УДК 620.9

ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЖИВЛЕННЯ НЕТЯГОВИХ СПОЖИВАЧІВ

Ю.Г. Качан[1], В.В. Кузнецов[2]
[1] Україна, Запоріжжя, Національний університет «Запорізька політехніка»
[2] Україна, Дніпро, Національна металургійна академія України

ON THE PRACTICAL APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN NON-TRACTION CONSUMER POWER SYSTEMS

Y. Kachan[1], V. Kuznetsov[2]
[1] Ukraine, Zaporizhzhia, Zaporizhzhia Polytechnic National
[2] Ukraine, Dnipro, National metallurgical academy of Ukraine

Мета. Обґрунтувати практичне застосування відновлювальних джерел енергії в системах живлення нетягових споживачів.

Методика дослідження ґрунтується на сучасних методах обчислювальної математики, статистики та аналізу інформації з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Результати дослідження. На підставі усереднених даних споживання електроенергії виконано розрахунок сонячної електростанції, обрано тип і кількість застосовуваних фотоелектричних перетворювачів.

Наукова новизна полягає у впровадженні відновлюваних джерел енергії в систему електропостачання нетягових споживачів залізничного транспорту

Практичне значення. Використання додаткових відновлюваних джерел енергії для живлення нетягових споживачів призводить до мінімізації витрат електроенергії.

Ключові слова: *відновлювані джерела енергії, якість електричної енергії, пристрої сигналізації, централізації і блокування, мережі електропостачання залізничного транспорту, тягові і нетягові споживачі, сонячна електростанція, вітроелектростанція, виробництво електроенергії, фотоелектричний модуль.*

Вступ. У зв'язку із негативною економічною ситуацією, яка склалася в Україні в останні роки, а саме, постійним зростанням цін на електричну енергію, виникла необхідність в розробці заходів щодо впровадження енергозберігаючих технологій, спрямованих на зниження вартості останньої в різних областях господарської діяльності нашої країни, в тому числі і залізничному транспорті, який є одним з найбільших її споживачів. Проблема зниження споживання електричної енергії в мережах електропостачання залізничного транспорту частково може бути вирішена і за рахунок впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1].

Як відомо [2], потенціал освоєння ВДЕ в Україні складає 98 млн. тон умовного палива на рік, в тому числі: біоенергетика – 31 млн. тон умовного палива, вітроенергетика – 28 млн. тон умовного палива, теплові насоси – 18 млн. тон умовного палива, геотермальна теплова енергетика – 12 млн. тон умовного палива, сонячна енергетика – 6 млн. тон умовного палива, мала гідроенергетика – 3 млн. тон умовного палива. У джерелі [2], автором зазначено, що в 2011 році встановлена потужність об'єктів енергетики, які виробляють електроенергію з відновлюваних джерел, склала 413,44 МВт, виробництво електроенергії склало 332,865 млн. кВт·годин (0,17% від загального обсягу виробленої електроенергії).

Згідно [3], встановлена потужність об'єктів, що працюють по «зеленому тарифу» у 2016 році склала 1134,8 МВт (з них сонячні електростанції (СЕС)– 530,9 МВт, вітороелектростанції (ВЕС) – 437,7 МВт, інші – 149,5 МВт); у 2017 році – 1439,8 МВт (з них сонячні електростанції – 756,0 МВт, вітороелектростанції – 465,1 МВт, інші – 167,7 МВт); у 2018 році – 2319,2 МВт (з них сонячні електростанції – 1427,3 МВт, вітороелектростанції – 532,8 МВт, інші – 202,1 МВт). Виробництво електроенергії за допомогою вищевказаних об'єктів склало: у 2016 році – 1775,0 млн. кВт·годин (з них на долю СЕС припадає 492,6 млн. кВт·годин; ВЕС – 924,5 млн. кВт·годин; інших – 357,9 млн. кВт·годин); у 2017 році – 2086,3 млн. кВт·годин (з них на долю СЕС припадає 710,7 млн. кВт·годин; ВЕС – 970,5 млн. кВт·годин; інших – 405,1 млн. кВт·годин); у 2018 році – 2792,0 млн. кВт·годин (з них на долю СЕС припадає 1101,2 млн. кВт·годин; ВЕС – 1181,1 млн. кВт·годин; інших – 509,7 млн. кВт·годин).

Згідно [4] виробництво електроенергії за допомогою відновлювальних джерел (ВЕС, СЕС, біомаса) за 12 місяців 2019 року склало 5542,2 млн. кВт·годин, що на 2909,5 млн. кВт·годин, або на 110,5% більше, ніж за відповідний період 2018 року. І ця частка дорівнює 3,6% від загальної кількості виробленої енергії в Україні за зазначений період.

Проведений аналіз виробництва електроенергії в Україні, за допомогою відновлюваних джерел за період з 2011 по 2019 роки показав, що загальна частка виробленої електроенергії за допомогою ВДЕ зросла з 0,17% до 3,6% від загальної кількості виробленої енергії всіма видами електростанцій, що вказує на тендецію постійного зростання генерації електроенергії за рахунок альтернативних джерел.

У 1997 році споживання електроенергії на тягу поїздів складало 4394 млн. кВт·годин, а у 2012 році цей показник склав 5194,7 млн. кВт·годин, при цьому середньорічний темп зміни склав +1,2% рік. Споживання електроенергії для нетягових споживачів у 1997 році склало 1589,4 млн. кВт·годин, а у 2012 році – 1018,3 млн. кВт·годин, середньорічний темп зміни склав -2,4% рік [5]. Згідно статистичній звітності наведеній в [1] у 2013 році залізничним транспортом України було спожито 5885 млн. кВт·годин електроенергії. Таким чином, мінімізація витрат електроенергії для нетягових споживачів залізничних електромереж можливо при використанні додаткових відновлюваних джерел енергії.

Виклад основного матеріалу. Раніше для забезпечення електроенергією систем залізничної автоматики [6] на Верхівцевській дистанції електропостачання (ЕЧ-3) Придніпровської залізниці застосовувалася схема, яка наведена на рисунку 1. Живлення пристроїв здійснювалося від шин змінного струму. Трансформатор підвищував напругу з 400 В до 10000 В і подавав її на спеціальні шини. Далі з зазначених шин по фідерах 10000 В напруга подавалася на ділянки живлення залізничних споживачів.

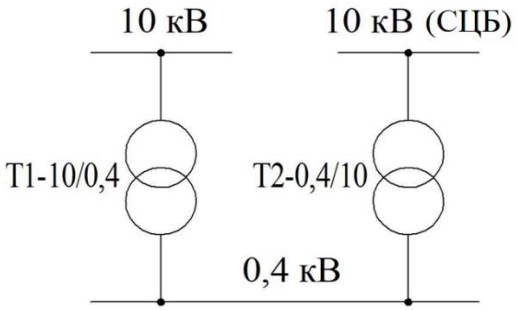

Рис. 1. Схема живлення систем залізничної автоматики (пристроїв сигналізації, централізації і блокування) з підвищенням напруги за допомогою трансформатора з 400 В до 10000 В

За схемою, зображеною на рис. 1, для живлення пристроїв сигналізації, централізації і блокування використовувалася подвійна трансформація електроенергії [7]: спочатку напруга знижувалася до рівня 400 В за допомогою трансформатора власних потреб, а потім її підвищували до того самого рівня 10000 В. За допомогою такого способу подвійної трансформації електроенергії було забезпечено розрив електричного зв'язоку між збірними шинами 10000 В і лініями 10000 В пристроїв сигналізації, централізації і блокування. При цьому було виключено будь-яку можливість підживлення місць ушкоджень при коротких замкненнях на лініях живлення пристроїв сигналізації, централізації і блокування з боку збірних шин 10000 В.

Автори запропонували доповнити схему, приведену на рис. 1, додатковою сонячною електростанцією (дивись рис. 2).

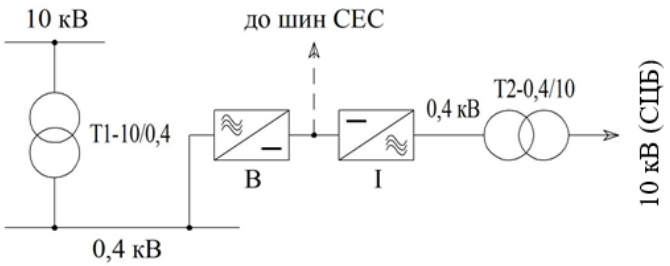

Рис. 2. Схема живлення пристроїв сигналізації, централізації і блокування з додатковою сонячною електростанцією

Як видно з схеми, що наведена на рис. 2, здійснено розрив не тільки електричного, а також і електромагнітного зв'язку збірних шин і ліній живлення пристроїв сигналізації, централізації і блокування за допомогою додатково інтегрованих в існуючу схему випрямляча В та інвертора І.

Параметри СЕС було розраховано за допомогою використання інформації щодо усереднених потреб нетягових споживачів (44144 кВт·годин на місяць, або 44144 кВт·годин на місяць /31 добу, що дорівнює 1424 кВт·годин на добу). Було обрано економічно доцільний за вартістю фотоелектричний модуль SP500M6-96, основні характеристики якого наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основі характеристики фотоелектричного модуля SP500M6-96

Характеристика	Позначення	Одиниці виміру	Величина
Максимальна потужність	P_{max}	Вт	500
Максимальна напруга	U_{max}	В	48,63
Максимальний струм	I_{max}	А	10,28
Напруга холостого ходу	U_{xx}	В	58,95
Струм короткого замикання	$I_{кз}$	А	10,87
ККД гальванічного елемента	η_c	%	19,51
Кількість комірок	n	шт.	96
Вага	m	кг	26
Загальна площа	S_1	$м^2$	2,56

Було визначено необхідну кількість фотомодулів типу SP500M6-96 для сонячної електростанції:

$$N^{CE} = \frac{P^{CEC}}{P^{CE}_{\max}} = \frac{59333}{500} \approx 120 \text{ шт.}$$

Далі, з урахуванням вхідної напруги інвертора було розраховано необхідну кількість електричних кіл з послідовно з'єднаних фотомодулів:

$$N^{CE}_{посл} = \frac{U_{інв.}}{U^{CE}_{\max}} = \frac{260}{48,63} \approx 5 \text{ шт.}$$

При цьому необхідна кількість паралельно з'єднаних елетричних кіл визначалася за потужістю кожного з фотомодулів типу SP500M6-96 та потужності всієї системи:

$$N^{CE}_{пар} = \frac{P^{СКС}_{\max}}{P^{CE}_{посл}} = \frac{59333}{2500} \approx 24 \text{ шт.}$$

Визначимо загальну площу всіх фотомодулів, які було використано для побудови сонячної електростанції:

$$S_{заг} = S_1 \cdot N^{CE} = 307,2 \text{ } м^2,$$

тобто при площі даху тягової підстанції у 462,5 $м^2$ це дорівнює 66% від неї.

Таким чином, найсприятливішим способом розміщення фотомодулів типу SP500M6-96 з відстанню між їх рядами визначено за формулою:

$$L = l_{мод} \cdot \sin \frac{[180 - (\beta + \theta) \cdot \frac{\pi}{180}]}{\sin(\frac{\theta \cdot \pi}{180})}, \quad (1)$$

де $l_{мод}$ – довжина модуля; β – кут нахилу фотомодуля до горизонту; θ – кут висоти сонця.

Отримане в результаті розрахунку значення відстані склало 1,37 м, а план розміщення фотомодулів має вигляд, який наведено на рис. 3.

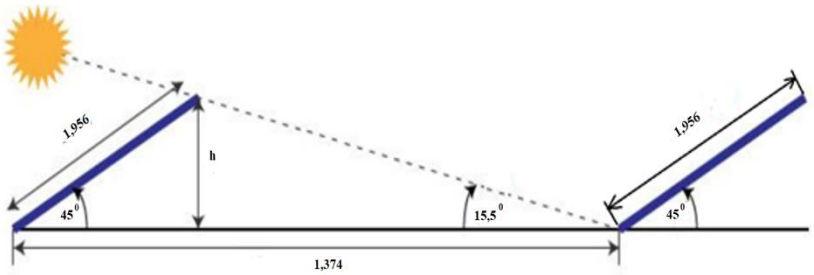

Рис. 3. План розміщення рядів фотомодулів на даху тягової підстанції

Виходячи з розмірів даху тягової підстанції (54,2 × 7,95м) фотомодулі було розташовано у три ряди по 40 штук з інтервалом в 1,37 м між ними. Загальний вигляд секції, встановлених таким чином фотомодулів, показано на рис. 4.

Рис. 4. Загальний вигляд секції фотоелектричних модулів, встановлених на даху тягової підстанції

Висновки. Треба відзначити, що узимку через невелику інтенсивність сонячної радіації і малу тривалість дня, потужність фотоелектричного модуля зменшується, таким чином кількість електроенергії згенерованою запропонованою сонячною електростанцією буде недостатньо. Для збільшення потужності сонячної електростанції необхідно збільшувати грошові витрати на встановлення додаткових модулів, а також мати зайві площі для розміщення останніх. Виходячи з того, що при невеликому обсязі генерації електроенергії за допомогою СЕС, автоматичний перемикач джерела живлення відключає останню від мережі живлення, а на протязі більшої частини року енергозабезпечення пристроїв сигналізації, централізації і блокування, згідно запропонованого авторами варіанту, продовжує здійснюватися від основного джерела, коли значна частка виробленої фотомодулями електроенергії, буде просто втрачатися.

Список використаних джерел

1. Уланов, Н.М. (2017). *Перспективные направления энерго-ресурсосбережения на предприятиях железнодорожного транспорта Украины*. Залізничний транспорт України. – 2017. – № 3. – С. 9-13. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_3_4.l
2. Подолец, Р. (2013). *Национальный доклад. «Проблемы и перспективы создания благоприятного климата для повышения энергоэффективности и энергосбережения в Украине».* 2013. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/ee21/EE21_Subregional_projects/UkrainePodolets-Rus02.pdf
3. Интегрированный отчет 2018. (2018). *Обзор отраслей и макроэкономических показателей Украины. 01. Рынок электроэнергии.* Електронний ресурс. Режим доступу: https://dtek.com/content/files/rynok-elektroenergi.pdf
4. *Виробництво електроенергії в Україні.* https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/analytics/proizvodstvo-elektroenergii-v-ukraine-u-vie-znachitelnyy-rirost.
5. Доманський, І. В. (2018). *Теоретичні основи енергоефективності та ресурсозбереження систем тягового і зовнішнього електропостачання залізниць.* Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт. Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. Харків. 2018. Шифр спецради: Д 64.089.02. Державний обліковий номер: 0518U000440. Дата реєстрації: 11-04-2018.
6. *Собственные нужды подстанций. Электросети*. http://pue8.ru/elektrotekhnik/903-sobstvennye-nuzhdy-podstantsij.html
7. Прохорский, А.А. (1983). *Тяговые и трансформаторные подстанции*. Транспорт, 436-441.

АННОТАЦИЯ

Цель. Обосновать практическое применение возобновляемых источников энергии в системах питания нетяговых потребителей.

Методика исследования основывается на современных методах вычислительной математики, статистики и анализа информации с использованием современных компьютерных технологий.

Результаты исследования. На основании усредненных данных потребления электроэнергии выполнен расчет солнечной электростанции, избран тип и количество применяемых фотоэлектрических преобразователей.

Научная новизна заключается во внедрении возобновляемых источников энергии в систему электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта.

Практическое значение. Использование дополнительных возобновляемых источников энергии для питания нетяговых потребителей приводит к минимизации затрат электроэнергии.

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, качество электрической энергии, устройства сигнализации, централизации и блокировки, сети электроснабжения железнодорожного транспорта, тяговые и нетяговые потребители, солнечная электростанция, ветроэлектростанция, производство электроэнергии, фотоэлектрический модуль.*

ABSTRACT

Purpose. To substantiate the practical application of renewable energy sources in the power supply systems of non-traction consumers.

The methodology of research is based on modern methods of computational mathematics, statistics and information analysis using modern computer technology.

Findings. Based on the average data of electricity consumption, the calculation of the solar power plant is performed, the type and number of used photovoltaic converters are selected.

The originality is the introduction of renewable energy sources in the power supply system of non-traction consumers of railway transport.

Practical implications. The use of additional renewable energy sources to supply non-traction consumers minimizes electricity consumption.

Keywords**:** *renewable energy sources, quality of electric energy, signaling, centralization and blocking devices, power supply networks of railway transport, traction and non-traction consumers, solar power station, wind power station, electricity production, photovoltaic module.*