

## АНАЛІЗ СХЕМ ПРИСТРОЇВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАРЯДЖАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

*Трач Д., здобувач вищої світи СВО «Магістр»*

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,  
м. Запоріжжя, Україна*

Фотомодуль – це компонент фотоелектричної установки, який перетворює сонячну енергію на електричну за допомогою напівпровідникових матеріалів. Фотоелектрична установка складається з одного або кількох фотомодулів та інших компонентів для генерації і накопичення електроенергії. Акумулятор використовується для зберігання електроенергії, отриманої від фотомодулів і забезпечує живлення у періоди недостатньої сонячної активності.

Зарядний струм – це струм, який подається на акумулятор під час зарядки, а зарядна напруга – це напруга, що підтримується на акумуляторі в цей час.

Ефективність системи визначається, як здатність акумулятора зберігати та віддавати електроенергію з мінімальними втратами. Коефіцієнт віддачі показує відсоток енергії, яку акумулятор здатен повернути під час розрядки порівняно з отриманою під час зарядки. Коефіцієнт корисної дії (ККД) визначає загальну ефективність системи, включаючи втрати при перетворенні та зберіганні енергії.

Світовий рівень прийняття фотоелектричних установок зріс на 43% у 2020 році, коли було продано понад 3 мільйони одиниць. За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства, до 2030 року близько 30% усіх фотоелектричних установок будуть приватні домогосподарства автономними. Однак на сьогодні фотоелектричні установки становлять лише від 1% до 3% загальної кількості фотомодулів [1]. Досягнення високих показників продажів можливе лише за умови конкурентоспроможності відновлюваних джерел енергії над традиційними джерелами, які наразі мають перевагу серед споживачів. Щоб фотоелектричні установки стали привабливими для покупців, необхідно вирішити низку ключових проблем, зокрема щодо їхньої ефективності та інфраструктури.

Фотоелектричні установки можуть стати важливою альтернативою в боротьбі з глобальним потеплінням, забрудненням повітря та виснаженням паливних ресурсів, оскільки вони є екологічно чистими та використовують відновлювані джерела енергії. Акумулятор є основним елементом фотоелектричних установок і його ємність безпосередньо впливає на тривалість автономної і безперебійної роботи об'єкту. Додатковою перевагою фотоелектричних установок є можливість заряджання вночі за допомогою електромережі. Останнім часом такі країни, як США, Індія, Китай та держави Європейського Союзу активно просувають фотоелектричні установки, запроваджуючи різні програми та стимули, зокрема екологічні й економічні.

Однак, через обмежену кількість зарядних станцій, багато споживачів бояться короткотривалої безперебійної роботи об'єкту без можливості підзарядки, що створює затримки та викликає занепокоєння. Це явище називають «занепокоєнням безперебійної роботи об'єкту» – страхом, що батареї фотоелектричних установок не вистачить для довготривалої роботи. Виробники оригінального обладнання активно працюють над збільшенням ємності батареї, що впливає на її розмір, хімічний склад та систему керування. Для споживача, який планує використовувати фотоелектричні установки, важливими критеріями є коротший час заряджання, менше обслуговування та нижча вартість експлуатації [2].

Відбір енергії з фотомодуля та її передача до акумулятора зазвичай здійснюється за допомогою зарядного пристрою. Сучасні зарядні пристрої забезпечують оптимальну генерацію електроенергії шляхом постійного відстеження точки максимальної потужності на вольт-амперній характеристиці (ВАХ) фотомодуля. У складі фотоелектричних установок

(ФЕУ) такі пристрої також виконують додаткові функції керування потужністю відповідно до схеми комутації силових елементів. Проте, щоб знизити вартість ФЕУ, часто прагнуть заряджати акумулятори до максимальної ємності, не приділяючи належної уваги ефективності проміжних етапів перетворення електроенергії. У результаті, без правильного обґрунтування алгоритму зарядно-розрядного процесу, непродуктивні втрати можуть нівелювати переваги навіть найсучасніших і високотехнологічних зарядних пристроїв.

Сучасне суспільство дедалі більше залежить від електронних пристроїв, і акумулятори відіграють ключову роль у нашому повсякденному житті [1-4]. Системи накопичення енергії, особливо акумулятори є важливим інструментом для боротьби з наслідками кліматичних змін, викликаних використанням викопних видів палива, і стають невід'ємною частиною енергетичного балансу [5]. Літій-іонні акумулятори (LiBs) сьогодні є основним вибором для багатьох сфер – від портативної електроніки до стаціонарних енергосховищ та електромобілів (EV) [6]. За прогнозами [7], глобальна потужність LiBs зросте з 242 ГВт-год. у 2020 році до 2731 ГВт-год. до 2030 року, що демонструє 11-кратне збільшення за десятиліття. Приватний сектор є головним споживачем LiBs, на що вказує різке зростання світових продажів для фотоелектричних систем: з 500 тисяч у 2016 році до 14 мільйонів у 2023 році [5]. Прогнозується, що ця тенденція триватиме до 2040 року кількість продажів акумуляторів досягне 66 мільйонів [6].

Однією з важливих проблем безперебійних систем фотоелектричних установок є поступове зниження ємності акумулятора, що впливає на його ефективність і тривалість роботи. Акумулятори проектується з урахуванням прийнятного терміну служби, і виробники активно працюють над зменшенням швидкості їх деградації. Проте погіршення характеристик акумуляторів залишається неминучим, що вимагає їх заміни для сталого користування [7]. Акумулятори безперебійних систем фотоелектричних установок зазвичай замінюються, коли їхня ємність зменшується на 20-30% від початкової [5-7].

На стійкість безперебійних систем фотоелектричних установок у контексті завершення терміну служби акумулятора впливають кілька факторів. По-перше, вирішення питання терміну служби акумулятора є важливим свідченням екологічної відповідальності виробників. По-друге, процес переробки включає етапи збору, транспортування та відновлення таких основних матеріалів, як літій, кобальт і нікель, свинець. Потреба в заміні старих акумуляторів може стати серйозним викликом для розвитку ринку EV [7]. За прогнозами, між 2011 і 2040 роками для перепрофілювання буде доступно близько 16,8 мільйонів акумуляторів [7]. Тому ефективне управління акумуляторами, що вийшли з експлуатації, та їх повторне використання можуть бути життєздатними рішеннями для продовження їхнього терміну служби.

В роботі [7] підкреслюють необхідність поєднання зростання продажів безперебійних систем фотоелектричних установок зі сталими практиками, зокрема щодо визначення терміну служби акумулятора. Їхні дослідження наголошують на ризику недостатнього використання акумуляторів, особливо в умовах збільшення їх ємності, що може негативно вплинути на загальну стійкість. Ранішні дослідження охоплювали технічні характеристики, економічну доцільність та практичне застосування акумуляторів [6]. Автори [7] провели критичну оцінку перспектив і викликів, пов'язаних з цією технологією.

В роботі [7] провели огляд повторного використання акумуляторів для стаціонарного зберігання енергії, підкреслюючи важливість розробки методологій сортування та моделювання старіння батарей. Незважаючи на дослідження можливостей повторного використання акумуляторів, питання економічної доцільності, відповідності параметрів, безпеки та політики залишаються невирішеними. Цей огляд зосереджується на технічних та соціально-економічних аспектах повторного використання акумуляторів, досліджуючи виклики та потенційні рішення для продовження терміну їх служби в інших застосуваннях.

Тому, для більшості користувачів акумулятори асоціюються головним чином із запуском двигунів внутрішнього згорання, де ключовими параметрами є розрядна потужність і кількість можливих повторних запусків без втрати ємності. Це ж стосується й традиційних застосувань, таких як резервні та охоронні системи живлення. Ефективність акумулятора, як

перетворювача енергії зазвичай не є пріоритетом. За довідниковими даними середній коефіцієнт корисної дії (ККД) акумуляторів є відносно низьким: свинцево-кислотні мають ККД близько 80%, нікель-кадмієві – 70%, нікель-металогідридні – 65%, а літій-іонні – 75%. Проте ці показники базуються на середніх умовах експлуатації з використанням оптимальних зарядних пристроїв, що працюють від мережі. У випадку фотоелектричних установок (ФЕУ) підтримання рекомендованих умов заряджання можливе лише протягом коротких періодів за стабільного рівня освітленості фотомодуля, що на практиці відбувається рідко.

Пряме вимірювання енергії, накопиченої акумуляторами під час заряджання за складними імпульсними алгоритмами, є технічно складним завданням, а методи його реалізації лише починають розроблятися [6]. Водночас, результати таких вимірювань мають переважно теоретичну цінність, оскільки вирішують лише окремі аспекти проблеми.

Ефективність зарядно-розрядного циклу зазвичай оцінюється через коефіцієнти віддачі за ємністю або за енергією [5-7]. Необхідні кількісні показники для цих оцінок можна отримати за допомогою простого аналізу режимів зарядно-розрядного процесу, який поки що не отримав достатньої уваги. У разі заряджання від фотомодуля параметри процесу заряджання повністю залежать від характеристик генерації фотоелектричної енергії, для яких потрібно розробити відповідний енергоефективний алгоритм заряджання та оптимальну структуру зарядного пристрою. Важливим етапом цього є уточнення існуючих термінів та методик вимірювання, що становить необхідну частину даного дослідження.

#### **Список використаних джерел.**

1. Болтянська Л.О., Болтянський Б.В. Аспекти механізму інвестиційного забезпечення інновацій у відновлюваній енергетиці АПК України. *Матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., 14 трав. 2021 р. Аграрна галузь сучасної України: проблеми та перспективи розвитку // М-во освіти і науки України, Ін-т модернізації змісту освіти, Луган. нац. аграр. ун-т, Проєкт USAID «Економічна підтримка Східної України», Білорус. держ. аграр. техн. ун-т, Донбас. держ. машинобуд. акад., Укр. клуб. аграр. бізнесу. – Слов'янськ, 2021.*
2. Болтянський Б.В., Болтянська Л.О. Альтернативні напрями енергозбереження в домогосподарствах населення. *XII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Ефективність функціонування сільськогосподарських підприємств». Проблематика 2023: «Функціонування сільськогосподарських підприємств на засадах циркулярної економіки»: матеріали міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції, ЛНУП, Дубляни, 6-7 червня 2023 р. / за ред. проф. Г.В. Черевка. Львів: Галицька видавнича спілка, 2023. С. 26-30.*
3. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б.В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
4. Korobka, S., Syrotyuk, S., Zhuravel, D., Boltianskyi, B., Boltianska, L. Solar dryer with integrated energy Unit. *Problems of the Regional Energetics*, 2021, (2). 60–75.
5. Syrotyuk S., Boyarchuk V., Syrotyuk V., Korobka S., Syrotyuk H., Boltianskyi B. Peculiarities of modeling heat pumps in the labview environment. *Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі: матеріали XI Міжнар. наук. конференції (Львів, 04–06 жовтня 2022 р.) / ЛНУП: За заг. ред. В. В. Снітинського. Львів: ЛНУП, 2022. С. 16–18.*
6. Krishan O., Suhag S. An updated review of energy storage systems: Classification and applications in distributed generation power systems incorporating renewable energy resources. *Int. J. Energy Res.* 2019, 43, 6171–6210. <https://doi.org/10.1002/er.4285>.
7. Jinlei S., Lei P., Ruihang L., Qian, M., Chuanyu T., Tianru W. Economic operation optimization for 2nd use batteries in battery energy storage systems. *IEEE Access* 2019, 7, 41852–41859.

**Науковий керівник: Болтянський Б.В., к.т.н., доц.**