

ТРАНСПОРТ

УДК 656.259

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.1/29>

Бех Я. П.

Український державний університет науки і технологій

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ

Запропоновано раціональне використання енергетичних ресурсів, що підвищує енергоефективність. Бо на сучасному рівні розвитку технологій можна створити такі пристрої, які не знижують ефективність своєї роботи при підключенні відновлюваних джерел енергії. Тому пропонується їх впровадження, що дозволить досягти економічно ефективного використання енергетичних ресурсів та дотримуватись вимог до охорони навколишнього середовища.

Досліджено використання альтернативної енергії на залізничному транспорті, що також дозволяє дотримуватись стратегій збереження енергії та зменшення шкідливих викидів вуглекислого газу.

Проведено аналіз іноземного досвіду, який показує зростаючий інтерес світової науки до альтернативної енергії. Найпоширенішими джерелами альтернативної енергії є енергія сонця та вітру, отримані з використанням сонячних батарей та вітрових турбін.

Розглянуті різні методи їх розміщення – від цілих полів з панелями або турбінами для великих обсягів енергії до малих місцевих установок для живлення конкретних об'єктів та пристроїв.

Досліджено використання тягових потужностей залізниць, які можуть широко використовувати нові та відновлювані джерела енергії, не пов'язаної з тягою, яка також може використовуватись у великих обсягах. Електрична енергія, отримана з нових та відновлюваних джерел енергії, також може використовуватись в широкому спектрі.

Враховано активний розвиток напрямку сонячної енергії у багатьох країнах. Завдяки розробці нових технологій вартість сонячних батарей та перетворювачів швидко знижується. Відновлювана електроенергія в деяких країнах дає електроенергію за тими ж або нижчими цінами, що і традиційні викопні типи палива. Сонячна енергія може стати однією з головних, бо це чисте, невичерпне джерело енергії, і найближчим часом очікується дефіцит палива традиційної енергетики.

Досліджена світова практика використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що розширюється, але в Україні цей процес розвивається надзвичайно повільно. Враховуючи важливе значення ВДЕ в економіці вуглеводневих ресурсів, забезпечення енергетичної безпеки країни, а також у забезпеченні електроенергією транспорту, запропоновано більше уваги приділяти розвитку цього напрямку.

Розроблена технологія, яка підвищує ефективність енергетичних ресурсів залізниць, в галузі автоматизації та телемеханіки. В залізничній енергетичній системі пристрої з автоматизації та телемеханіки належать до першої категорії і вважаються одними з основних споживачів. Тому їх слід забезпечити джерелом гарантованого живлення. Враховуючи той факт, що в Україні близько 50–60 % днів на рік є сонячними, пропонується перспектива реалізації системи енергопостачання пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки (ЗАТ) від сонячних батарей. Наприклад, об'єкти управління стрілочних переводів (СПР).

Ключові слова: енергозбереження, сонячна енергія, залізнична автоматика, альтернативні джерела живлення, відновлювальна електроенергія.

Постановка проблеми. Залізничний транспорт має унікальні конкурентні переваги у використанні нових і відновлюваних джерел енергії [4, с. 159; 5, с. 457], що проявляються у двох ключових аспектах:

По-перше, електроенергія, що використовується для руху поїздів, сприяє диверсифікації джерел

виробництва електроенергії. Окрім традиційних вугільних і гідроенергетичних ресурсів, залізниця може активно використовувати енергію з альтернативних джерел, таких як біомаса, вітер, сонце, морські припливи, геотермальні ресурси, водень тощо.

По-друге, залізнична інфраструктура включає велику кількість станцій, що споживають значні

обсяги енергії. Це дозволяє ефективно застосовувати електричну та теплову енергію, отриману з нових і відновлюваних джерел, у масштабах всієї галузі.

Таким чином, розвиток використання екологічно чистих енергетичних ресурсів на залізницях сприяє енергозбереженню, зниженню рівня шкідливих викидів і загальному скороченню вуглецевого сліду залізничного транспорту. Це дає змогу залізницям стати лідерами у впровадженні сталих енергетичних рішень для великомасштабних перевезень [6, с. 48].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У Великій Британії відкрили першу у світі сонячну електростанцію, що забезпечує енергією залізничну лінію. Близько сотні сонячних панелей підтримують роботу системи сигналізації та освітлення на автомагістралі поблизу Олдершота в Гемпширі. Цей проєкт може стати першим кроком до запровадження електропоїздів, що працюють на сонячній енергії, у залізничній мережі.

Уряд Великобританії інвестує мільярди фунтів у електрифікацію залізниць і планує реалізувати цей процес із використанням сонячної енергії. Однією з ключових цілей є повна відмова від дизельного палива в залізничному транспорті до 2040 року. Влада впевнена, що відновлювані джерела можуть покрити 20 % потреб Ліверпульської залізничної мережі Merseyrail, а також 15 % енергоспоживання приміських ліній у Кенті, Сассексі та Вессексі, а також поїздів в Единбурзі, Глазго, Ноттінгемі, Лондоні та Манчестері.

Окрім того, що сонячні електростанції виробляють екологічно чистішу енергію, ніж дизельна, вони також можуть пропонувати електроенергію за нижчою вартістю порівняно з традиційними джерелами [5, с. 458, 6, с. 49].

Управління залізничним оператором Deutsche Bahn у Німеччині підписало угоду з розробником сонячних електростанцій Enerparc про пряме постачання «зеленої енергії».

У рамках контракту Enerparc побудує сонячну електростанцію потужністю 42 МВт, яка забезпечить електроенергію безпосередньо до контактної мережі Deutsche Bahn. Сьогодні Deutsche Bahn є найбільшим споживачем відновлюваної енергії в Німеччині. Частка «зеленого генератора» наразі вже 60 % від загального споживання електроенергії.

До 2038 року Deutsche Bahn планує повністю перейти на використання відновлюваних джерел енергії [1, с. 2].

У Швейцарії почали встановлювати сонячні батареї безпосередньо на залізничних коліях. Пла-

нується встановити близько 60 сонячних батарей на 500-метровій частині залізниці поблизу міста Невшателль. Спочатку вся електроенергія, що виробляється, буде надіслано для місцевих домогосподарств, але в майбутньому частину електроенергії можна використовувати для забезпечення руху поїздів.

У районі Переяслав-Хмельницька, відкрита найбільша сонячна електростанція в Україні, панелі якої розташовані на дахах будинків.

Потужність електростанції становить 12,4 мегават. За приблизними підрахунками, вона може виробляти 15 мільйонів кіловат-годин на рік. На зараз, йде використання в приватному бізнесі, але такі проєкти можуть бути застосовані й на залізницях [3, с. 66].

Постановка завдання. Метою статті є визначення можливостей використання сонячних батарей у забезпеченні електроенергією СПР для їх управління та контролю на залізничних станціях України. Відповідно до цього, встановлені такі завдання:

- вивчення середнього добового споживання електроенергії СПР на залізничних станціях при переводі стрілок та їх контролю, а також під час технічного обслуговування;
- вивчення технологій для встановлення сонячних батарей на будівлях залізничної інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. Найбільш розповсюдженим видом на залізницях є станції проміжного типу. Їх кількість складає приблизно 70–75 % від загальної кількості залізничних станцій. На таких станціях набагато менше технологічних операцій, ніж на інших типах станцій. Тому розгляд можливостей застосування сонячних батарей для енергопостачання пристроїв ЗАТ з на проміжних станціях виправданий. Подальші дослідження можуть охоплювати об'єкти й на станціях більш складного типу.

Для прикладу розглянемо проміжну станцію з інтенсивністю руху 40 пар поїздів за добу. Станція має 5 приймально-відправних колій (3 з них використовуються для безперервного пропуску), 2 тупики та 4 під'їзних колії. Централізація включає 29 рейкових ланцюгів, 15 поїзних, 16 маневрових світлофорів, 1 показник маршруту, 21 стрілочний перевід.

На розмір пропускної здатності суттєво впливають стрілочні переводи, оскільки операції схрещення, обгону, прийому, відправлення поїздів та маневрові пересування проводяться як раз по ним. Крім того, споживання електроенергії

СПР вважається одним із найвищих для пристроїв ЗАТ.

Споживання електроенергії СПР залежить від інтенсивності переведення стрілок, у свою чергу, вона залежить від кількості технологічних операцій, проведених під час прийому та відправлення поїздів, маневрової роботи та контрольних перевірок переводів.

Була розрахована добова інтенсивність поїздів по станції. У денні та нічні зміни, пропуск поїздів: на день – 19 поїздів у парному, 20 поїздів у непарному напрямку; у ніч – 11 поїздів у парному, 19 поїздів у непарному напрямку. Більшість пересувань – це беззупинковий пропуск поїздів. 34 маневри були вчинені на день, а 24 в ніч.

Порівняння кількості проїжджаючих поїздів та кількості стрілочних переводів показує, що всі стрілки на станції не переводяться з кожним маршрутом. Основні маршрути поїздів встановлюються по головній колії та по коліям беззупинкового пропуску. Маневрова робота виконується, без виїзду на основні колії. Деякі стрілки не переводяться. На під'їзні колії подача та забирання поїздів проводиться 2–4 рази на місяць. Три стрілки переводяться під час подачі-забирання та перевірки щільності прилягання вістряка до рамної рейки згідно з графіком.

Розрахунки показують, що в середньому одна стрілка на день може переводитись у парній горловині 18 разів, а в непарній 17 разів. При обчисленні споживання електроенергії необхідно враховувати максимальне навантаження, щоб забезпечити безперебійне живлення пристроїв ЗАТ.

Потужність електродвигуна є корисною механічною потужністю на валу електродвигуна. Це залежить від тягових зусиль стрілочного переводу. Сила переводу стрілки витрачається на подолання сили тертя частин, що переміщуються. Зусилля щодо подолання опору в шарнірах визначаються експериментально. Споживана та корисна потужність електроприводів з електричними двигунами постійного струму визначається наступними формулами:

$$P_{\text{спож}} = UI, \quad (1)$$

де U – напруга на затискачах електродвигуна, В; I – струм, що споживається, А.

$$P_{\text{корисн}} = \frac{Fl}{t}, \quad (2)$$

де F – навантаження на шибери, Н; l – відстань ходу шибера, мм; t – час переведення, с.

На станції встановлені електроприводи типу СП-6М та СП-12У з електродвигунами постій-

ного струму потужністю 0,25 кВт. Максимальна сила тяги СП-6М – 6000 Н, СП-12У – 6500 Н, максимальний час переведення 7–10 с, джерело живлення 160 В постійним струмом.

Одиниця вимірювання енергії – Ватт-година. Вона визначає кількість роботи, що виконана електричним пристроєм. Наступна формула використовується для переводу Вт у Вт·год:

$$E = Pt, \quad (3)$$

де E – енергія, Вт·год; P – потужність, Вт; t – час, год.

Щоб забезпечити гарантоване електроживлення, обчислимо розрахунок за найгірших умов, тобто під час максимального навантаження та часу переведення.

За формулою 3 визначаємо витрату енергії за годину роботи одного електроприводу. Робочий ланцюг за 1 переведення витрачає 0,0028 години, споживає 880 Вт та 2,5 Вт·год. Контрольний ланцюг за 1 годину споживає 5,4 Вт та 5,4 Вт·год.

Кількість переведень стрілок, що часто використовуються на станції становить 25. Ця сума може досягати від 30 до 35 переведень на день. Тоді споживання енергії за добу однією стрілкою буде рівним:

$$E_{\text{роб.ланц}} = 35 \cdot 2,5 = 87,5 \text{ Вт} \cdot \text{год},$$

$$E_{\text{контр.ланц}} = 24 \cdot 5,4 = 129,6 \text{ Вт} \cdot \text{год},$$

$$E_{\text{заг.стрлк.}} = 129,6 + 87,5 = 217,1 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

В непарній горловині працює 13 електроприводів, в парній – 11. При однаковому використанні всіх стрілок, загальна споживна енергія на станції буде дорівнювати:

$$E_{\text{заг.ст.}} = 24 \cdot 0,2171 = 5,21 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Потужність сонячних батарей можливо розрахувати за наступною формулою:

$$P_{\text{сб}} = \frac{E_{\text{с}} k P_{\text{інс}}}{E_{\text{інс}}}, \quad (4)$$

де $P_{\text{сб}}$ – потужність сонячної батареї, Вт; $E_{\text{с}}$ – енергія, що споживається за добу, Вт·год; $E_{\text{інс}}$ – середньомісячна зимова інсоляція, кВт·год/м²/день; $P_{\text{інс}}$ – потужність інсоляції на поверхні, 1000 Вт/м²; k – коефіцієнт втрат на заряджання-розряджання акумуляторів, перетворення постійної напруги в змінну (1,2–1,4).

Кількість сонячних панелей розраховується за формулою:

$$N_{\text{сн}} = \frac{E_{\text{с}}}{P_{\text{сб}} t_{\text{ве}}}, \quad (5)$$

де N_{en} – кількість сонячних панелей; E_c – енергія, що споживається за добу, Вт·год; P_{cb} – потужність сонячних батарей, Вт; t_{ee} – час середньодобового вироблення енергії сонячними батареями, год.

Для побудови потужних сонячних електричних станцій зручно використовувати фотоелектричні модулі (панелі) великої номінальної потужності, що зменшує кількість комутаційних з'єднань на кіловат потужності та збільшується надійність системи. Пропонується монокристалічна сонячна панель 60 Вт та площею 0,5 м². Відповідно до часу доби, основне виробництво електроенергії припадає на денні 8 годин. При обчисленні всі нюанси погодних умов визначаються даними про параметри сонячної інсоляції.

У країнах з високою сонячною активністю взимку можливо забезпечити щоденну потребу в електроенергії при встановленні сонячної батареї потужністю 60 Вт для кожної стрілки. Влітку цієї енергії виробляється вдвічі більше.

У північних країнах сонячні батареї з такою потужністю не можуть виробити достатню кількість енергії взимку, хоча вони можуть забезпечити необхідну енергію в літні дні. На жаль, похмурі дні в зимові місяці в Україні тривають тижнями. Зважаючи на це, необхідна установка

батарей та великої кількості акумуляторів, що потребує багато площі, яка на залізницях дуже обмежена.

Висновки. Зважаючи на міркування про безпеку транспорту, оптимізації структури споживання енергії в залізничній галузі не приділяли достатньо уваги. Насправді, судячи з вимог до функціонування залізниць з низьким рівнем викидів вуглецю, оптимізація структури споживання енергії в є важливою та критичною. Найкращий спосіб оптимізації – це, в основному, повне використання нових та відновлюваних джерел енергії. Пропонуються наступні два варіанти:

Повне джерело живлення – система живлення працює у подвійному режимі, тобто вона підключена до локального енергетичного сектору. Коли сонячна система має надмірну потужність, її можна подати в енергетичний сектор для міського живлення.

Гібридний режим живлення з іншими джерелами енергії – в деяких районах, де немає співпраці з місцевим відділом живлення, застосовується повне використання великих ресурсів сонячної та вітрової енергії по маршруту для виробництва електроенергії. Як аварійні джерела резервного живлення, можуть бути додані дизельні генератори.

Список літератури:

1. Energy Policies of IEA Countries – Germany 2013 Review // Organization For Economic Co-Operation and Development (OECD). – France, 201. – 206 p.
2. J.A. Aguado, A.J. Sanchez-Racero, S. de la Torre. Optimal Operation of Electric Railways with Renewable Energy and Electric Storage Systems // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2018. – Vol. 9. – I. 2. – Pp. 993–1001. DOI: 10.1109/TSG.2016.2574200
3. Бех Я. П. Аналіз резервних систем електроживлення пристроїв залізничної автоматики [Текст] / Системи та технології (правонаступник наукового журналу «Вісник Академії митної служби України». Серія: «Технічні науки»), № 2(66), 2023, С. 66–73.
4. Serdiuk T., Serchenko M., Dwi Mandaris, Serdiuk K., Bekh Y., Smirnov A. Renewable Energy for the Railway Automatics and Telecommunications Systems. *12th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: матеріали міжнар. наук.-техн. конф.* Yogyakarta, Indonesia 19-20th February, 2025, С. 158–160.
5. Q. Cheng, Energy management system of a smart railway station considering stochastic behaviour of ESS and PV generation. *Proceedings of the 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)*. Taichung, Taiwan, 6–8 December 2018; IEEE: New York, NY, USA, 2018; pp. 457–460.
6. Serdiuk T. Electromagnetic compatibility and analysis of power quality parameters of consumers of traction substations. *Electromagnetic compatibility and safety in railway transport*. 2019. No. 17. P. 48–60.

Bekh Ya. P. USE OF SOLAR ENERGY TO POWER RAILWAY ELECTRICAL DEVICES

The rational use of energy resources is proposed, which increases energy efficiency. Because at the current level of technology development, you can create devices that do not reduce the efficiency of their operation when connecting renewable energy sources. Therefore, they are introduced, which will allow to achieve economically efficient use of energy resources and comply with the requirements for environmental protection.

The use of alternative energy on railway transport is investigated, which also allows you to adhere to energy conservation strategies and reduce harmful carbon dioxide emissions.

An analysis of a foreign experience shows the growing interest of world science in alternative energy. The most common sources of alternative energy are the energy of the sun and wind obtained using solar panels and wind turbines.

Different methods of placing them are considered – from entire fields with panels or turbines for large energy to small local installations to power specific objects and devices.

The use of traction capacity of railways, which can widely use new and renewable energy sources, which can also be used in large volumes. Electricity obtained from new and renewable energy sources can also be used in a wide spectrum.

The active development of solar energy in many countries is taken into account. Thanks to the development of new technologies, the cost of solar panels and converters is rapidly reduced. Renewable electricity in some countries gives electricity at the same or lower prices as traditional fossil types of fuel. Solar energy can be one of the main ones, because it is a clean, inexhaustible source of energy, and the fuel of traditional energy is expected in the near future.

The global practice of using renewable energy is investigated, but in Ukraine this process is developing extremely slowly. Considering the importance in the Economy of Hydrocarbon Resources, ensuring the energy security of the country, as well as in ensuring the electricity of transport, it is proposed to pay more attention to the development of this area.

The technology has been developed that increases the efficiency of energy resources of railways, in the field of automation and telemechanics. In the railway power system, automation and telemechanics devices belong to the first category and are considered one of the main consumers. Therefore, they should be provided with a source of guaranteed power. Considering the fact that in Ukraine about 50–60 % of days a year is sunny, the prospect of implementing the power supply system of railway automation and telemechanics from solar panels is offered. For example, the control objects of arrow transfers.

Key words: *energy saving, solar energy, railway automation, alternative power sources, renewable electricity.*