

УДК 536.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРО-ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ВОДНЮ

Соловей В.В.¹, д.т.н., проф.; Зіпунніков М.М.¹, к.т.н., с.н.с.; Воробйова І.О.¹

¹Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України, Харків, Україна

Вступ. Для досягнення глобальної мети по скороченню шкідливих викидів в атмосферу основною альтернативою вуглецю є водень. Розкладання води на водень і кисень методом електролізу є ключовим рішенням щодо декарбонізації навколишнього середовища. Електроліз води з використанням відновлюваних джерел енергії (сонце, вітер) дає можливість мінімізувати енерговитрати і викиди на отримання зеленого водню. Це дозволяє розглядати електроліз води як перспективний метод виробництва водню для транспорту та енергоустановок з нульовим рівнем викидів [1-3]. Для виробництва зеленого водню з використанням відновлюваних джерел енергії достатньо широко застосовуються лужні електролізери [1-4]. Низькотемпературний електроліз води (до 90 °С) становить особливий інтерес для сфери відновлюваної енергетики, так як цей метод може дозволити зберігати електроенергію з відновлюваних джерел в хімічних зв'язках в формі водню високої чистоти. Важливим фактором забезпечення ефективності геліоводневих енергоустановок є визначення характеристик, узгодження та відпрацювання режимів роботи електролізера залежно від робочих параметрів сонячного фотоелектричного перетворювача (ФЕП).

Ціль роботи. Дослідження спільних режимів роботи первинного джерела енергії – фотоелектричного перетворювача з електролізером високого тиску для немережевих енергоустановок.

Матеріали і методи. Комбінація електролізера з відновлюваним джерелом енергії необхідна для стійкого виробництва водню без значних викидів вуглекислого газу. У той час як сонячна енергія через її доступність широко використовується для базового навантаження, пряме використання ФЕП в енергосистемах ускладнено через невідповідність між споживанням енергії та її виробництвом. Отже, надлишкову електричну енергію треба акумулювати (зберігати в "хімічному" стані) у водні для подальшого її використання [1]. Через флюктуаційну і переривчасту поведінку надходження сонячної енергії, лужні водні електролізери повинні бути адаптовані до динамічної роботи.

На рис. 1 показана структурна схема підключення сонячної фотоелектричної панелі до лужного електролізера.

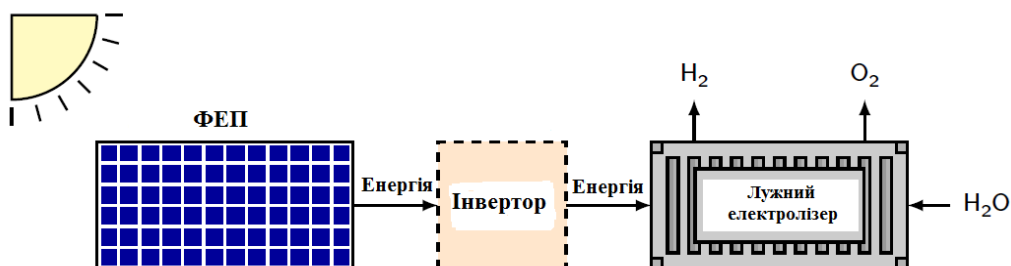


Рисунок 1 – Структурна схема підключення ФЕП до електролізера

Експериментальні дослідження щодо визначення електрохімічної активності та електрохімічних характеристик електродних матеріалів проведено на лабораторній установці [5-9], яка моделює процеси, що відбуваються в електрохімічній комірці.

Основна ідея, яку покладено в основу досліджень, – це спроможність споживання та перетворення відновлюваної сонячної енергії. Нерегулярний первинний потік сонячної енергії тобто волатильність електрогенерації ФЕП компенсується в електролізері, котрий не є чутливим до якості електроживлення. Очевидно, що такий підхід є доцільним для створення автономних установок енергозабезпечення невеликої та середньої потужності.

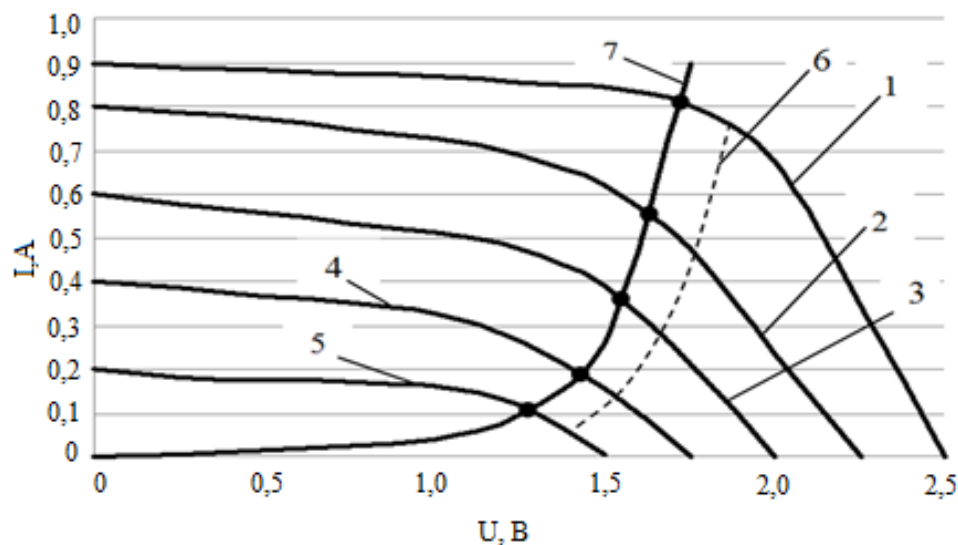
Результати та обговорення. Важливою складовою забезпечення надійної та ефективної роботи геліоводневих енергоустановок є синхронізація роботи ФЕП і системи генерації газів.

Експериментальні дані отримані при безпосередньому підключенні електролізної комірки до ФЕП – TOPRAY SOLAR з загальною площею поверхні $S = 0,288 \text{ м}^2$:

– струм короткого замикання $I_{кз} = 1,07 \text{ А}$;

– напруга холостого ходу $U_{хх} = 22,4 \text{ В}$.

Вольт-амперні характеристики ФЕП та лужного електролізера при різних рівнях сонячного випромінювання наведено на рис. 2 (криві 1–5 – характеристики ФЕП (TOPRAY SOLAR)).



1 – червень (47,2 кВт·год); 2 – вересень (30,2 кВт·год); 3 – березень (26,35 кВт·год); 4 – листопад (10,28 кВт·год); 5 – грудень (7,77 кВт·год);
6 – максимальна потужність сонячної панелі;

7 – вольт-амперна характеристика лужного електролізера

Рисунок 2 – Вольт-амперні характеристики ФЕП та лужного електролізера при різних рівнях сонячного випромінювання [2]

Експериментально встановлено, що робочий діапазон лужного водного електролізера (крива 7) менше максимальної потужності сонячної панелі (крива 6). Отже, використовуваний ФЕП повністю забезпечує межі робочої потужності електролізної комірки. Але ще має бути виконано налаштування сумісності роботи ФЕП та лужної електролізної системи для забезпечення максимальної вихідної продуктивності.

Перетини кривої 7 з кривими 1–5 (рис. 3) визначають можливі робочі точки електролізної комірки з фотоелектричним перетворювачем. Для ефективної роботи електролізної комірки відстань від кривої 7 до кривої 6 (максимальної потужності ФЕП) повинна бути мінімальною, тобто організована робота ЕК з найбільшим споживанням електроенергії, котра виробляється ФЕП. Разом з цим, гарантований надлишковий запас електроенергії від ФЕП забезпечує надійну роботу електролізної системи.

Розрахунки середньомісячної питомої продуктивності електролізної комірки за воднем у розрахунку на 1 м^2 поверхні ФЕП з урахуванням сонячної інсоляції приведені на рис. 3. Енергетичні питомі витрати на отримання водню при цьому складають $4,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$.

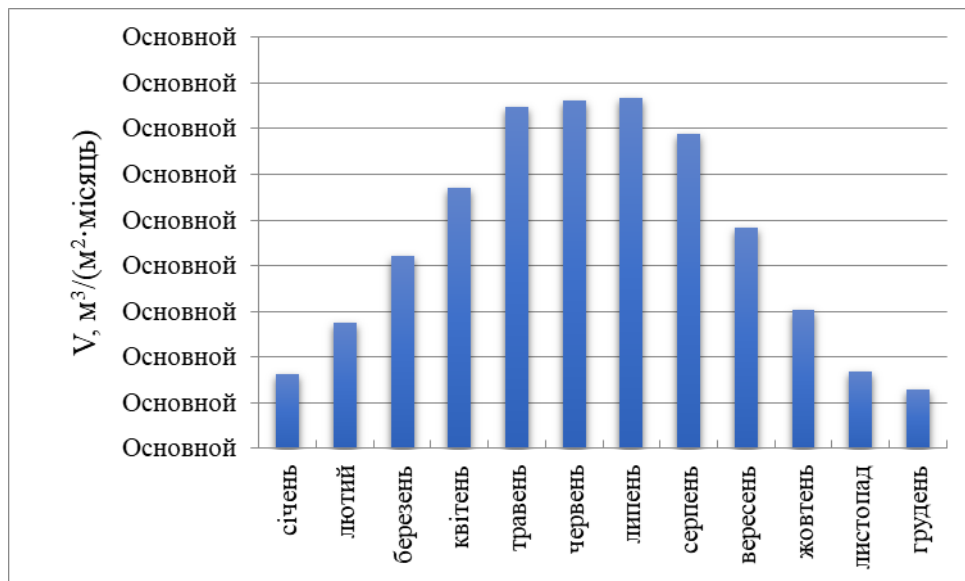


Рисунок 3 – Середньомісячна питома продуктивність ЕК за воднем з урахуванням сонячної інсоляції (на 1 м^2 поверхні ФЕП)

Найбільший приріст газовиділення з електролізної комірки за воднем спостерігається з травня по серпень, тобто в літній період року. Що приблизно в 7 разів більше ніж у зимовий час (січень-лютий).

Отримані експериментальні дані щодо адаптації роботи електролізної комірки з ФЕП дозволять розробити оригінальні алгоритми автоматичного керування основними елементами геліоводневих автономних установок енергозабезпечення і створити технічну базу для їх реалізації.

Отримані експериментальні дані щодо адаптації роботи електролізної комірки з ФЕП дозволять розробити оригінальні алгоритми автоматичного керування основними елементами геліоводневих автономних установок енергозабезпечення і створити технічну базу для їх реалізації.

Висновки. Поєднання електролізу лужної води і поновлюваних джерел енергії для виробництва екологічно чистого водню – важливий крок на шляху до декарбонізації промислових процесів і транспортного сектору. Тоді як процес електролізу лужної води може визначатися характеристиками струму, напруги, комбінація електролізера з відновлюваним джерелом енергії може забезпечити стійке виробництво водню без значних викидів вуглекислого газу. Фотоелектричні панелі повинні працювати в точці максимальної потужності.

Нерегулярний первинний потік сонячної енергії тобто волатильність електрогенерації ФЕП компенсується в електролізері, котрий не є чутливим до якості електроживлення. Очевидно, що такий підхід є доцільним для створення автономних установок енергозабезпечення невеликої та середньої потужності.

Проведені дослідження є підґрунтям щодо можливої роботи ЕВТ на віддалених територіях з відновлюваними джерелами енергії в автономних умовах. Можливе використання запропонованої розробки й в установках, що використовують енергію сонця для згладжування нерівномірності між надходженням і споживанням енергії в комунально-побутовій сфері.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wang M., Wang Z., Gong X., Guo Z. The Intensification Technologies to Water Electrolysis for Hydrogen Production – A Review. *Renewable Sustainable Energy*. 2014. № 29. P. 573-588.
2. Zhenpeng Hong, Zixuan Wei, Xiaojuan Han. Optimization scheduling control strategy of wind-hydrogen system considering hydrogen production efficiency. *Journal of Energy Storage*. 2021. 103609. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103609>.
3. Miller H.A., Bouzek K., Hnat J., Loos S., Bernäcker C.I., Weißgärber T., Röntzsch L., Meier-Haack J. Green hydrogen from anion exchange membrane water electrolysis: a review of recent developments in critical materials and operating conditions. *Sustainable Energy & Fuels*. 2020. Vol 4. P. 2114-2133. DOI: 10.1039/C9SE01240K.
4. Rozzi E., Minuto F.D., Lanzini A., Leone P. Green Synthetic Fuels: Renewable Routes for the Conversion of Non-Fossil Feedstocks into Gaseous Fuels and Their End Uses. *Energies*. 2020. Vol. 13(2). Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/en13020420>.
5. Rusanov A.V., Solovey V.V., Zipunnikov M.M. Improvement of the membrane-free electrolysis process of hydrogen and oxygen production. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. Dnipro: Dnipro University of Technology. 2021. № 1. P. 117-122. Режим доступу: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/117>.
6. Solovey V.V., Shevchenko A.A., Zipunnikov M.M., Kotenko A.L., Nguyen Tien Khiem, Bui Dinh Tri, Tran Thanh Hai. Development of high pressure membrane-less alkaline electrolyzer. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021. Vol. 47(11). P. 6975-6985. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.209>.
7. Соловей В.В., Зипунников Н.Н., Шевченко А.А. Исследование эффективности электродных материалов в электролизных системах с отдельным циклом генерации газов. *Проблемы машиностроения*. 2015. Т. 18., № 1. С. 72-76.
8. Solovey V., Kozak L., Shevchenko A., Zipunnikov M., Campbell R., Seamon F. Hydrogen technology of energy storage making use of wind power potential. *Journal of Mechanical Engineering*. 2017. Vol. 20(1). P. 62-68. Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/pmach2017.01.062>.
9. Shevchenko A.A., Zipunnikov M.M., Kotenko A.L., Vorobiova I.O., Semykin V.M. Study of the influence of operating conditions on high pressure electrolyzer efficiency / *Journal of Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 22., № 4. P. 53-60. Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/pmach2019.04.053>.