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2024. № 1. С. 115–121.
7. Стаднік М. І., Проценко Д. П., Бабій С. М. Гібридне електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. № 4 С. 33–41.
8. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. Вінниця : ВНТУ, 2014. 204 с.
9. Крихтіна Ю. О. Державна політика розвитку транспортної галузі України: теорія, методологія, практика: монографія. Харків: «Діса плюс», 2022. 336 с.
10. Steadie Seifi M., Dellaert N. P., Nuijten W., Van Woensel T., & Raoufi R. Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 2014. 233 (1), pp. 1–15.

#### **Boiko S.M., Kotov O.B., Zhukov O.A., Koval A.M., Rykov G.Yu., Lapina O.S. RELEVANCE AND FEATURES OF IMPLEMENTATION OF RENEWABLE SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY IN THE CONDITIONS OF RAILWAY TRANSPORT**

*The article is devoted to the development of recommendations for the introduction of additional sources of electrical energy into the power supply system of rolling stock of railway transport in order to ensure safety measures, reliability of cargo delivery and passenger comfort. The article defines the basic requirements for autonomous power supply systems of various types of wagons. Attention is drawn to the fact that mainline railway transport occupies a leading place in the field of domestic and global freight and passenger transportation, and the most common power supply systems for passenger cars in Ukraine are autonomous or mixed, and to power car consumers, electrical energy is produced directly in the car itself by a rotating undercar generator by a pair of wheels. In the article, taking into account all the mentioned aspects, conditions and factors, an approach is proposed to ensure the safety of functioning of electrified complexes of transport hubs and, especially, main railway transport. Also, based on research results, the article proves the possibility of introducing renewable sources of electric energy in the conditions of rolling stock of railway transport cars. Therefore, during the operation of rolling stock during the day, due to the introduction of photovoltaic installations, electric energy is produced when solar insolation hits them, and when the wind installation is introduced, electricity generation is ensured in the conditions of movement of the passenger car and during its parking. The article is devoted to the issues of improving the existing power supply systems of rolling stock of railway cars and designing new power plants with the aim of maintaining an appropriate level of safety when operating in conditions of blackout of the main sources of electrical energy. It was determined that, taking into account the perspective of the development of rail transport in Ukraine and the world, the issue of establishing safe and reliable transportation of various types of cargo and passengers by rail remains relevant. It is proposed to implement autonomous sources of electrical energy in the conditions of railway transport, and a number of recommendations have been developed for the introduction of renewable sources of electrical energy in the conditions of rolling stock of railway transport cars.*

**Key words:** railway transport, renewable energy sources, safety on railway transport, autonomous sources of electric energy, transport system.