

*ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА*

УДК 620.92

DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-130-141

**ВИКОРИСТАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ
МОДУЛІВ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРІВ
ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ**

Галько С. В., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-57-97

Анотація – в роботі розглядається проблема можливості створення локальних енергетичних мереж для зарядки акумуляторів електромобілів на існуючих стаціонарних автозаправних станціях (АЗС) на основі відновлюваних джерел, з метою енергозбереження традиційних джерел енергії. Запропоновано створення таких мереж на основі ефективних сонячних електростанцій (СЕС), які встановлюються на даху адміністративної будівлі АЗС.

Для обґрунтування можливості використання СЕС для зарядки акумуляторних батарей електромобілів на АЗС, проведений кореляційний аналіз добових графіків навантаження (ДГН) трьох приватних СЕС, що встановлені на дахах приватних споруд, розташованих поруч з АЗС “WOG” м. Мелітополь Запорізької обл., і ДГН АЗС “WOG”. Експериментальні ДГН приватних СЕС та АЗС “WOG” отримані за три робочі дні жовтня 2018 р. Визначено коефіцієнти парної кореляції Пірсона за світовий день між еквівалентними ДГН дахових СЕС та ДГН АЗС “WOG”, які мають високі значення, тобто маємо високий кореляційний зв'язок. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про можливість використання дахових СЕС для зарядки акумуляторів електромобілів на стаціонарних АЗС.

З метою підвищення загального коефіцієнта корисної дії (ККД) СЕС, замість традиційних плоских сонячних батарей, запропоновано використовувати СЕС з когенераційними фотоелектричними модулями (ФЕМ) циліндричної форми, що охолоджуються рідиною. Це дозволить одночасно отримувати електричну і теплову енергію для господарчих потреб.

Ключові слова – акумулятор, електромобіль, сонячна електростанція, фотоелектричний модуль, коефіцієнт кореляції, когенераційний фотомодуль, добові графіки навантаження.

Постановка проблеми. Загалом в Україні за даними Міністерства внутрішніх справ станом на 1.05.2018 р. зареєстровано 7439 електромобілів, що майже вдвічі перевищує показник минулого року (до 2016 р. – 418 од., 2016 р. – 1521 од., 2017 р. – 3818 од.), повідомляє Autogeek. Україна – в п'ятірці країн щодо ринку електромобілів. У 2019 році попит на електромобілі буде ще більший – парламент знизив податки, і купити електрокар стало дешевше на 17%. До 2035 року кожний четвертий автомобіль в Україні буде електричним, прогнозує центр Разумкова [1].

Близько 56% електромобілів були зареєстровані в Києві, 1106 машин – в Одеській області, і 949 – в Харківській. Водночас можна зазначити, що в Україні відчувається гостра нестача швидких зарядних станцій – їх в десять разів менше, ніж звичайних [2].

Переорієнтація на електромобілі – глобальний тренд. Країни Європи, Китай і Індія заявили, що відмовляться від продажу машин з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) через 10-25 років. Да і самі автовиробники почали орієнтуватися на виробництво гібридів і електромобілів. Наприклад, Volvo заявила, що у 2019 році в усіх нових машин буде акумулятор і електродвигун. Плани переходу на електричні приводи оголосили BMW, Daimler і Volkswagen Group [1].

Світові продажі електричних і гібридних автомобілів з кожним роком збільшуються мінімум удвічі. Найбільше електромобілів в Китаї. На другому місці – Європа, особливо скандинавські країни. За результатами продажів 2017 року на дорогах Землі роз'їжджало 3,1 млн. електромобілів. Перше півріччя 2018 року додало до цієї цифри ще 800 тисяч. До кінця поточного року очікується, що кількість екомобілів перетне позначку в 5 млн. [1].

Відсутність інфраструктури є одним із головних бар'єрів для розвитку ринку електромобілів в Україні. Та й вартість самих акумуляторних батарей завелика. Але вже помітні зміни на краще – заправок стає все більше. За їх будівництво взялися великі корпорації, зокрема – ДТЕК. По Одеській, Київській та Харківській областях вже є непогане охоплення. Напевно, саме тому “зелені авто” тут продаються успішніше [3].

Для гарячого водопостачання на сучасних автозаправних станціях (АЗС), наприклад, WOG, SOCAR, KLO, Paralel та інших, використовуються різноманітні електричні бойлери для підігрівання води, що вимагає додаткових експлуатаційних витрат.

Аналіз останніх досліджень. Головною перевагою

електромобілів є можливість зарядки їх акумуляторних батарей в будь-якому місці, де є звичайна побутова електромережа. Для цього використовується зарядний пристрій, вмонтований в кожен електромобіль, і зарядний шнур. Самий простий спосіб зарядки електромобіля в гаражі від звичайної розетки 220/230 Вольт, 16 Ампер.

В Україні на 1.01.2019 р. нараховується 1179 станцій підзарядки електромобілів (в 2015 р. було 62 станції, в 2016 р. – 287, в 2017 р. – 577). Особливо активно мережа електрозаправок розвивається в Чернігівській, Полтавській і Харківській областях. Також відносно рівномірно покрита зарядками Західна Україна. Наявність електрозаправок уже чітко простежується вздовж головних автомагістралей: траси Київ-Полтава-Харків, Київ-Одеса, Харків-Дніпро-Запоріжжя-Мелітополь-Азовське море. Інфраструктуру зарядних станцій в Україні складають як станції, спеціалізовані тільки на підзарядці електрокарів, відомих АЗС, так і позамережеві зарядки біля ресторанів, готелів та ін. закладів [1].

Деякий науковий інтерес викликає окремий спосіб зарядки електрокара від системи сонячних батарей, які розташовані на даху адміністративних будівель АЗС [2, 3].

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою досліджень є обґрунтування можливості використання сонячних когенераційних модулів на АЗС для зарядки акумуляторів електромобілів та гарячого водопостачання.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

- проведені експериментальні дослідження трьох приватних СЕС з різною встановленою потужністю і орієнтацією у просторі та отримані ДГН за три робочі дні;
- на основі статистичних даних споживання електроенергії за тиждень побудовані ДГН АЗС “WOG”;
- виконаний кореляційний аналіз ДГН трьох приватних СЕС і АЗС “WOG” та визначені коефіцієнти парної кореляції;
- для отримання електричної і теплової енергій розроблений і виготовлений експериментальний зразок когенераційного фотоелектричного модуля циліндричної форми, що охолоджується;
- розроблена структурна схема присадибної СЕС з когенераційними фотоелектричними модулями для використання на АЗС для зарядки акумуляторних батарей та гарячого водопостачання.

В результаті поставлених задач отримані значення коефіцієнтів парної кореляції Пірсона ДГН СЕС і АЗС, які мають високі значення, що дає можливість стверджувати про можливість використання СЕС на АЗС для зарядки акумуляторних батарей електромобілів.

Основна частина Стрімкий попит на “сонячну” електроенергію пояснюється прийнятим у 2015 р. Законом України №514-VIII, яким надано вигідний “зелений” тариф власникам сонячних електростанцій (СЕС) із прив’язкою до курсу євро. Це означає, що власник СЕС може продавати надлишок згенерованої “чистої” електроенергії в мережу і швидко повертати кошти, вкладені в СЕС без застережень щодо інфляції. Держава викупує за стимулюючим “зеленим” тарифом тільки надлишки електроенергії – різницю між відпущеною в електромережу “сонячною” електроенергією і власним споживанням. Чим вище потужність СЕС, тим більше електрики може продати її власник. А значить – тим швидше він зможе повернути кошти, які були вкладені в придбання устаткування [2].

Переходити на “сонячну” електроенергію також допомагає влада на місцях. Зокрема, на Львівщині з обласного бюджету повертають 10% суми кредиту на сонячні панелі, а на Житомирщині – 20% суми кредиту. У м. Хмельницькому та м. Броди (Львівська обл.) з міського бюджету повертають 10% вартості робіт із встановлення СЕС.

Для обґрунтування можливості використання СЕС для зарядки акумуляторних батарей на АЗС, був проведений кореляційний аналіз добових графіків навантаження (ДГН) трьох приватних СЕС, що встановлені на дахах приватних споруд, розташованих поруч з АЗС “WOG” м. Мелітополь Запорізької обл. (рис. 1), і ДГН АЗС “WOG” (рис. 2). ДГН приватних СЕС та АЗС “WOG” були отримані за три робочі дні 5-7 жовтня (вівторок – середа) 2018 р.

У таблиці 1 наведені розраховані енергетичні показники кожної СЕС [4]: коефіцієнт максимальної потужності K_m та коефіцієнти використання встановленої потужності за добу $K_{ВВПд}$ і за рік $K_{ВВПр}$, а також коефіцієнт парної кореляції r_{xy} СЕС2 і СЕС3 з СЕС1.

Коефіцієнт максимальної потужності дорівнює

$$K_m = P_{\max} / P_{\text{вст}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність СЕС, кВт;

P_{\max} – максимальна (пікова) потужність, що генерує СЕС, кВт.

Коефіцієнти використання встановленої потужності за добу $K_{ВВПд}$ і за рік $K_{ВВПр}$

$$K_{ВВПд} = W_d / 24P_{\text{вст}}, \quad K_{ВВПр} = W_p / 8760P_{\text{вст}}, \quad (2)$$

де W_d – добове виробництво електроенергії СЕС, кВт·год;

W_p – річне виробництво електроенергії СЕС, кВт·год.

Коефіцієнт парної кореляції Пірсона r_{xy} визначався за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

де x_i – значення змінної x ;

y_i – значення змінної y ;

\bar{x} – середнє арифметичне значення для змінної x ;

\bar{y} – середнє арифметичне значення для змінної y .

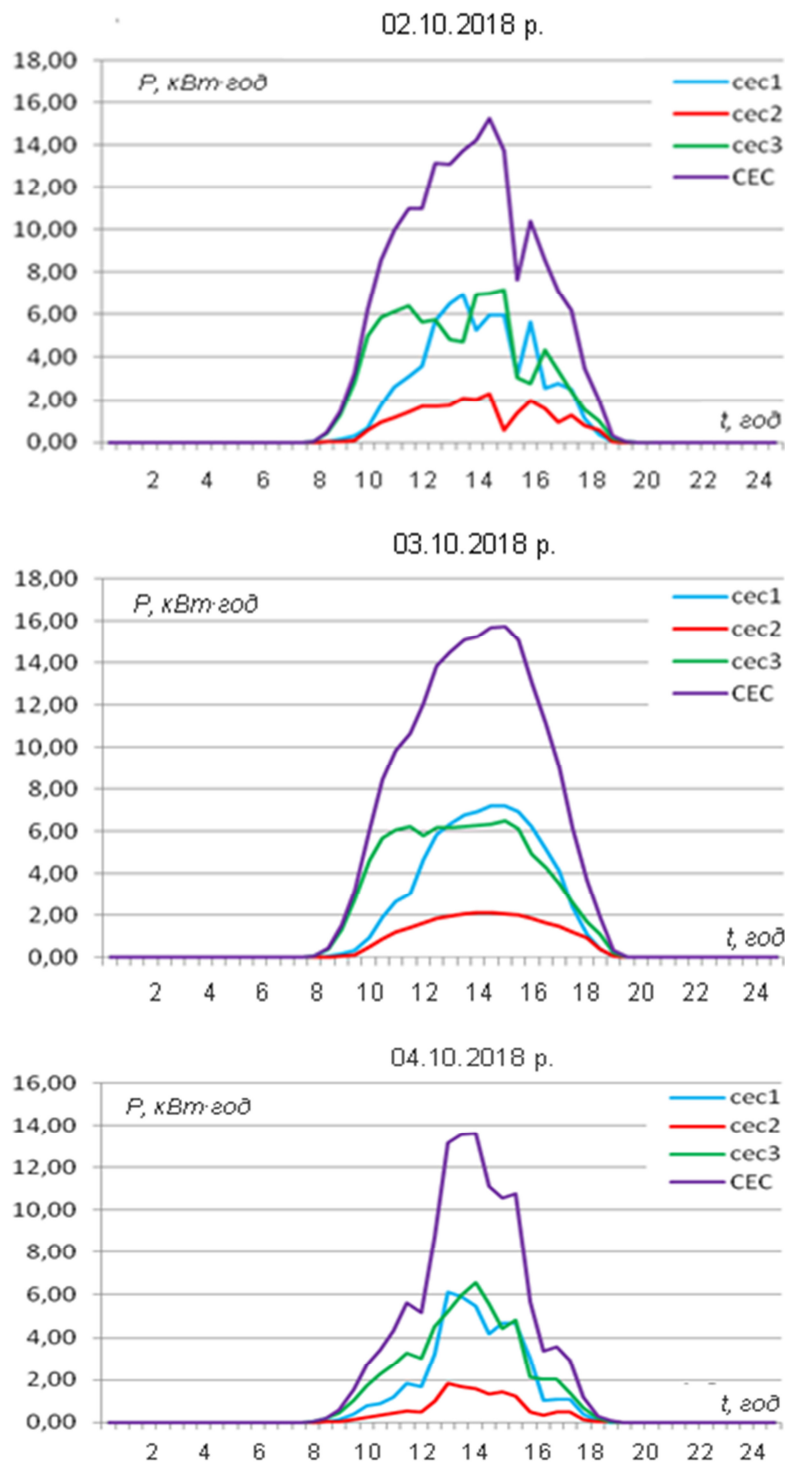


Рис. 1. ДГН приватних СЕС у м. Мелітополь

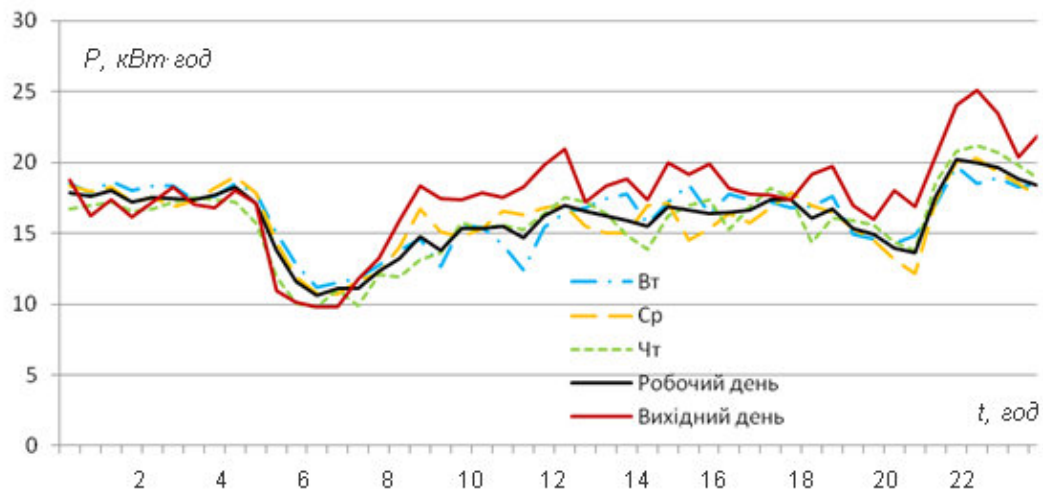


Рис. 2. ДГН АЗС “WOG”

Таблиця 1 – Енергетичні показники СЕС1, СЕС2, СЕС3 за 02.10.2018 р.

Показник	СЕС1	СЕС2	СЕС3
Орієнтація	південь	південь	схід-захід
$P_{\text{вст}}$, кВт	20	5,2	30
$P_{\text{макс}}$, кВт	7	2,25	7,1
K_m	0,35	0,43	0,237
W_d , кВт·год	60,88	25,07	88,77
$K_{\text{ВВП}d}$	0,139	0,201	0,123
W_p , кВт·год	17611	7080	27738
$K_{\text{ВВП}p}$	0,101	0,155	0,106
Коефіцієнт парної кореляції з СЕС1, r_{xy}	$r_{xy} =$	0,986945	–
	$r_{xy} =$	–	0,936412

Із аналізу таблиці 1 виходить: – найбільш високі енергетичні показники у найменш потужної СЕС2 з орієнтацією на південь, $K_{\text{ВВП}d} = 0,201$, у СЕС1 $K_{\text{ВВП}d} = 0,139$ – менший на 45%, а у СЕС3 з орієнтацією схід-захід $K_{\text{ВВП}d} = 0,123$ – менший на 63%; – кореляція ДГН у приватних дахових СЕС дуже сильна, у СЕС1 і СЕС2 з орієнтацією на південь кореляція сильніша ($r_{xy} = 0,986945$), з різною орієнтацією – у СЕС1 і СЕС3 кореляція дещо менша ($r_{xy} = 0,936412$).

Коефіцієнт парної кореляції Пірсона за світовий день між еквівалентними ДГН дахових СЕС (фіолетовий колір на рис. 1) та ДГН АЗС “WOG” (рис. 2), розрахований за формулою (3), становить $r_{xy} = 0,8536$, тобто маємо високий кореляційний зв'язок. Тому на базі дахових СЕС може бути створена локальна мережа ефективних станцій для заряду акумуляторів електромобілів на АЗС.

Недоліком традиційних плоских сонячних панелей, що

виготовляються промисловістю, і масово використовуються на СЕС, є зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) при зростанні його робочої температури. При нагріві ФЕП на один градус зверх 25°C він втрачає в напрузі $0,002\text{ В}$, тобто $0,4\%/градус$. У яскравий сонячний день елементи нагріваються до $60\dots 70^{\circ}\text{C}$ втрачаючи $0,07\dots 0,09\text{ В}$ кожен. Це і є основною причиною зниження ККД, що приводить до падіння напруги, генерованої кожним ФЕП [5].

Крім того відомо, що максимальний ККД ФЕП має при “падінні” сонячних променів перпендикулярно до його поверхні. Так як Сонце весь час “переміщується” по обрії, для ефективного використання плоских сонячних панелей, застосовують пристрої стеження панелі за сонцем, що значно ускладнює конструкцію СЕС та вимагає додаткових капітальних витрат [2].

Відомий сонячний фотоелектричний модуль циліндричної форми Solyndra, що містить дві скляні трубки, трубка меншого діаметра покрита тонкою плівкою напівпровідникового матеріалу і поміщена в таку ж трубку більшого діаметра. Така форма дозволяє збільшити кількість поглинутого світла, а отже і генерованої електроенергії, на протязі дня без зміни положення конструкції фотомодуля [2].

В Таврійському державному агротехнологічному університеті (м. Мелітополь, Україна) розроблена і запатентована удосконалена конструкція когенераційного (одночасне генерування електричної і теплової енергії) охолоджувального фотоелектричного модуля (ФЕМ) циліндричної форми і присадибна СЕС на його основі [8, 9]. Розроблена присадибна СЕС з використанням когенераційного ФЕМ з охолоджуючою рідиною, характеризується високим ККД при відносно низькій вартості у порівнянні з відомими пристроями. Технічна сутність СЕС з когенераційними охолоджувальними ФЕМ пояснюється графічним матеріалом, де на рис. 3 зображена структурна схема присадибної СЕС з ФЕМ циліндричної форми, що охолоджуються, (пат. України 103043) [9]; на рис. 4 – повздовжній і поперечний розрізи сонячного ФЕМ циліндричної форми, що охолоджується рідиною; на рис. 5 – зовнішній вигляд батареї ФЕМ.

Присадибна СЕС з когенераційними ФЕМ циліндричної форми містить батарею 1 із декількох ФЕМ 2 циліндричної форми, об'єднаних спільним охолоджувальним колектором 3, накопичувальний акумулятор 4, контролер 5, інвертор 6, споживачі постійного струму 7 приєднані до виходу контролера безпосередньо, а споживачі змінного струму 8 приєднані через інвертор 5. Об'єднання ФЕМ 2 в батарею 1 з спільним охолоджувальним колектором 3, збільшує продуктивність СЕС при підвищеному ККД. Наявність

контролера 5 забезпечує керування процесом заряду-розряду накопичувального акумулятора 4 і живлення електроприймачів 7 постійного струму, наявність інвертора 6 забезпечує живлення електроприймачів 8 змінного струму.

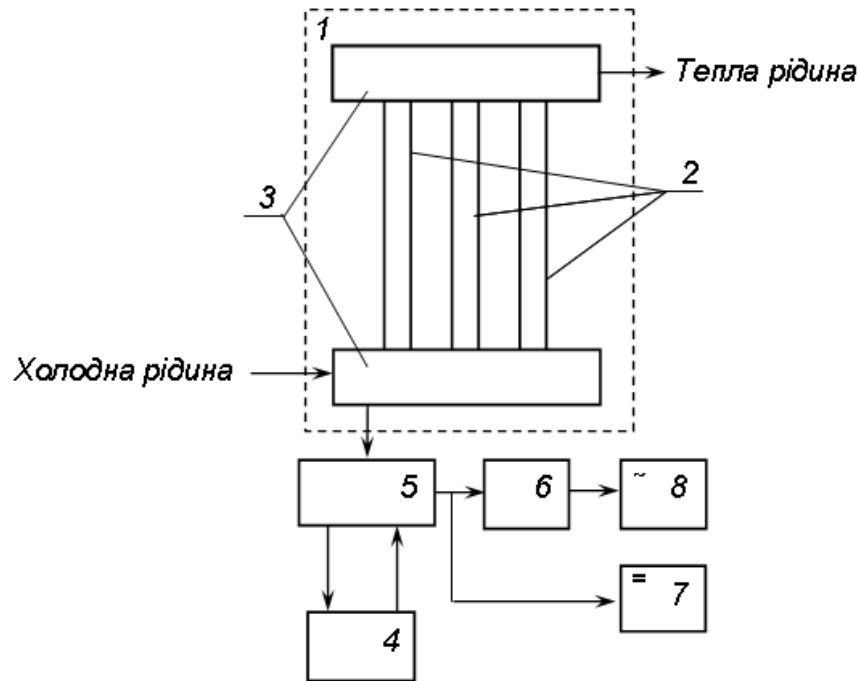


Рис. 3. Структурна схема присадибної СЕС

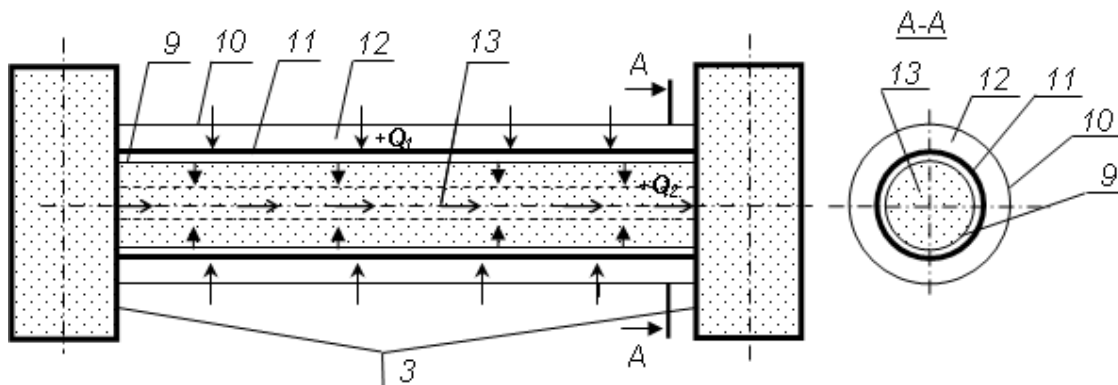


Рис. 4. Фотоелектричний модуль циліндричної форми, що охолоджується

Присадибна СЕС з ФЕМ циліндричної форми працює наступним чином. Батарея 1 із ФЕМ 2 встановлюється на даху адміністративної будівлі АЗС під кутом до горизонту, рівним географічній широті місцевості. Сонячне світло вільно проходить через зовнішню прозору трубку 10 виготовлену з міцного боросилікатного скла, яке забезпечує пропуск хвиль сонячної радіації в діапазоні 0,4...2,7 мкм, і попадає на ФЕМ 11, розташований на

внутрішній скляній трубці 9 меншого діаметра, які генерують електричну енергію. ФЕП 11 виготовлений із напівпровідникового матеріалу (аморфного кремнію) і нанесений шляхом напилювання на скляну трубку 9 тонкою плівкою.



Рис. 5. Загальний вигляд батареї ФЕМ, що охолоджуються

Така конструкція ФЕМ 1 забезпечує збільшення кількості поглинутого світла (а отже і кількості виробленої електроенергії) протягом дня, без зміни його положення.

На поверхню ФЕМ 1 циліндричної форми світло попадає під прямим кутом у вигляді трьох складових: прямого світла, розсіяного світла і відбитого світла від поверхні, на якій розташовано ФЕМ 1. Сонячне світло, що попадає на ФЕМ 1 визиває нагрів ФЕП 11 ($+Q_1$ на рис. 4), а охолоджуюча рідина 13 відбирає тепло $+Q_2$, знижує робочу температуру ФЕП 11, чим забезпечує збільшення його ККД, і за принципом термосифона поступає до верхньої частини колектора 3.

Якщо в якості охолоджуючої рідини 13 використовується вода, то після підігріву вона може використовуватися для господарчих потреб, а до нижньої частини колектора поступатиме свіжа вода з водопроводу.

Висновки.

1. За допомогою кореляційного аналізу доведено, що на базі СЕС, які встановлюються на даху адміністративної будівлі АЗС, може

бути створена локальна мережа ефективних сонячних станцій для заряду акумуляторів електромобілів.

2. З метою підвищення загального ККД СЕС, запропоновано використовувати СЕС з когенераційними ФЕМ циліндричної форми, що охолоджуються рідиною, і одночасно генерують електричну і теплову енергію.

Література:

1. Электромобиль приближает конец нефтяной эры. URL: <http://savenergy.info/page/electric-car-near-end-oil-era/> (дата звернення: 02.07.2019).

2. Аккумуляторные батареи для электромобилей. URL: <https://ecotechnica.com.ua/stati/1718> (дата звернення: 02.07.2019).

3. *Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В.* Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія. Мелітополь: Люкс, 2019. 215 с.

4. Про перспективу використання приватних сонячних електростанцій для зарядки екомобілів в Україні / *С. В. Галько* та ін. // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: матеріали VI Міжнар. наук.-техн. Інтернет-конф. (м. Харків, 19-20 лист. 2018 р.). Харків, 2018. С. 54-56.

5. *Жарков В. Я., Жарков А. В., Галько С. В.* Технічні рішення в енергозбереженні та енергоефективності // Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти: колективна монографія / за ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава, 2019. С. 401-426.

6. *Жарков А. В.* Кореляційний аналіз ДГН приватних дахових СЕС та переробних підприємств міста щодо їх інтеграції в локальну електромережу // Розвиток науки в XXI столітті. Харків, 2018. Ч. 1. С. 44-58.

7. *Ефимов В. П.* Фотопреобразователи энергии солнечного излучения нового поколения // Физика и техника полупроводников. 2010. Т. 8, № 2. С. 100-115.

8. *Галько С. В., Жарков А. В., Королев А. М.* Приусадебная солнечная электростанция с охлаждаемыми фотоэлектрическими модулями // Сб. науч. тр. СтГАУ. Ставрополь, 2015. С. 18-24.

9. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми: пат. 103043 Україна: МПК (2015.01) H01L31/00, H02J7/35 (2006.01). № u 201506713; заявл. 07.07.15; опубл. 25.11.15, Бюл. №22.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Галько С. В.

Аннотация – в работе рассматривается проблема возможности создания локальных энергетических сетей для зарядки аккумуляторов электромобилей на существующих стационарных автозаправочных станциях (АЗС) на основе возобновляемых источников, с целью энергосбережения традиционных источников энергии. Предложено создание таких сетей на основе эффективных солнечных электростанций (СЭС), которые устанавливаются на крыше административного здания АЗС.

Для обоснования возможности использования СЭС для зарядки аккумуляторных батарей электромобилей на АЗС, проведен корреляционный анализ суточных графиков нагрузки (ДГН) трех частных СЭС, установленных на крышах частных сооружений, расположенных рядом с АЗС "WOG" г. Мелитополь Запорожской обл. и ДГН АЗС "WOG". Экспериментальные ДГН частных СЭС и АЗС "WOG" полученные за три рабочих дня в октябре 2018 г. Определены коэффициенты парной корреляции Пирсона за световой день между эквивалентными ДГН кровельных СЭС и ДГН АЗС "WOG", которые имеют высокие значения, то есть имеют высокую корреляционную связь. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования крышных СЭС для зарядки аккумуляторов электромобилей на стационарных АЗС.

С целью повышения общего коэффициента полезного действия (КПД) СЭС, вместо традиционных плоских солнечных батарей, предложено использовать СЭС с когенерационными фотоэлектрическими модулями (ФЭМ) цилиндрической формы, которые охлаждаются жидкостью. Это позволит одновременно получать электрическую и тепловую энергию для хозяйственных нужд.

USE OF COGENERATION PHOTOELECTRIC MODULES FOR CHARGING BATTERIES OF ELECTRIC CARS

S. Galko

Summary

The paper considers the problem of the possibility of creating local energy networks for charging electric vehicle batteries at existing stationary gas stations (gas stations) based on renewable sources, with the aim of energy saving traditional energy sources. The creation of such networks based on efficient solar power plants (SES), which are installed on the roof of the administrative building of the gas station, is proposed.

To justify the possibility of using SES for charging electric vehicle batteries at gas stations, a correlation analysis of daily load schedules (DGN) of three private SES installed on the roofs of private buildings located near the WOG gas station in the city of Melitopol, Zaporizhzhya region, and DGN gas station "was performed. WOG. " Experimental DGN of private SES and WOG gas stations obtained over three working days in October 2018. Pearson pair correlation coefficients per daylight hours between equivalent DGN of roofing SES and DGN of WOG gas stations, which are high, that is, have a high correlation, are determined. The conducted studies allow us to conclude that it is possible to use roof SES to charge electric vehicle batteries at stationary gas stations.

In order to increase the overall efficiency (Efficiency) of SES, instead of traditional flat solar panels, it is proposed to use SES with cylindrical cogeneration photoelectric modules (FEM), which are cooled by a liquid. This will allow you to simultaneously receive electrical and thermal energy for household needs.

Based on the studies, the following conclusions were made:

1. By means of correlation analysis it is proved that on the basis of SES, which are installed on the roof of the administrative building of the gas station, a local network of efficient solar stations can be created to charge the batteries of electric vehicles.

2. In order to increase the overall efficiency of the SES, it is proposed to use a SES with a cylindrical fluid-cooled CEM that is liquid cooled and simultaneously generate electrical and thermal energy.