

УДК 621.331

О. М. ПОЛЯХ – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, Polyah1956@i.ua, ORCID: orcid.org/0000-0002-1889-0457

Ю. О. КУГАЄНКО – студентка групи ЕС 1621, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, julianna15@i.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ СПОЖИВАЧІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ З НЕТРАДИЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку Укрзалізниці при тенденції зниження величини споживання електроенергії, крім того зі складною енергетичною політикою у світі і в Україні все більше уваги приділяється альтернативним джерелам електричної енергії.

Зараз почали посилюватися екологічні вимоги у багатьох країнах і це призводить до вирівнювання вартості енергії традиційних та альтернативних джерел, також на це вплинуло зростання вартості енергії традиційних електричних станцій, особливо вугільних, але завдяки технологічному вдосконаленню устаткування для джерел поновлювальної енергетики знижується їх вартість.

На території України зміна умов надання послуг з електропостачання посприяло стрімке збільшення та розвиток відновлювальних джерел електроенергії, в зв'язку з цим зросла кількість постачальників. Виникає питання про можливість використання альтернативних джерел електроенергії на власні потреби тягових підстанцій. Тому вирішення проблеми сумісної роботи споживачів власних потреб з нетрадиційними джерелами енергії є актуальним.

До власних потреб тягової підстанції входить: підігрів приводів і баків трансформаторів, охолодження котушок вимикачів, реле, пульти керування, сигналізація, пристроїв сигналізації та централізації і блокування, опалення приміщення підстанції, підсобних приміщень та душової, роздягаль-

ня і т.і.), освітлення, підзарядка акумуляторних батарей.

Для впровадження на залізниці застосування альтернативної енергетики необхідно вирішити наступні завдання: проаналізувати всі власні потреби які споживає тягова підстанція; зробити аналіз можливості розташування альтернативних джерел живлення на території тягової підстанції; дослідити як може працювати система живлення власних потреб тягової підстанції (як напряму так і в паралельному режимі роботи) [1].

Мета роботи

Метою науково-дослідної роботи являється дослідження сумісної роботи споживачів власних потреб тягової підстанції з нетрадиційними джерелами енергії.

Аналіз власних потреб спожитої електричної енергії тягової підстанції

Спожита електроенергія на власні потреби за 2017 рік представлена на рис.1.

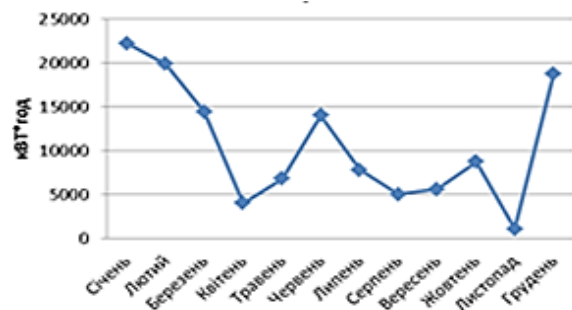


Рис.1 Графік спожитої електроенергії на власні потреби підстанції, кВт·год

Схема живлення представлена на рис.2.

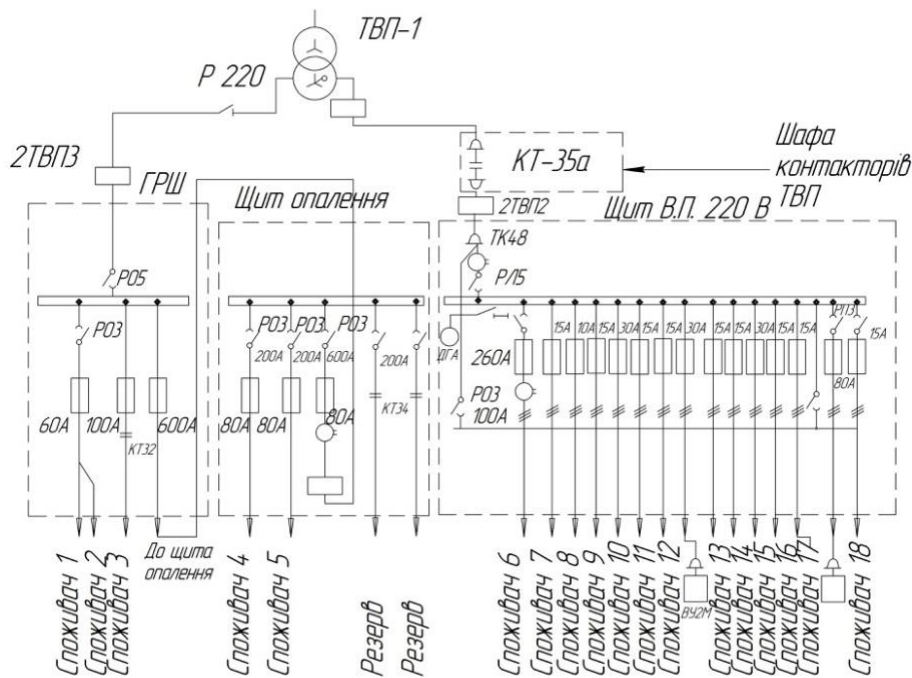


Рис. 2 Схема живлення власних потреб підстанції

Найбільше споживання електроенергії на власні потреби у січні. Середнє значення спожитої електроенергії дорівнює 717 кВт·год, і це є найбільшим середнім значенням споживання за рік в порівнянні з іншими місяцями. Тому що значна кількість енергії йде на опалення, обігрів кімнати з акумуляторними батареями і освітлення.

Аналіз спожитої електричної енергії на власні потреби тягової підстанції показав, що найбільше споживання відбувається в період з 9⁰⁰ до 15⁰⁰ години з піком у 1800 кВт·год. Тягова підстанція знаходиться на території міста, тому додаткових площ на розташування альтернативних джерел живлення вона не має. Але на тягових підстанціях розташованих за містом можна використовувати вітрову електростанцію. У нашому випадку найбільш перспективним, для власних потреб, є застосування сонячних електростанцій. До важливих переваг відносять те, що для їх впровадження не потрібні значні площі і можна використовувати дахи підстанцій, та відсутність необхідності використовувати будь-яке паливо, рухомі частини, що зношують-

ся, проведення трудомісткого технічного обслуговування для підтримки системи у працездатному стані. А їх модульність дає можливість швидкого монтажу в місцях експлуатації. Встановлено, що загальна площа даху будівлі складає 967 м².

Можливість розташування сонячних батарей на території тягової підстанції

Для ефективного використання сонячної енергії визначимо відстань між батареями та їх кут нахилу. Розрахунок зробимо для тягової підстанції постійного струму, яка споживає електроенергію на власні потреби 128604 кВт·год на рік. Для літнього періоду власні потреби складають 6143 кВт·год за місяць, тобто це 8,532 кВт в день. Для зимнього періоду власні потреби складають 18834 кВт·год за місяць, тобто це 26,16 кВт в день. Визначимо необхідну кількість фотобатарей для можливості живлення власних потреб.

Для розрахунку візьмемо основні паспортні дані фотоелектричних модулів різної потужності, що зведені в табл. 1 [2].

Таблиця 1

Технічні характеристики фотоелектричних модулів

Марка фотоелектричного модуля	ALM-100M	ALM-120M	ALM-150M	ALM-200M
Максимальна потужність, P_{\max} Вт	100	120	150	200
Максимальна напруга, U_{\max} В	17,1	16,19	18,3	37,89
Максимальний струм, I_{\max} А	5,85	7,46	8,2	5,28
Струм короткого замикання, $I_{к.з.}$ А	6,33	8,52	8,7	5,6
Коефіцієнт корисної дії, %	13,1	13,6	14	14,7
Розміри, мм	1127×67×35	1051×832×54	1482×676×35	1580×808×46
Вага, кг	15,7	12,25	11,5	15,7

Визначимо необхідну кількість фотобатарей:

$$N^{CB} = \frac{P_{ном}}{P_1^{CB}}, \quad (1)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність фотоелектричної станції, Вт; P_1^{CB} – номінальна потужність фотомодуля, Вт.

Виконаємо перерахунок загальної кількості фото батарей, враховуючи спосіб підключення їх до інвертора.

Число модулів, з'єднаних послідовно

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{інв}}{U_{\max}^{CB}} \quad (2)$$

де $U_{інв}$ – вхідна напруга інвертора, В; U_{\max}^{CB} – напруга фотоелектричного модуля, В.

Потужність послідовно з'єднаних фото батарей

$$P_{посл}^{CB} = N_{посл}^{CB} \cdot P_1^{CB} \quad (3)$$

Число фото батарей, з'єднаних паралельно

$$N_{пар}^{CB} = \frac{P_{\max}^{сис}}{P_{посл}^{CB}}, \quad (4)$$

де $P_{\max}^{сис}$ – потужність розрахункової системи.

Загальна кількість фотоелектричних модулів в системі

$$N^{CB} = N_{пар}^{CB} \cdot N_{посл}^{CB} \quad (5)$$

Розташування альтернативних джерел живлення на території тягової підстанції повинен задовольняти умові:

$$S_{заг} \leq S_{дах}, \quad (6)$$

де $S_{дах}$ – площа даху підстанції, m^2 .

З загальної площі даху підстанції можна використовувати $900 m^2$, тому що $67 m^2$ використано для інших потреб підстанції. Площі, які необхідні для розміщення елементів сонячних батарей задовольняють умові (6). [3] Результати розрахунків зведено у табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові дані для модулів різної потужності

Марка фотоелектричного модуля	Необхідна кількість фото батарей N^{CB} , шт.	Число модулів, з'єднаних послідовно $N_{посл}^{CB}$, шт.	Потужність послідовно з'єднаних фото батарей $P_{посл}^{CB}$, Вт	Число фото батарей, з'єднаних паралельно $N_{пар}^{CB}$, шт	Загальна кількість фотоелектричних модулів в системі N^{CB} , шт.	Загальна площа фотоелектричних модулів $S_{заг}$, м ²
ALM-100M	262	12	1170	22	262	197,532
ALM-120M	218	12	1482	18	218	190,168
ALM-150M	174	11	1639	16	174	174,720
ALM-200M	131	5	1056	25	131	166,985

Дослідження режимів живлення системи живлення власних потреб тягової підстанції

В роботі було розглянуто як один з варіантів зменшення витрат на електроенергію це обрання лічильників електроенергії двозонного обліку. Це дозволить оплачувати за електроенергію по зниженим тарифам. Доцільність встановлення лічильника буде залежати від обсягу споживання електроенергії в нічний час. Значної економії можна досягти, якщо перенести використання у нічний час електроприладів з великою потужністю. На основі розрахунків можна зробити висновок: якщо місячне споживання в нічний час не перевищує 25 кВт·год, то встановлювати двозонний лічильник недоцільно. Якщо в межах 25 – 100 кВт·год, то доцільність встановлення буде на розсуд споживача. Якщо ж споживання електроенергії в нічний час перевищує 100 кВт·год, то встановлення двозонного лічильника є цілком виправданим і вигідним [4, 5].

Для системи живлення власних потреб тягової підстанції, застосування двозонного лічильника дозволить зменшити витрати на електроенергію в нічний час. Таким чином можна перевести деякі технологічні опера-

ції на нічний режим роботи. Наприклад підзарядка акумуляторних батарей, живлення допоміжного обладнання, сигналізації та освітлення.

Проведемо дослідження сумісної роботи цієї системи з власними потребами тягової підстанції.

Сонячні батареї працюють лише за наявності сонячного світла. При значному зниженні робочого струму сонячного модуля при набіганні хмари або в темний час доби. Для цього слід накопичувати в акумуляторній батареї (АКБ) електричну енергію, що виробляється цими модулями протягом дня. Існують різні типи акумуляторів. Тому акумуляторні батареї для фотоелектричних систем повинні відповідати певним вимогам:

- низьким рівнем саморозряду;
- здатністю працювати в режимах глибокого розряду;
- робота з малими струмами заряду;
- робота при негативних температурах (для систем цілорічного використання);
- мінімальними вимогами з обслуговування.

Крім того вони повинні витримувати велике число циклів «заряд-розряд» та ще глибокого циклу тільки з такими якостями можна застосовувати АКБ. Автомобільні

аккумулятори для роботи в фотоелектричних системах не використовують. Їх режими роботи, розраховані на великі стартерні струми, вони абсолютно не підходять для роботи в умовах низько струмових розрядів, і як наслідок вони швидко приходять в непридатний стан. Крім того вони дуже «критичні» до глибоких розрядів і володіють високим рівнем саморозряду, особливо при низьких температурах. Для фотоелектричних систем використовують спеціалізовані аккумулятори. У більшості випадків такі АКБ не обслуговуваного типу. Найбільшого поширення набули свинцево-кислотні аккумулятори як найбільш дешеві в експлуатації. У них відносна вартість 1кВт·год енергії нижче, ніж в АКБ такої ж ємності, але виготовлених за іншими технологіями. Крім того АКБ інших типів поступаються свинцево-кислотним аккумуляторів за кліматичними характеристиками. Для наших цілей найбільше підходять аккумулятори, що виготовлені за технологіями: AGM і GEL.

Аккумулятори AGM (абсорбуючі скляні мати) фактично, це звичайна склотканина, розташована між позитивними і негативними свинцевими пластинами. У цій склотканині в «зв'язаному» стані знаходиться електроліт. Завдяки тому, що електроліт знаходиться в «зв'язаному» стані, можлива експлуатація батарей в будь-якому просторовому положенні (наприклад, на боці).

AGM аккумулятори є найдешевшими (за винятком автомобільних) з типовим терміном служби - 5 років. Однак існують моделі і з 10-и річним терміном служби. Типова модель здатна витримувати до 200 циклів розряду з глибиною 100 %, до 350 – з глибиною 50 % і до 800 – з глибиною 30 %.

Аккумулятори GEL (гель) в якості сепаратора між свинцевими пластинами застосовується силікагель, яким заливається простір між пластинами в процесі виробництва. Силікагель після застигання являє собою тверду речовину з величезною кількістю пор, в яких утримується електроліт. Завдяки тому, що силікагель повністю займає простір між пластинами, в гелевих

аккумуляторних батареях практично неможливо осипання свинцевих пластин і як наслідок, короткого замикання між пластинами і виходу з ладу.

Крім того, така конструкція дозволила поліпшити якісні характеристики гелевих аккумуляторів, а саме, число циклів розряду і стійкість до глибоких (100 %) розрядів. І якщо їх номінальний термін служби не відрізняється від терміну служби аккумуляторних батарей технології AGM і тут також існують моделі з 5-и і 10-и річним терміном, то кількість циклів типової гелевої батареї в середньому на 50 % вище. Типова модель технології GEL здатна витримувати до 350 циклів розряду з глибиною 100 %, до 550 – з глибиною 50 % і до 1200 – з глибиною 30 %.

Важливою особливістю гелевих аккумуляторів є менша схильність до сульфатації, ніж AGM, і можуть без шкоди для ємності залишатися в повністю розрядженому стані кілька днів. Якщо розряджати батарею до 100 %, то перевагу буде мати гелева [6].

Для системи живлення власних потреб в якості накопичувача електричної енергії пропонується обрати аккумулятор 6FM200EVX/J в кількості 8 штук з'єднаних послідовно-паралельно (48В).

Характеристики 6FM200EVX/J:

- напруга 12 В;
- номінальна ємність 200 А·год;
- довжина 522 мм;
- ширина 219 мм;
- висота 240 мм;
- вага 62 кг.

Контролер аккумуляторних батарей для сонячних модулів було обрано CM604.

Характеристики контролеру:

- напруга на аккумулятори 48 В;
- струм заряду 60 А;
- напруга з сонячних батарей 80 В.

Для дослідження сумісної роботи споживачів власних потреб тягової підстанції з сонячними батареями була запропонована схема, яка показана на рис. 3. Для спрощення схеми на рисунку не показані перетворювачі електричної енергії.



Рис. 3 Структурна схема сумісної роботи системи живлення власних потреб

Для дослідження сумісної роботи споживачів з сонячними батареями розглянемо наступні режими роботи системи в залежності від освітлення. Значення фото-ЕДС, що встановилося при освітленні переходу випроміненим постійної інтенсивності з максимальним освітленням описується рівнянням [7]

$$U = \frac{k \cdot T}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1 \right), \quad (7)$$

де I_s – струм насичення; I_{ph} – фотострум; k – коефіцієнт вибору зовнішнього навантаження дорівнює від 0,25 до 1; q – заряд електрона, Кл; T – температура сонячних фото елементів, К; I – інтенсивність сонячного випромінювання.

Перший режим. Коли потужність сонячної батареї при освітленні 100 % забезпечує потужності: споживачів власних потреб, заряду акумуляторів, нагріву води, продаж електричної енергії в мережу (ЛЕП) по «зеленому тарифу».

Другий режим. Потужність сонячної батареї при освітленні 90 % забезпечує потужності: споживачів власних потреб, заряду акумуляторів, нагріву води. Зме-

ншується потужність продажу у мережу по «зеленому тарифу».

Третій режим. Потужність сонячної батареї при освітленні 80 % забезпечує потужності: споживачів власних потреб, заряду акумуляторів, зменшується потужність на нагрів води, відключається живлення мережі по «зеленому тарифу».

Четвертий режим. Потужність сонячної батареї при освітленні 70 % забезпечує потужності: споживачів власних потреб, заряду акумуляторів, відключається живлення на нагрів води.

П'ятий режим. Потужність сонячної батареї при освітленні 60 % забезпечує потужності: споживачів власних потреб, відключається зарядка акумуляторів. При необхідності споживачі власних потреб живляться від сонячних батарей і акумуляторів.

Шостий режим. При освітленні менше 60 % і з глибиною 30 % розряду акумуляторів починається живлення споживачів з мережі і заряд акумуляторів (нічний або денний тариф).

Для прикладу наведемо декілька порівнянь роботи системи у графічному вигляді рис. 4 та рис. 5.

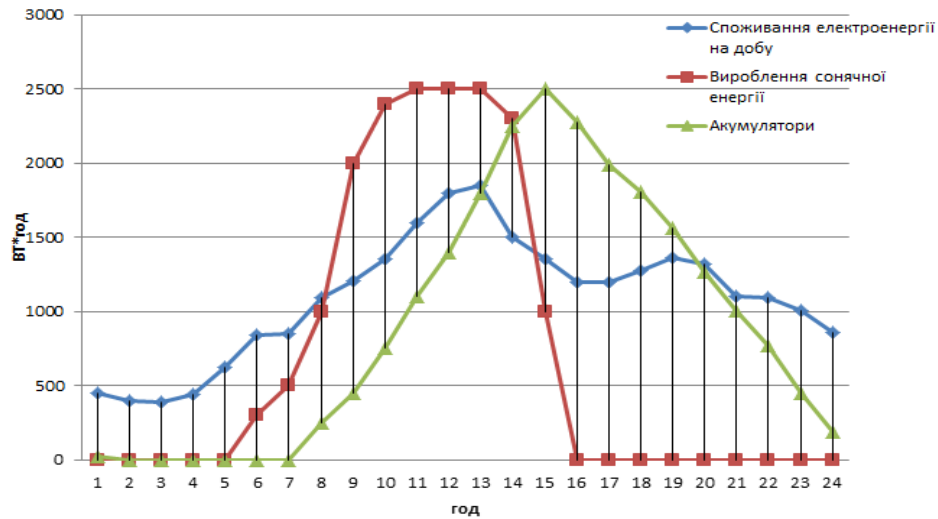


Рис.4 Графік не ефективної сумісної роботи за добу

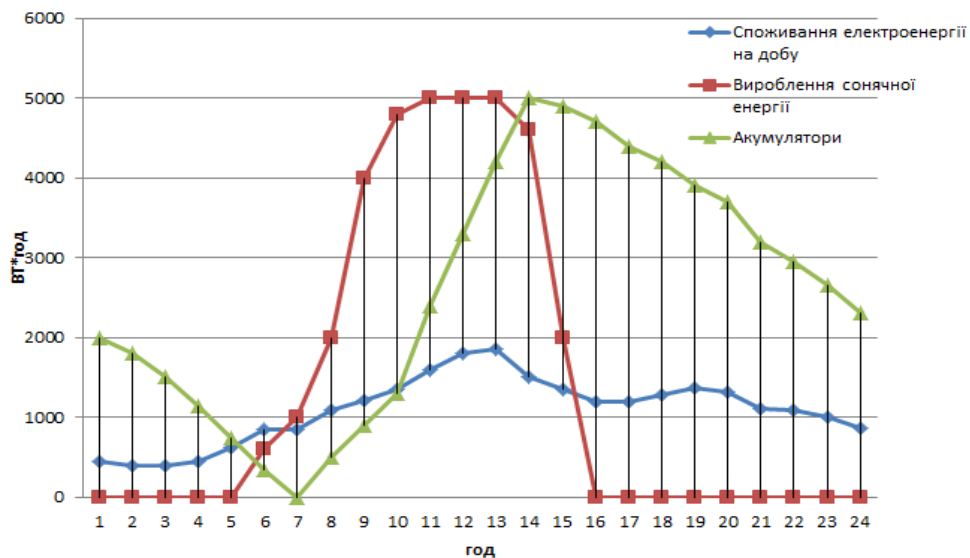


Рис.5 Графік ефективної сумісної роботи за добу

Як видно з графіка рис. 4 живлення власних потреб за рахунок сонячної енергії відбувається практично тільки з 8-ї по 20-у годину доби. На рис. 5 живлення власних потреб за рахунок сонячної енергії відбувається практично 24-и години, при розряді акумуляторних батарей на 30...50 % і продажу електричної енергії по зеленому тарифу з 9-ї по 15-у доби.

Висновок

Підводячи підсумки дослідження сумісної роботи споживачів власних потреб тягової підстанції з нетрадиційними джерелами енергії, можна зазначити наступне:

- для розміщення сонячних батарей на даху тягової підстанції складає від загальної площі 900 м², що говорить про можливість розташування фотоелектричних модулів на дахах а на тяговій підстанції в достатньо місця для розміщення акумуляторних батарей;

- проведено аналіз кількості річного споживання електроенергії на власні потреби тягової підстанції, встановлено що у січні найбільше середнє значення спожитої електроенергії 717 кВт·год;

- система живлення власних потреб за рахунок сонячної енергії має найбільший ефект при встановленні модулів потужністю

200 Вт, що працює як напряду так і в паралельному режимі, та додатково може продавати електроенергію по зеленому тарифу.

Бібліографічний список

1. Полях, О.М. Можливість використання альтернативних джерел електроенергії на власні потреби тягової підстанції G [Текст] / О. М. Полях, Ю. О. Кугаєнко, Т. П. Решетняк // «ТРАНСЕЛЕКТРО – 2016» IX Міжнародна науково-практична конференція (Дніпро, 21–23.12.2016 р.)–Д.: ДНУЗТ, 2016. – с. 26
2. Солнечная панель Altek ALM-150 M [Електронний ресурс]. Режим доступа: https://e-energy.in.ua/index.php?route=product/product&path=8&product_id=599.
3. Пастушенко, М. С. Перспективи впровадження відновлювальних джерел електричної енергії на залізничному транспорті України / М. С. Пастушенко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2013. - № 12. - С. 45 - 51.
4. Чи вигідно встановлювати двозонний електrolічильник? (<http://ecotown.com.ua/news/Koly-vyhidno-vstanovlyuvaty-dvozonnuyu-lichylnyk-elektroenerhiyi/>) Електронний ресурс.
5. Полях, О. М. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів [Текст] / О. М. Полях, Д. А. Босий, Н. О. Логвінова / Вісник Дніп-

- кого нац.ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – 2012. – № 42. – С. 110 – 113
6. Акумуляторні батареї (<http://sitem.com.ua/923alten.php>) Електронний ресурс.
 7. Виссарионов, В. И.. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов [Текст]: В. И. Виссарионов, Н. К. Малинин, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.-276с.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, сонячна електроенергія, тягова підстанція, власні потреби, фотоелектричний модуль.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, солнечная электроэнергия, тяговая подстанция, собственные нужды, фотоэлектрический модуль.

Keywords: alternative energy sources, solar power, traction substation, own needs, photoelectric module.

Рецензенты:
проф., д.т.н., А. Б. Бойник,
проф., д.т.н., А. М. Муха.

Поступила в редколлегию 25.04.2018.
Принята к печати 23.05.2018.