

УДК 621.383:621.355

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-162-171

*Катерина Рева, Сергій Степенко*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції в світовій енергетиці стимулюють істотне зростання інтересу до альтернативних джерел енергії.

**Постановка проблеми.** В даний час набули широкого розповсюдження інтелектуальні системи електроживлення (системи Smart Grid). Широкому впровадженню та розвитку даних систем сприяють не лише технічні рішення, але й організаційні заходи, зокрема, запровадження «зелених» тарифів на електроенергію, вироблену на основі відновлюваних джерел.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наведені дані свідчать про недостатньо ефективне використання встановлених систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів і, відповідно, необхідність глибокого розгляду шляхів та засобів забезпечення ефективності автономних систем електроживлення на основі ФЕП.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** В розглянутих джерелах не запропоновано єдиного універсального способу вибору акумуляторів для подібних систем.

**Постановка завдання.** Провести огляд та класифікацію технічних засобів забезпечення ефективного функціонування автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів.

**Викладення основного матеріалу.** Розглянуто опис основних типів фотоелектричних перетворювачів, їх основні параметри та характеристики. А також, розглянуті основні складові системи Smart Grid, сучасні тенденції в світовій енергетиці та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики в Україні. Описані основні елементи структурної схеми фотоенергетичних систем, а також їх функції. Проаналізовані переваги та недоліки основних типів акумуляторів (елементів накопичення електроенергії), щодо їх основних параметрів, класифікації, вартості, часу життя, заряду та перезаряду.

**Висновки.** Для забезпечення відповідної якості та надійності систем електроживлення на основі альтернативних джерел енергії в Україні необхідно впроваджувати нові технології та стандарти, нормативно-правові акти. Щодо вибору елементів електроживлення більш доцільне використання саме свинцево-кислотних. Вони більш дешеві та прості у використанні, не вибагливі до умов зберігання та експлуатації, а також досить поширені на ринку.

**Ключові слова:** інтелектуальні електромережі; сонячна електроенергетика; фотоелектричні перетворювачі (ФЕП); автономна система електроживлення; елементи накопичення електроенергії.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції у світовій енергетиці стимулюють істотне зростання інтересу до альтернативних джерел енергії. Враховуючи дедалі більше використання декількох джерел енергії в одній системі, нині широкого розповсюдження набули інтелектуальні системи електроживлення (так звані Smart Grid). Уперше термін Smart Grid використовувався Массудом Аміном та Брюсом Волленбергом у публікації «До інтелектуальної мережі» у 1998 р. Розумні мережі електропостачання (англ. Smart Grid) – це модернізовані мережі електропостачання, які використовують інформаційні та комунікаційні мережі, технології для збору інформації про енерговиробництво та енергоспоживання, що дозволяє автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічну вигоду.

Надзвичайно важливу роль у системах Smart Grid відіграє надійність (як інформаційна, так і фізична). Крім того, технологія дозволяє об'єднувати в мережу поновлювані джерела енергії (вітрову, сонячну) – «розумні» мережі допомагають боротися зі зміною клімату [1]. Міжнародним дослідним центром у галузі енергетики VaasaETT сформовано «Вісім особливостей інтелектуальних мереж», представлених на рис. 1 [2]. Вкрай важливо адаптувати елементи Smart Grid для українських реалій, здійснити уточнення базових архітектурних рішень, розробити типові архітектури для різних класів Smart Grid [3]. Однією з основних складових Smart Grid є відновлювані джерела енергії, які створюють додаткові (а в деяких випадках – і основні) потужності, що використовуються споживачем [4]. Широкому впровадженню та розвитку систем Smart Grid сприяють не лише технічні рішення, але й організаційні заходи, зокрема, запровадження «зелених» тарифів на електроенергію, вироблену на основі відновлюваних джерел.

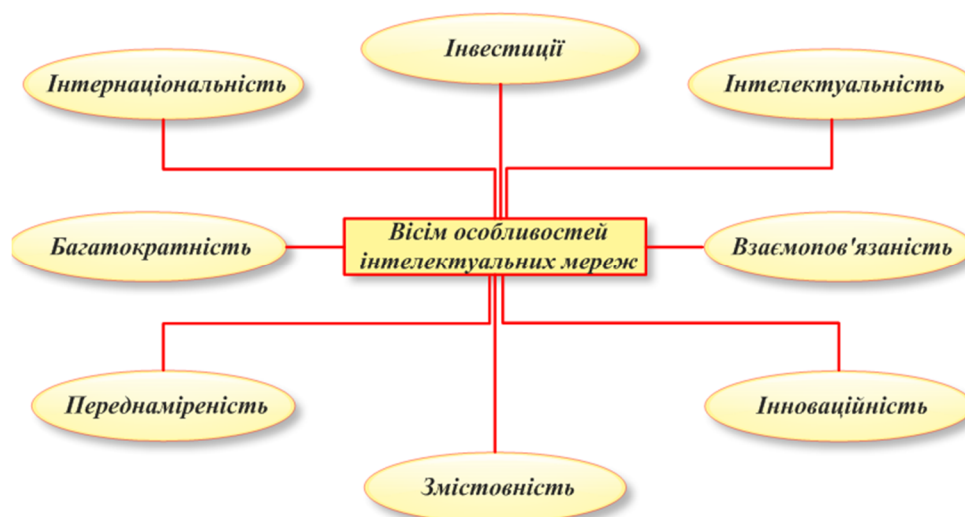


Рис. 1. Вісім особливостей інтелектуальних мереж

У 2015 році в Україні встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики, яким надано «зелений» тариф, становила 1469 МВт [5]. Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом

№ п/п	Напрямок відновлюваної енергетики	Загальна кількість об'єктів відновлюваної енергетики	Встановлена потужність (станом на 01.04.15)		Вироблено електроенергії у 2015 році	
			МВт	%	млн кВт·год	%
1	Вітроенергетика	21	513,9	35,0	314,7	64,5
2	Сонячна енергетика	102	824,7	56,1	75,1	15,4
3	Мала гідроенергетика	105	81,4	5,6	67,0	13,7
4	Біомаса	5	35,2	2,4	20,1	4,1
5	Біогаз	9	13,9	0,9	11,4	2,3
	Всього	242	1 469,1	100	488,3	100

З наведених у табл. 1 даних бачимо, що основна частина встановлених потужностей (близько 830 МВт) припадає на сонячну енергетику, що становить понад 56 %. За відносним обсягом виробленої електроенергії (75,1 млн кВт·год) сонячна електроенергетика становить близько 15 %. В той же час вітроенергетика (понад 513 МВт встановленої потужності або 35 %) забезпечує виробництво близько 315 млн кВт·год, або 65 %.

Наведені дані свідчать про недостатньо ефективне використання встановлених систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) і, відповідно, необхідність глибокого розгляду шляхів та засобів забезпечення ефективності автономних систем електроживлення на основі ФЕП.

Метою цієї роботи є розгляд та класифікація технічних засобів забезпечення ефективного функціонування автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). Окрема увага в роботі приділена типам ФЕП та елементам накопичення електроенергії – акумуляторним батареям (АБ).

#### Системи електроживлення на основі ФЕП.

Розглянемо основні варіанти систем електроживлення на основі ФЕП для постійного та змінного струмів. Автономна система для споживачів постійного струму представлена на рис. 2.

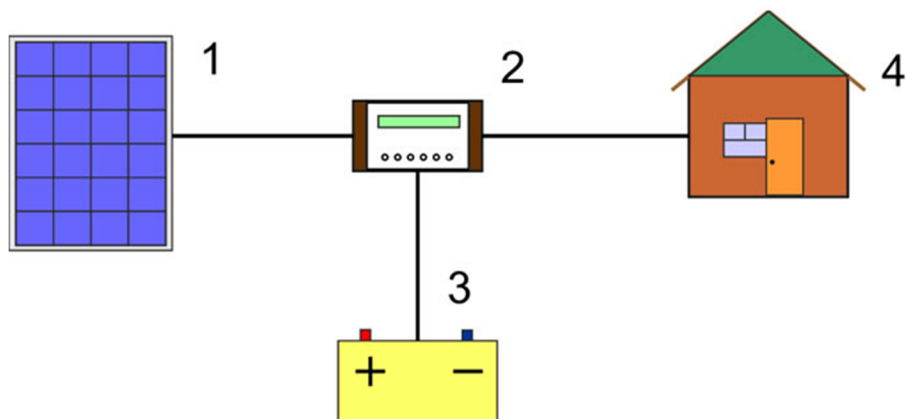


Рис. 2. Автономна система для споживачів постійного струму:  
1 – ФЕП; 2 – контролер заряду; 3 – акумулятор; 4 – споживач

Подібні станції є основним джерелом енергії та застосовуються для електропостачання систем освітлення або спеціальної побутової техніки, яка працює в режимі постійного струму. Потужність таких систем здебільшого не перевищує 1 кВт. Навантаження необхідно підключати до елементів накопичення електроенергії через контролер заряду-розряду. Фотомодулі перетворюють сонячну енергію в електричну, акумулятор накопичує енергію, контролер заряду захищає від зовнішніх впливів.

Автономна система для споживачів змінного струму представлена на рис. 3. Сонячне випромінювання непостійне в часі, тому обсяг енергії, виробленої ФЕП, не завжди відповідає обсягу споживання енергії. Для накопичення надлишкової електроенергії та використання її у випадках, коли споживання перевищує вироблення, використовують акумуляторні батареї (АБ). Підключення ФЕП безпосередньо до елементів накопичення електроенергії для їх заряду неприпустимо, оскільки це може призвести до їх пошкодження, які потягнуть за собою вихід з ладу. Саме для захисту елементів накопичення електроенергії від перезарядження та для підтримки оптимальної роботи використовують контролери заряду.

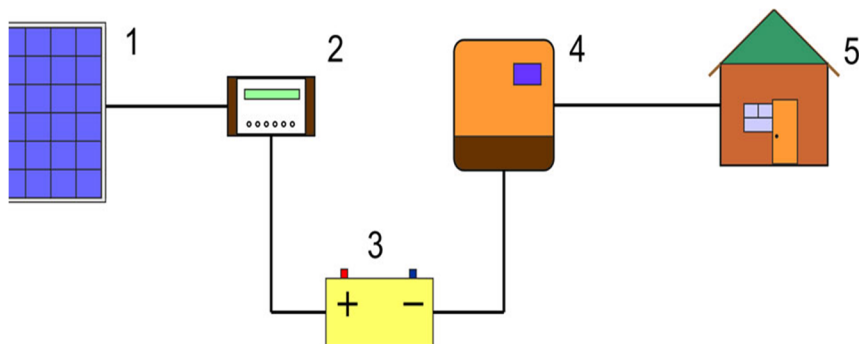


Рис. 3. Автономна система для споживачів змінного струму:  
1 – ФЕП; 2 – контролер заряду; 3 – акумулятор; 4 – інвертор; 5 – споживач

Оскільки більшість споживачів електроенергії використовують змінний струм, а ФЕП та елементи накопичення електроенергії виробляють постійний струм, виникає необхідність у перетворенні струму зі змінного в постійний. Цю функцію виконує інвертор. У разі необхідності підключення навантаження постійного струму – його можна безпосередньо підключити до вихідних клем контролера заряду [6]. Таким чином, щоб система передавала енергію до мережі, необхідно встановити додаткові блоки, зокрема: інвертор, що перетворить постійний струм у змінний; акумуляторну батарею, роль якої накопичувати енергію й згладжувати перепади напруги через зміну освітленості; контролер заряду акумулятора, який не дозволяє акумулятору перезарядитися або розрядитися завчасно. Усе це в комплексі називається автономною системою елек-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

троживлення на основі ФЕП. Разом з тим у системі, яка працює на постачання енергії в загальну мережу, необхідний тільки мережевий інвертор [6].

Автономна система незалежна від зовнішньої мережі електропостачання (рис. 4). За винятком деяких спеціальних застосувань, в яких енергія від сонячних батарей безпосередньо використовується споживачами, всі автономні системи повинні мати у своєму складі АБ. Енергія від акумуляторів використовується під час недостатньої інтенсивності сонячного випромінювання. Система, поєднана із зовнішньою мережею (рис. 5). У ній також використовуються АБ, але така система одночасно підключена до зовнішньої мережі. Тому надлишок енергії, який генерується сонячними батареями, може направлятися в навантаження або мережу. Для цього використовуються перетворювачі напруги постійного струму в змінний – інвертори, які можуть працювати паралельно з мережею. Якщо споживання перевищує генерацію електроенергії сонячними батареями, то недостатня енергія береться від мережі.

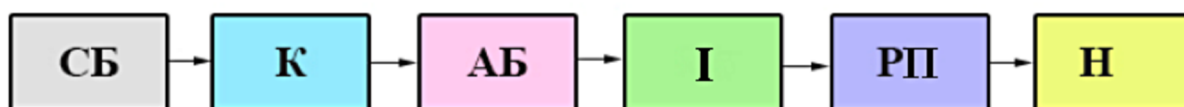


Рис. 4. Автономна система незалежна від зовнішньої мережі:  
сонячна батарея - СБ; контролер - К; акумуляторна батарея - АБ; інвертор - І;  
розподільний пристрій - РП; навантаження – Н

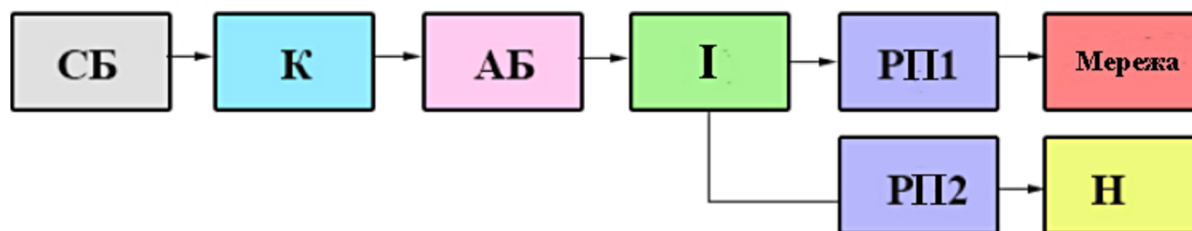


Рис. 5. Автономна система поєднана із зовнішньою мережею

Система з безакумуляторним з'єднанням з мережею є найпростішою з усіх систем (рис. 6). Вона складається із сонячних батарей, підключених до мережі. Вся вироблена електроенергія подається в мережу. У такій системі немає АБ, тому вона не може використовуватися як резервна система. Коли мережа відключається, то і вироблення електроенергії сонячними батареями також припиняється. Це може бути обмеженням такої системи, але основна її перевага – висока ефективність, низька ціна, а також висока надійність [6].

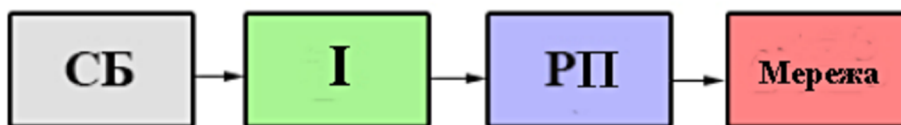


Рис. 6. Автономна система з безакумуляторним з'єднанням з мережею

**Принципи роботи, переваги, недоліки та класифікація ФЕП.** За принципом роботи ФЕП являють собою фотоелектричний генератор постійного струму, який використовує ефект перетворення променевої енергії в електричну. Точніше, використана властивість напівпровідників на основі кремнію. Кванти світла, потрапляючи на пластину напівпровідника, вибивають електрон із зовнішньої орбіти атома цього хімічного елемента, що створює достатню кількість вільних електронів для виникнення електричного струму. Для того, щоб напруги й потужності такого джерела було достатньо для застосування, одного або двох кремнієвих елементів недостатньо. Тому їх збирають у цілі панелі, де з'єднують паралельно або послідовно (рис. 7) [7]. Площа таких панелей може становити від декількох квадратних сантиметрів до декількох квадратних метрів. Збільшуючи кількість панелей, можна добитися більшої генерованої потужності сонячною

батареею. Однак продуктивність сонячної батареї залежить не тільки від площі, але також від інтенсивності сонячного світла й кута падіння променів. Отже, продуктивність сонячної батареї залежить від місцевості та географічної широти, від погоди й пори року, від часу доби. Так, оптимальний кут для отримання максимальної енергії в центральних районах нашої країни становить від 30 до 45 градусів.



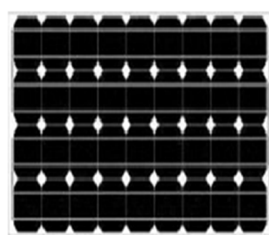
Полікристалічна панель



Панель на основі аморфного кремнію



Сонячна панель на основі CIGS



Монокристалічна панель



Панель на основі телуриду кадмію

Рис. 7. Види сонячних панелей

Переваги використання ФЕП такі: джерелом енергії є доступне та невичерпне сонячне випромінювання; екологічно безпечні для освітлення; економічні у використанні; висока надійність у роботі (до 50 років); потребують мінімального технічного обслуговування. Поряд із перевагами ФЕП мають недоліки: ефективне функціонування залежить від пори року, погоди та часу доби; потребують акумулювання електроенергії; необхідно періодично очищати поверхні від пилу та атмосферних опадів; висока вартість панелей. Переваги та недоліки основних типів ФЕП представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Переваги та недоліки основних типів ФЕП

Тип ФЕП	Переваги	Недоліки	Сфера використання
ФЕП на основі монокристалічного кремнію	високий ККД (17–19 %); висока надійність (25–50 років роботи); стабільність параметрів протягом тривалого часу (падіння потужності до 80 % від максимальної за 25 років експлуатації)	більш висока вартість (2,5–3,3 \$/Вт); менша технологічність; вища чутливість до рівня та кута джерела світла; висока вартість утримання та енергозатратність технології виготовлення	професійні сонячні енергосистеми; сонячні електростанції; системи живлення космічних апаратів; високоякісні приватні сонячні системи
ФЕП на основі полікристалічного кремнію	нижча вартість (2,1–2,8 \$/Вт); висока технологічність; стабільність параметрів (падіння потужності до 80 % від максимальної за 25 років експлуатації)	нижчий ККД (15–17 %); менша стабільність параметрів	широко поширені якісні сонячні енергосистеми; малі електростанції; покриття дахів будинків; фотоелектричні побутові пристрої
Тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію	висока технологічність; низька вартість (1,5–2,4\$/Вт)	низький ККД (7–11 %); нестабільність параметрів; низька надійність (строк служби 5–8 років)	поширені більш дешеві приватні сонячні енергосистеми; системи світлодіодного побутового освітлення

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Сонячні панелі з полікристалічних фотоелектричних елементів найбільш поширені у зв'язку з оптимальним співвідношенням ціни і ККД серед всіх різновидів панелей. Сонячні панелі з монокристалічних фотоелектричних елементів ефективні, але й дорогі. Зазвичай монокристалічні елементи мають форму багатокутників, якими важко заповнити всю площу панелі без залишку. В результаті питома потужність сонячної батареї трохи нижча, ніж питома потужність окремого її елемента. Сонячні панелі з аморфного кремнію мають один з найбільш низьких ККД. Панелі з телуриду кадмію (CdTe) виготовляються на основі плівкової технології. Напівпровідникову плівку наносять тонким шаром у кілька сотень мікрометрів, ККД близько 11 %. Сонячні панелі на основі CIGS (напівпровідник, який складається з міді, індію, галію та селену). Цей тип сонячних батарей теж виконаний за плівковою технологією, але в порівнянні з панелями з телуриду кадмію має більш високу ефективність, його ККД сягає 15 % [9].

**Елементи накопичення електроенергії.** Розглянемо детально види, типи, параметри та характеристики елементів накопичення електроенергії. Їх різноманіття призводить до необхідності аналізу їх властивостей для вибору найбільш раціональних варіантів [10]. У табл. 3 наведені основні характеристики накопичувачів енергії різного типу. Основні види АБ розглянемо нижче. Їх параметри наведені в табл. 4.

Таблиця 3

*Характеристики накопичувачів енергії*

Накопичувач		Питома енергія Дж/кг	Час виводу енергії, с
Зі статичною активною зоною	Хімічний	$10^2-10^3$	$1-10^5$
	Індуктивний	1-10	$10^{-3}-10$
	Ємнісний	0,1-0,5	$10^{-4}-10^{-2}$
З динамічною активною зоною	Механічний	$10-10^3$	$1-10^3$
	Електромеханічний	1-10	$10^{-2}-10$
	Електродинамічний	0,05-1	$10^{-3}-10^{-2}$

Таблиця 4

*Основні параметри акумуляторів*

Параметри	NiCd	NiMH	Lead Acid	Li-ion	Li-ion polymer	Reusable Alkaline
Щільність енергії (Вт·год/кг)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130	80
Внутрішній опір, мОм	100 до 200 <sup>1</sup> 6V	200 до 300 <sup>1</sup> 6V	<100 <sup>1</sup> 12V	150 до 250 <sup>1</sup> 7.2V	200 до 300 <sup>1</sup> 7.2V	200 до 2000 <sup>1</sup> 6V
Час життя (до 80 % від номінальної ємності)	1500 <sup>2</sup>	300-500 <sup>2,3</sup>	200-300 <sup>2</sup>	500-1000 <sup>3</sup>	300-500	50 <sup>3</sup> (до 50%)
Час швидкого заряду	1 год	2-4 год	8-16 год	2-4 год	2-4 год	2-3 год
Чутливість до перезаряду	середня	висока	низька	дуже висока	висока	середня
Саморозряд / Місяць (Кімнатна темп.)	20 % <sup>4</sup>	30 % <sup>4</sup>	5 %	10 % <sup>5</sup>	~10 % <sup>5</sup>	0,3 %
Напруга комірки (ном.)	1,25 В <sup>6</sup>	1,25 В <sup>6</sup>	2 В	3,6 В	3,6 В	1,5 В
Навантажувальний струм: піковий, оптимальний	20 С 1 С	5 С 0,5 С або нижче	5 С <sup>7</sup> 0,5 С	>2 С 1 С або нижче	>2С 1 С або нижче	0,5 С 0,2 С або нижче
Робоча температура (при розряді)	від -40 до +60 °С	від -20 до 60 °С	від -20 до 60 °С	від -20 до 60 °С	від 0 до 60 °С	від 0 до 65 °С
Вимоги до періодичності обслуговування	30-60 днів	60-90 днів	3-6 місяців <sup>8</sup>	Не потребує	Не потребує	Не потребує
Орієнтовна ціна (US\$)	50 \$ (7,2 В)	60 \$ (7,2 В)	25 \$ (6,0 В)	100 \$ (7,2 В)	100 \$ (7,2 В)	5 \$ (9,0 В)

Нікель-кадмієві (NiCd) мають низьку щільність енергії. Використовується там, де важливі довговічність, здатність забезпечити високий струм навантаження та низька ціна. Нікель – металогідридні (NiMH) у порівнянні з NiCd мають більш високу щільність енергії, але менший час життя. NiMH не містять токсичних матеріалів. Застосовуються в мобільних телефонах і портативних комп'ютерах. Літій-іонні (Li-Ion) використовуються там, де потрібна висока щільність енергії та мала вага. При експлуатації необхідно дотримуватися режими заряду і розряду, зазначених виробником з міркувань безпеки. Застосовуються в комп'ютерах і стільникових телефонах. Літій-полімерні (Li-polymer) дуже компактні, в основному, використовуються в мобільних телефонах. Герметичні свинцево-кислотні (SLA) застосовуються там, де потрібна велика потужність, а вага не має значення. Переваги та недоліки АБ представлені в таблиці 5 [11].

Таблиця 5

*Переваги та недоліки основних видів акумуляторів*

<b>Вид</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
Нікель-кадмієві (NiCd)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Великий ресурс (1000-1500 ц).</li> <li>2. Великий струм навантаження.</li> <li>3. Довгий термін служби.</li> <li>4. Простота зберігання і транспортування.</li> <li>5. Підходять для роботи при низьких температурах.</li> <li>6. Не критичність до різних режимів роботи.</li> <li>7. Низька вартість</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Досить низька, в порівнянні з новими типами акумуляторів, щільність енергії.</li> <li>2. Ефект пам'яті. Необхідність періодичних тренувань для його профілактики.</li> <li>3. Містять токсичні матеріали.</li> <li>4. Досить великий струм саморозряду. NiCd акумулятори вимагають дозарядки після зберігання</li> </ol>
Нікель – металогідридні (NiMH)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ємність, на 30–40 % більша, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів.</li> <li>2. Ефект пам'яті в NiMH акумуляторах виражений набагато слабкіше, ніж у NiCd</li> <li>3. Простота зберігання і транспортування.</li> <li>4. Екологічна безпека</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відносно невеликий ресурс.</li> <li>2. Оптимальним навантажувальним струмом є величина 0.2С-0.5с.</li> <li>3. Більш складний алгоритм заряду</li> <li>4. Великий саморозряд.</li> <li>5. Чутливість до зміни температури.</li> <li>6. Необхідність регулярного обслуговування. Для профілактики ефекту пам'яті потрібні тренування</li> </ol>
Літій-іонні	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока щільність енергії.</li> <li>2. Струм саморозряду досить низький.</li> <li>3. Не потрібно періодичного обслуговування</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Спеціальні схеми захисту, обмеження струму і напруги.</li> <li>2. Старіння незалежно від режиму.</li> <li>3. Особливі умови транспортування.</li> <li>4. Висока вартість виробництва</li> </ol>
Полімерні	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тонкі елементи (до 1 мм).</li> <li>2. Пластичність.</li> <li>3. Мала вага.</li> <li>4. Безпека.</li> <li>5. Стійкі до перезаряду</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Більш низька щільність енергії та ресурс у порівнянні з літій-іонними.</li> <li>2. Дороге виробництво</li> </ol>
Свинцево-кислотні (SLA)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дешеві та прості у виробництві.</li> <li>2. Відпрацьована технологія.</li> <li>3. Саморозряд – найменший серед всіх типів акумуляторів</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неможливість зберігати в розрядженому стані.</li> <li>2. Низька щільність енергії.</li> <li>3. Більш складний алгоритм заряду.</li> <li>4. Містять шкідливі матеріали</li> </ol>

Внутрішній опір АБ залежить від ємності середовища, схеми захисних кіл та кількості елементів. Схеми захисту літій-іонних і літій-полімерних АБ додають близько 100 МОм. Значення в табл. 4 враховує, що акумулятор регулярно обслуговується. При відсутності періодичного обслуговування, час роботи акумулятора суттєво зменшується. Час життя залежить від глибини розряду. Неповний розряд забезпечить більший час життя, ніж глибокий розряд. Струм саморозряду найбільший безпосередньо після заряду. Зменшення ємності NiCd акумулятора складає 10 % за перші 24 години після заряду, а потім падає до величини 10 % кожні наступні 30 днів. Типове споживання внут-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

рішних схем захисту 3 % від всієї енергії в місяць. Напруга холостого ходу одного елемента становить 1,25 В, але 1,2 В є загальноприйнятим значенням. Це не є відмінність між середовищами, а спрощення для зручності розрахунків. Здатність елементів накопичення електроенергії витримувати короткі імпульси великої амплітуди. Обслуговування може проводитися у вигляді «вирівнюючого» або «додаткового» заряду [12].

**Висновки та пропозиції.** Проаналізувавши наведені вище фактори, можна дійти висновку, що для забезпечення відповідної якості та надійності систем електроживлення на основі альтернативних джерел енергії в Україні необхідно впроваджувати нові технології та стандарти, нормативно-правові акти. Створення нових технологій перетворення та зберігання енергії дозволить вирішити головні питання з підвищення якості функціонування електроенергетичної системи, дасть можливість застосовувати «розумні» тарифи для споживачів, зменшить втрати при розподілі електроенергії, забезпечить відповідну якість та надійність електроенергії, підвищить безпеку, спонукатиме до застосування нових методів управління споживанням електроенергії, забезпечить новий рівень якості послуг для населення та покращить екологічну ситуацію в країні.

При виборі АБ для автономних систем електроживлення на основі ФЕП, варто врахувати, що нікель-кадмієві мають довгий строк служби, а також вони дешевші, ніж інші, але містять досить токсичні матеріали та мають низьку щільність енергії. Нікель-металогідридні мають високу ємність та екологічно безпечні, але в той же час мають великий саморазряд, високу чутливість до зміни температур та є необхідність в регулярному обслуговуванні. Літій-іонні АБ мають високу щільність енергії, не потрібно проводити їх періодичне обслуговування, але це досить дороге виробництво, а також досить висока ймовірність старіння незалежно від умов експлуатації. Свинцево-кислотні АБ більш дешеві та прості у використанні, не вимагають особливих умов зберігання та експлуатації, а також вони дуже поширені на ринку, тому використання такого виду може бути доцільним в складі автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів.

Дослідження виконуються в межах науково-дослідної роботи № 0116U006960.

#### Список використаних джерел

1. *Technology Development Smart Grid* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>.
2. *Петергеря Ю. С.* Интеллектуальные системы обеспечения энергозбереження житлових будинків : навчальний посібник / Ю. С. Петергеря, В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко. – К. : Медіа-ПРЕС, 2008. – 256 с.
3. *Виджей К. Суд.* Применение статических преобразователей в энергетических системах / Виджей К. Суд ; пер. с англ. – М. : Научно-инженерное информ. агентство НП НИИА, 2009. – Ч. 2. – С. 39–44.
4. *Интеллектуальні* електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. Г. Баталов, С. П. Динесюк // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
5. *Інформація* щодо виробництва альтернативних видів палива та енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії [Електронний ресурс] / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. – Режим доступу : <http://sae.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stand>.
6. *Григораш О. В.* Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников электроэнергии / О. В. Григораш, В. В. Тропин, А. С. Оськина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 09 (083).
7. *Eckart von Malsen.* Opportunities for large-scale projects // SUN and Wind Energy. – 2011. – Vol. 5. – С. 254–255.
8. *Solar energy* / Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://en.wikipedia.org/wiki/Solarenergy>.



9. Брич В. Я. Проблемы застосування сонячної енергії в сфері житлово-комунального господарства / В. Я. Брич, Б. Р. Гевко // Інноваційна економіка : науково-виробничий журнал. – 2016. – № 61. – С. 152–157.

10. Троцкий Е. М. Возможность применения накопителей - компенсаторов в регулируемом электроприводе / Е. М. Троцкий // Проблемы создания новых машин и технологий : научные труды Кременчугского государственного политехнического института. – 1998. – Вып. 1/1998(3).

11. *Различные типы аккумуляторов, параметры, дефекты, особенности эксплуатации* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://n-t.ru/ii/ba/ch2.pdf>.

12. Фесенко А. Огляд та обґрунтування вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів / А. Фесенко, Р. Єршов, С. Степенко // Технічні науки та технології. – 2017. – № 1 (7). – С. 177–186.

### References

1. *Technology Development Smart Grid* Retrieved from <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>.

2. Peterherya, Yu.S., Zhuikov, V.Ya., Tereshchenko, T.O. (2008). *Intelektualni systemy zabezpechennia enerhozberzhennia zhytlovykh budynkiv [Intelligent Systems OJEC chenie energy saving houses]*. Kyiv: Media-PRES (in Ukrainian).

3. Vijay K. Sud (2009). *Primenenie staticheskikh preobrazovatelei v enerheticheskikh sistemakh [Application of static converters in power systems]* (Trans. with the English). Moscow: Scientific and engineering information. Agency NP NIIA, part 2, pp. 39–44 (in Russian).

4. Stogniy, B.S., Kirilenko, O.V., Batalov, A.G., Dynesyuk, S.P. (2010). *Intelektualni elektrychni merezhi elektroenerhetychnykh system ta yikhnie tekhnolohichne zabezpechennia [Intelligent electrical network power systems and their technological support]*. *Tekhn. Elektrodynamika – Technical science. Electrodynamics*, no. 6, pp. 44–50 (in Ukrainian).

5. *Informatsiia shchodo vyrobnytstva alternatyvnykh vydiv palyva ta enerhonosiiv z vidnovlyuvanykh dzherel enerhii [Information on the production of alternative fuels and energy from on-novlyuvanyh energy]*. *State Agency for Energy Efficiency and energy-TION-Ukraine*. Retrieved from <http://sae.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stand>.

6. Grigorash, O.V., Tropin, V.V., Oskina, A.S. (2012). *Ob effektivnosti i tselesoobraznosti ispolzovaniia vozobnovliaemykh istochnikov elektroenergii [On the effectiveness and appropriateness of using renewable energy sources]*. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Polytechnical network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, №09 (083) (in Russian).

7. Eckart von Malsen (2011). Opportunities for large-scale projects. *SUN end Wind Energy*, vol. 5, pp. 254–255.

8. Solar energy. *Wikipedia*. Retrieved from <http://en.wikipedia.org/wiki/Solarenergy>.

9. Brych, V.J., Hevko, B.R. (2016). *Problemy zastosuvannia soniachnoi enerhii v sferi zhytlovo-komunalnoho hospodarstva [Problems of application in the field of solar battery Housing]*. *Innovatsiina ekonomika – Innovative Economy*, no. 61, pp. 152–157 (in Ukrainian).

10. Trotsky, E.M. (1998). *Vozmozhnost primeneniia nakopitelei – kompensatorov v reguliruemom elektroprivoде [The possibility of using accumulators – compensators in a regulated electric drive]*. *Problemy sozdaniia novykh mashin i tekhnologii: nauchnye trudy Kremenchugskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo instituta – Problems of creating new machines and technologies: Scientific works of the Kremenchug State Polytechnic Institute*, issue 1/1998 (3).

11. *Razlichnye tipy akkumuliatorov parametry defekty osobennosti ekspluatatsii [Various types of accumulators, parameters, defects, operational features]*. Retrieved from <http://n-t.ru/ii/ba/ch2.pdf>.

12. Fesenko, A., Yershov, R., Stepenko, S. (2017). *Ohliad ta obgruntuвання вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів [Overview and foundation of storage batteries selection for autonomous power supply system based on photovoltaic converters]*. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, no. 1 (7), pp. 177–186 (in Ukrainian).

*Kateryna Reva, Serhii Stepenko*

## INVESTIGATION OF ELEMENTS' CHARACTERISTICS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS BASED ON PHOTOVOLTAIC CELLS

**Background research.** The modern trends in the global power stimulate significant growth of interest in alternative energy sources.

**Formulation of the problem.** Nowadays the Intelligent Power Systems (so-called Smart Grids) become widespread. The wide adoption and development of these systems is possible not only due to the new technical solutions, but also due to the organizational measures, including the introduction of «green tariff» for electricity generated from renewable sources.

**Analysis of recent research and publications.** The obtained data indicate a lack of effective utilization of installed power from photovoltaic cells and, therefore, the necessary of deep consideration of ways and means to ensure the effectiveness of autonomous power systems based on solar cells.

**Bold unexplored aspects of the problem.** In the available publications single universal methods of choice the elements for these systems are not offered.

**Setting objectives.** Perform a review and classification of means of ensuring the effective functioning of autonomous power systems based on photovoltaic cells.

**Statement of the material.** The description of the main types of photovoltaic cells and their main parameters and characteristics are considered. Also, the key components of the system Smart Grid, current trends in global energy and the volume of electricity of renewable energy in Ukraine is the formation of the state is to introduce "advanced" technologies are considered. The basic elements of the block diagram photovoltaic systems and their specific functions are described. Advantages and disadvantages of the main types of batteries (electric storage elements) on their basic parameters, classifications, cost, lifetime, charge and overcharge, etc. are studied.

**Conclusions.** To ensure the appropriate quality and reliability of alternative energy sources in Ukraine we need to introduce new technologies and standards regulations. As for selections of power is more advisable to use lead-acid ones. They are cheaper and easy to use, lightweight in storage and use, and they are very common in the market.

**Keywords:** Smart Grid, solar energy, photovoltaic cells (PV), autonomous power supply system, electrical energy storage elements.

*Екатерина Рева, Сергей Степенко*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Современные тенденции в мировой энергетике стимулируют существенный рост интереса к альтернативным источникам энергии. Приведенные данные свидетельствуют о недостаточно эффективном использовании установленных систем электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей и, соответственно, необходимости глубокого рассмотрения путей и средств обеспечения эффективности автономных систем электропитания на их основе. В данной работе рассмотрено и классифицировано технические средства обеспечения эффективного функционирования автономных систем электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей. Особое внимание в работе уделено типам фотоэлектрических преобразователей и элементам накопления электроэнергии – аккумуляторным батареям.

**Ключевые слова:** интеллектуальные электросети; солнечная электроэнергетика; фотоэлектрические преобразователи (ФЭП); автономная система электропитания; элементы накопления электроэнергии.

**Рева Катерина Олександрівна** – магістрант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Рева Екатерина Александровна** – магістрант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Reva Ekaterina** – Master student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** catherine.studvt@gmail.com

**Степенко Сергій Анатольович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Степенко Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Serhii Stepenko** – PhD in Electrical Engineering, senior researcher, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** serhii.stepenko.ua@iee.org

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7702-6776>

**ResearcherID:** F-1018-2014

**Scopus Author ID:** 55570068000