

УДК 621.315.592; 621.3.049.77; 004.93'1

Б.Є. ПАТОН¹, М.І. КЛЮЙ², О.Є. КОРОТИНСЬКИЙ¹,
А.В. МАКАРОВ², Ю.О. ТРУБІЦІН¹

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
вул. Боженка, 11, Київ, 03680, Україна

²Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
просп. Науки, 41, Київ, 03028, Україна

УМОВИ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Розглянуто особливості функціонування та підвищення ефективності автономних сонячних електроенергетичних систем з урахуванням нерівномірності надходження сонячної енергії впродовж року та забезпечення безперебійності постачання електроенергії користувачам. Наведено варіанти об'єднання сонячних електроенергетичних систем з електромережею та особливості функціонування промислової мережі, поєднаної з сонячними електроенергетичними системами. Показано необхідність створення промислової мережі на нових принципах «розумної енергетики» — Smart Grid, розроблення якої, з урахуванням інтеграції до неї електростанцій, що використовують відновлювану енергію, має істотно підвищити ефективність роботи енергосистеми в цілому. Наведено результати натурних вимірювань потоку сонячної енергії в місті Києві за період з 01.06.2009 р. по 31.05.2010 р. згідно з розробленою методикою вимірювання й оброблення отриманих даних.

Ключові слова: акумуляторні батареї, сонячні батареї, промислова електромережа, альтернативні та традиційні джерела електроенергії.

ВСТУП

Серед альтернативних джерел енергії одним із найперспективніших є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФП), за допомогою яких відбувається пряме перетворення променистої енергії сонячного світла на електричну. Завдяки дієвим засобам політики економічного заохочення провідних технічно розвинених країн за останні півтора десятиріччя темпи зростання обсягів промислового виробництва ФП щороку зростають на 20–30% і на сьогодні їх сумарна потужність перевищила 40 ГВт, а загальна площа становить понад 400 км² [1–5].

Найуживанішим матеріалом для виготовлення ФП вже багато десятиріч залишається

кристалічний кремній. Незважаючи на його недоліки, пов'язані з неоптимальною шириною забороненої зони й непрямоzonністю, завдяки технологічності, нетоксичності та поширеності у природі йому віддають перевагу перед конкурентами [6–9].

Надходження сонячної енергії в кожне конкретне місце поверхні Землі має свої особливості, вони визначаються насамперед тим, що Земля обертається навколо Сонця по еліптичній орбіті з періодом 365¼ доби, навколо власної осі з періодом 24 год, а кут нахилу земної осі періодично змінюється відносно площини екліптики. Таким чином, надходження сонячної енергії на поверхню Землі визначається річною та добовою періодичністю і залежить від географічної широти місцевості. Величезну роль у надходженні енергії Сонця до земної поверхні відіграє прозорість

атмосфери. Максимальна кількість сонячної енергії потрапляє на Землю саме в регіонах з мінімальною кількістю хмар [10].

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Джерелом електричної енергії, отриманої в результаті прямого перетворення сонячного світла на електричну енергію напівпровідниковими фотоперетворювачами (ФП), є сонячні електроенергетичні системи, або сонячні електростанції (СЕС). СЕС можна умовно розподілити на два великих класи – автономні (stand alone) та об'єднані з промисловою електромережею (ПЕ) (grid connected) [10, 11].

Наявність періодичних «нічних» перебоїв і затримок, пов'язаних з хмарною погодою, визначають структуру автономної акумулюючої СЕС, один із варіантів структури якої ілюструє функціональна схема, зображена на рис. 1, 2.

До складу акумулюючої автономної СЕС входять такі частини: сонячна батарея (СБ), змонтована на опорно-поворотному пристрої системи стеження, акумуляторно-електронний модуль (АЕМ), який вмикає акумуляторну батарею (АБ), контролери заряджання і розряджання АБ та інвертор, який перетворює постійний струм АБ на змінний струм частотою 50 Гц, 220 В, а також (у разі довготривалої хмарної погоди) резервне джерело живлення (як правило, дизель-генератор).

За сонячної погоди правильно розрахована СБ виробляє електроенергію в такій кількості, що її вистачає як для потреб користувачів, так і для накопичення надлишків електроенергії в АБ. За хмарної погоди або вночі користувач отримує електроенергію, накопичену в АБ. У разі довготривалої хмарної погоди електричну енергію може дати тільки резервне джерело живлення, яким може бути дизель-генератор або інше джерело електричної енергії, спроможне заряджати АБ.

Під час вибору й обґрунтування основних параметрів автономної СЕС – пікової потужності СБ та ємності АБ з урахуванням забезпечення безперебійності подавання електро-

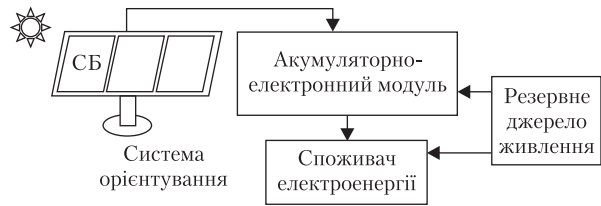


Рис. 1. Структура автономної сонячної електроенергетичної системи

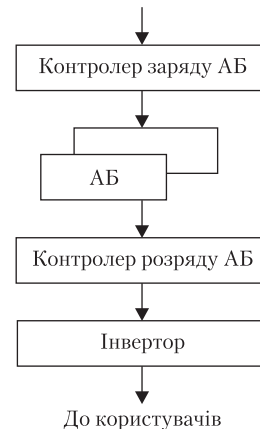


Рис. 2. Структура і склад акумуляторно-електронного модуля

енергії користувачам дуже важливо знати розподіл у часі надходження сонячної енергії впродовж року в місцевості, де передбачається встановлення СЕС.

З метою забезпечення збору інформації про параметри сонячної енергії та розподіл її в часі впродовж року для конкретної місцевості в Україні автори розробили методику вимірювання параметрів надходження сонячної енергії і оброблення отриманих експериментальних даних. Докладний опис цієї методики та результатів її застосування буде здійснено в наступних публікаціях, а тут наведемо найважливіші, на нашу думку, дані.

На основі розробленої методики автори провели вимірювання інтенсивності потоку сонячної енергії в місті Києві впродовж року в період з 01.06.09 по 31.05.10. Дані наведено на гістограмах (рис. 3–5).

На гістограмах рівень сонячної енергії кожного місяця і кожного дня пропорційний

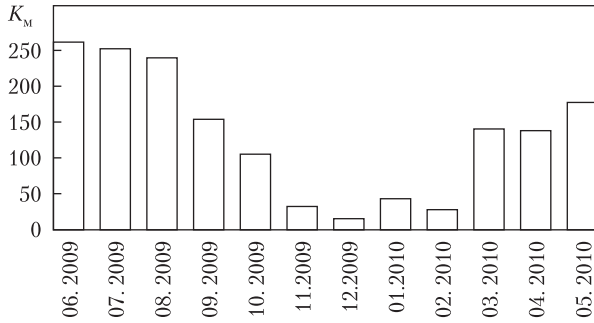


Рис. 3. Розподіл кількості виробленої електроенергії в місті Києві за місяцями впродовж року, з червня 2009 по травень 2010 р.

безрозмірному коефіцієнту відповідно K_{Mi} для рис. 3 і K_{Di} для рис. 4, 5.

На рис. 3 по осі ординат відкладено значення коефіцієнта за місяць: $K_{Mi} = E_{Mi} / P_{\text{пикСБ}} \cdot \Delta t$, де E_{Mi} — сумарна кількість електроенергії, яку реально виробляла вимірювана СБ впродовж місяця від сходу до заходу сонця ($i = 1 \div 12$); $P_{\text{пикСБ}}$ — пікова потужність вимірюваної СБ за стандартних умов освітлення (AM1,5, 1000 Вт/м²); Δt — тривалість інтервалів часу, на які поділяли світловий день під час вимірювань, який дорівнює 1 год і в

межах якого проводили фіксацію середнього значення виробленої СБ електроенергії.

На рис. 4, 5 по осі ординат відкладено значення коефіцієнта за добу: $K_{Di} = E_{Di} / P_{\text{пикСБ}} \cdot \Delta t$, де E_{Di} — сумарна кількість електроенергії, яку реально виробляла вимірювана СБ упродовж доби від сходу до заходу сонця ($i = 1 \div 31$).

Для того щоб перейти до абсолютних значень електроенергії, яку може виробляти реальна СБ (у певний місяць або день), потрібно помножити відповідне значення коефіцієнта (K_{Mi} або K_{Di}) на значення паспортної пікової потужності СБ у кВт.

З даних, наведених на рис. 3–5, випливає, що надходження енергії в зимовий час у 8–14 разів менше, ніж у літній, і в 3 рази менше, ніж в осінньо-весняний період, що є істотним недоліком застосування автономних сонячних енергетичних систем при їх розміщенні в середніх широтах.

Розглянемо можливі шляхи вирішення цієї проблеми. Одним із засобів збільшення кількості електроенергії, що виробляється СЕС у зимовий час, є збільшення пікової потужності СБ. В такому разі пікову потужність СБ потрібно буде збільшити в 8–14 разів порівняно з піковою потужністю СБ,

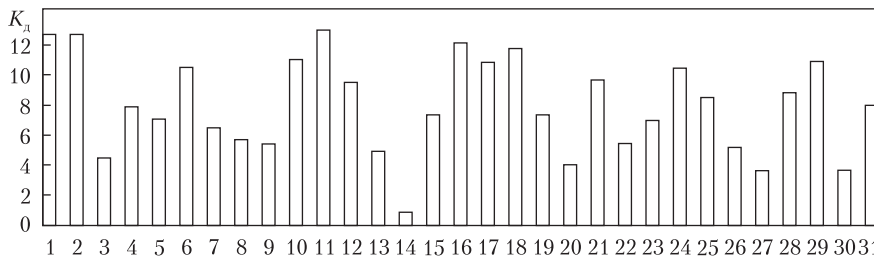


Рис. 4. Розподіл кількості електроенергії, виробленої за добу в липні 2009 р. у місті Києві

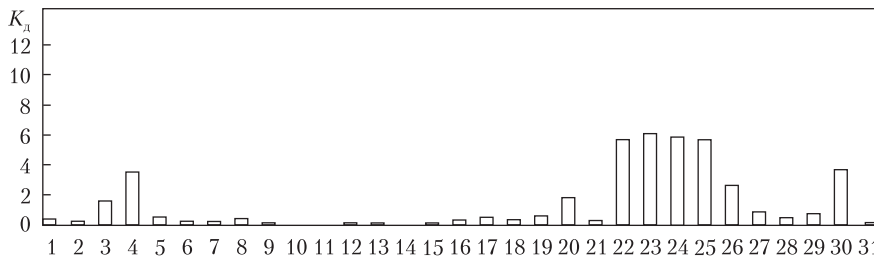


Рис. 5. Розподіл кількості електроенергії, виробленої за добу в січні 2010 р. у місті Києві

необхідною в літній період. Зрозуміло, це призведе до непомірно високої вартості СЕС, а з іншого боку — до надлишкового виробництва електроенергії влітку, яку користувач не зможе ефективно використовувати. Однак для південних районів, де співвідношення між ефективністю літньої та зимової фотогенерації буде меншим, таке рішення може виявитись виправданим. Якщо ж організувати ефективне використання надлишкової кількості електроенергії влітку (наприклад, для живлення кондиціонерів, холодильників), то цей недолік СЕС усувається навіть сьогодні.

Дані, наведені на рис. 3–5, можна використати для вибору й обґрунтування параметрів автономних СЕС, які передбачається будувати в Києві або прилеглих районах. Для інших областей України доцільно також здійснити моніторинг сонячної енергії і на основі отриманих даних проводити оптимізацію параметрів СЕС під час їх розроблення та будівництва.

Іншим напрямом забезпечення безперебійності електропостачання є збільшення ємності накопичувачів енергії. Однак практична реалізація цього варіанта сьогодні є неефективною в зв'язку з надто високою вартістю наявних типів акумуляторів, а також малою тривалістю зберігання енергії (наприклад, у кислотних і лужних електричних акумуляторах) внаслідок великого струму саморозрядження. Підвищення рентабельності автономних СЕС (принаймні забезпечення їх окупності за час експлуатації) напряму пов'язане зі створенням ефективніших накопичувачів енергії.

У всьому світі триває пошук способів підвищення техніко-економічних показників накопичувачів енергії, і можна припустити, що в недалекому майбутньому вдасться створити акумулятори з покращеними характеристиками, які б забезпечували ефективне вирішення задачі безперебійного функціонування автономних СЕС упродовж року.

Отже, враховуючи позитивні й негативні сторони застосування автономних акумуляуючих сонячних енергетичних систем (ААСЕС), можна зробити такі висновки.

1. При всіх позитивних якостях і перевагах напівпровідникових СЕС принциповим недоліком їхньої роботи є періодична відсутність генерації електроенергії, пов'язана з настанням нічного періоду доби або хмарною погодою вдень. Особливою важливою проблемою є різниця в кількості променистої світлової енергії в осінньо-зимовий та весняно-літній періоди року.

2. Нині для середніх географічних широт забезпечення впродовж року безперебійності енергопостачання користувачів лише за рахунок прямого перетворення й накопичення сонячної енергії становить значні труднощі (висока вартість, відсутність ефективних накопичувачів енергії тощо), а найчастіше це неможливо внаслідок недостатнього надходження сонячної енергії в зимовий час.

3. Основною перешкодою на шляху широкого застосування ААСЕС є висока вартість ФП і накопичувачів енергії, а також низькі технічні характеристики накопичувачів енергії.

ПАРАЛЕЛЬНО-СИНХРОННЕ ОБ'ЄДНАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ПРОМИСЛОВОЮ МЕРЕЖЕЮ

Одним із шляхів підвищення ефективності використання сонячної енергії з урахуванням забезпечення безперебійності енергопостачання споживачів є об'єднання СЕС з ПМ електропостачання (50 Гц, 220 В) [10].

Об'єднання СЕС з ПМ ґрунтується на принципі паралельного вмикання генераторів СЕС і мережі та їх синхронної роботи з однаковими частотами й амплітудами напруг. Таку об'єднану систему можна умовно назвати об'єднаною паралельно-синхронною сонячною енергетичною системою (ОПССЕС). У промислово розвинених країнах (Німеччина, США, Іспанія) значного поширення набули розподілені джерела електроенергії, які використовують відновлювану енергію (сонце, вітер) і об'єднані з промисловою мережею. Один із варіантів структури такої енергосистеми зображено на рис. 6.

Відмінність структури такої енергосистеми від структури автономної СЕС (рис. 1, 2)

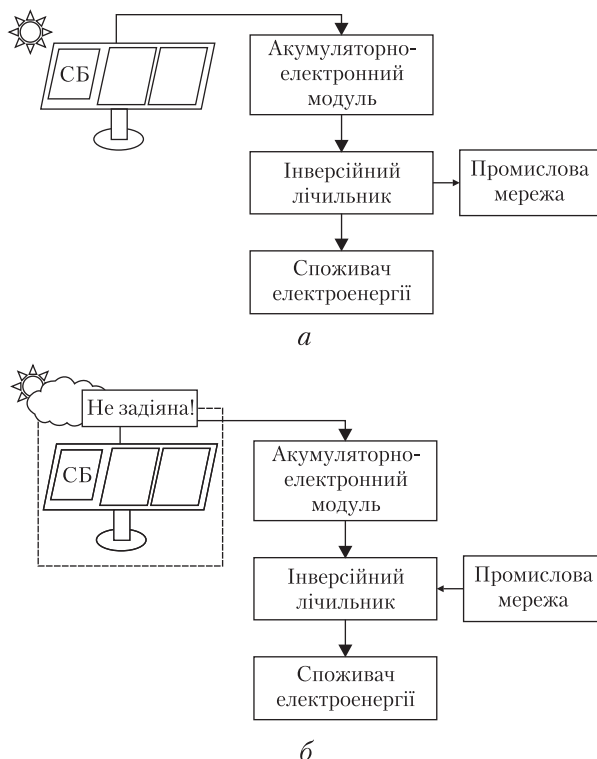


Рис. 6. Структура та склад СЕС, об'єднаної з промисловою мережею (grid connected solar power plant), яка застосовується в промислово-розвинених країнах

полягає в тому, що до неї додатково введено інверсійний лічильник електроенергії і має місце зв'язок з ПМ. Ця об'єднана сонячна електроенергетична система діє так. За сонячної погоди, коли ефективно працює СБ (рис. 6а) і достатньо електроенергії для задоволення потреб користувачів, надлишок електроенергії передається в мережу. В такому разі користувач отримує електроенергію безкоштовно, а за надлишок отримує окрему платню. Електроенергія, вироблена СЕС, оплачується за спеціальним тарифом, який істотно перевищує оплату електричної енергії від мережі. В разі, якщо «сонячної» електроенергії немає, користувач купує електроенергію, отримуючи її з ПМ (рис. 6б).

На відміну від ААСЕС, проблема подолання перебоїв електропостачання користувачів, які виникають внаслідок добової періодичності надходження сонячної енергії та її добової і сезонної нерівномірності, в ОПССЕС

вирішується завдяки об'єднанню з ПМ. У разі відсутності енергії від Сонця вона компенсується електроенергією з мережі, яка постійно надходить від традиційних джерел енергії (теплових, атомних і гідроелектростанцій).

До переваг ОПССЕС слід віднести такі.

1. АБ, що входить до складу ОПССЕС, може мати дуже малу ємність або, як крайній випадок, АБ може не бути взагалі, що значно зменшує вартість «сонячної» складової обладнання ОПССЕС і, таким чином, надає їй більшої економічної доцільності порівняно з ААСЕС.

2. Застосування ОПССЕС дає змогу ефективно використовувати сонячну енергію при значно менших капітальних витратах на її створення, що послугувало потужним стимулом до виробництва і застосування сонячних батарей, які входять до складу ОПССЕС.

3. Взаємне використання двох джерел електроенергії – СБ та ПМ, яке реалізується в об'єднаній енергетичній системі класу ОПССЕС, забезпечує надходження електроенергії, отриманої від СБ, у ПМ (50 Гц, 220 В), а отже, економію електроенергії, виробленої традиційними джерелами – тепловими, атомними, гідроелектростанціями.

Слід зазначити, що впровадження в Україні ОПССЕС, які забезпечують передавання надлишків електроенергії в ПМ через інверсійний лічильник, на сьогодні становить певні труднощі, оскільки чинна нормативно-технічна база не в повному обсязі забезпечує регулювання всіх питань, пов'язаних з інверсійним підключенням до ПМ. Крім того, остаточно не вирішені питання вітчизняного виробництва деяких потрібних для цього технічних засобів, наприклад інверсійних лічильників, перетворювачів електричної енергії, узгоджених з ПМ, а також питання їх атестації і сертифікації [12–14].

Підвищення частки електроенергії, отриманої з відновлюваних джерел, в загальному обсязі електроенергії, що генерується у ПМ, викликало нові проблеми, яких раніше не було. Ці проблеми зумовлені дестабілізуювальним впливом електроенергії, що надхо-

дять до мережі від СЕС, і полягають в наступному:

- необхідність прогнозування потужності електроенергії, яку виробляють сонячні або вітрові електростанції, що потрібно для оптимізації роботи всієї об'єднаної енергосистеми;

- необхідність вмикання додаткових резервів маневрових потужностей електростанцій, що використовують традиційні джерела енергії (наприклад, вуглеводневе паливо), для компенсування нестабільності електроенергії від сонячних або вітрових електростанцій.

Слід зазначити ще деякі особливості ОП-ССЕС, в яких немає АБ або її ємність дуже мала, що знижують ефективність її застосування.

1. У разі припинення надходження енергії від Сонця вся відповідальність за безперебійне електропостачання користувачів покладається на ПМ. Однак той факт, що надходження сонячної енергії має періодичний, а часто й випадковий характер, безперебійність в ОПССЕС забезпечується тільки завдяки надходженню енергії від ПМ. В свою чергу, це призводить до того, що встановлену потужність традиційних електростанцій слід розраховувати не беручи до уваги кількість електроенергії, що надходить від Сонця, якою б великою вона не була, оскільки в разі припинення надходження сонячної енергії вся потрібна для користувачів електроенергія має надходити з ПМ.

2. Внаслідок розходження в часі максимуму добового надходження енергії від Сонця і піків навантаження у ПМ (максимум надходження сонячної енергії припадає на полуденні години, а піки добового навантаження — на вранішній та вечірній час доби), «сонячна» складова енергії, що надходить у ПМ, не може ефективно впливати на компенсування пікових навантажень у мережі.

Вирішення всіх питань щодо інтегрування електростанцій, які використовують відновлювану енергію, у ПМ нерозривно пов'язане з впровадженням нових принципів побудови самої мережі, яка має стати інтелектуаль-

ною, здатною самостійно перерозподіляти потоки енергії, спрямовувати їх туди, де їх бракує, і накопичувати там, де є їх надлишок. Роботи в цьому напрямі ведуться вже давно і знайшли своє відображення в новій концепції електричної енергетики — концепції «розумної» енергетики — Smart Grid, яку активно розробляють у розвинених країнах.

ПРОБЛЕМИ В ТРАДИЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ, ПОВ'ЯЗАНІ З ДОБОВОЮ НЕРІВНОМІРністю НАВАНТАЖЕННЯ

Проблема пікових навантажень у ПМ не нова. У нічний час електростанції недовантажені, а вдень виникають пікові перевантаження, які можуть спричинити аварійні відключення в енергосистемі й виникнення, таким чином, аварійних ситуацій. Уряди практично всіх країн докладають значних зусиль із недопущення виникнення в енергосистемах аварійних ситуацій, пов'язаних з піковими навантаженнями. Для вирішення цієї проблеми вони використовують централізовані заходи — як адміністративно-організаційні, так і технічні [15].

До централізованих технічних засобів, призначених для покриття пікових навантажень в електромережах, належать гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС), принцип дії яких полягає в перетворенні електричної енергії, отриманої від інших електростанцій у нічний час, на потенціальну енергію піднятої на певну висоту води. Ця енергія під час зворотного перетворення на електричну енергію виділяється в енергетичну систему, переважно для компенсування піків навантаження.

Слід зазначити, що будівництво ГАЕС є великим державним проектом, що потребує значних капіталовкладень, вирішення питань екологічної безпеки, землевідведення, соціальної сфери тощо, що є істотною перешкодою для їх широкого застосування.

До адміністративних централізованих заходів щодо вирівнювання навантажень в енергосистемі належить введення багатотарифної системи оплати електричної енергії для споживачів [15], що стимулює споживання електроенергії в нічний час і в такий

спосіб до деякої міри може вплинути на розподіл навантаження впродовж доби, знижуючи навантаження в пікові години.

При багатотарифній системі доба розділена на три зони: пікова — тривалістю 6 год (3 год — ранкова пікова і 3 год — вечірня пікова); напівпікова — 11 год і нічна — 7 год. Тарифні коефіцієнти за зонами (відношення до визначеного тарифу) такі: пікова — 1,8; напівпікова — 1,02; нічна — 0,25. Та обставина, що в Україні нічний тариф для підприємств у 4 рази (!) нижчий за звичайний, є дієвим стимулом для споживачів електричної енергії до використання її в нічний час.

З цієї метою використовують як адміністративно-організаційні, так і технічні засоби. До адміністративно-організаційних належать такі заходи: організація нічних змін роботи для всього підприємства або тільки для цехів, що споживають велику кількість електроенергії.

Робота в нічні зміни є соціально негативним явищем у діяльності підприємства, тому все частіше адміністрація прагне використовувати технічні засоби, зокрема автоматизацію виробництва, для забезпечення робіт у нічний час. В цехах, що працюють без участі людини, цим досягають позитивного ефекту як у соціальному плані, так і щодо використання нічного тарифу.

Останнім часом зростає інтерес до створення систем і пристроїв із застосуванням принципу накопичення енергії від електромережі в нічний час з наступним її використанням у денний час.

ОБ'ЄДНАННЯ АКУМУЛЮЮЧИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ПРОМИСЛОВОЮ МЕРЕЖЕЮ

З погляду вирішення проблем у традиційних електроенергетичних системах і акумулюючих автономних СЕС об'єднання СЕС, до складу якої входить АБ, і ПМ є досить ефективним, оскільки, з одного боку, надлишок енергії, яку виробляє СЕС у денний час доби в літній та частково осінньо-весняний період, сприяв би розвантаженню мережі в пікові години, отже, СЕС могла б стати аль-

тернативною ГАЕС щодо покриття пікових навантажень у мережі. З другого боку, в разі недостатнього виробництва електроенергії СЕС у зимовий час станція могла б отримувати її в нічний час від мережі за дешевим тарифом для заряджання енергоємних акумуляторів, таким чином, попутно вирішувалось би ще одне важливе завдання — навантаження традиційних електростанцій у нічний час.

Таку об'єднану енергосистему (СЕС плюс ПМ) можна назвати об'єднаною акумулюючою сонячною енергетичною системою (ОАСЕС).

Розглянемо принцип дії, можливості, позитивні й негативні особливості ОАСЕС, один із варіантів будови якої ілюструє функціональна схема, наведена на рис. 7.

До складу ОАСЕС входить СЕС, що включає СБ і акумуляторно-електронний модуль, а також додатково введений модуль нічного тарифу, до складу якого входять: багатотарифний лічильник, силовий вхід якого під'єднано до ПМ (50 Гц, 220 В), силовий комутатор, силовий вхід якого з'єднано із силовим виходом лічильника, електромережевий адаптер, силовий вхід якого з'єднано з силовим виходом комутатора, а вихід — з другим силовим входом АЕМ, годинник, формувач керуючих сигналів, сигнальний вхід якого підключено до виходу годинника, а вихід — до керуючого входу комутатора (рис. 8).

ОАСЕС працює так. Акумуляторно-електронний модуль, що входить до складу СЕС, забезпечує приймання електроенергії в АБ як від СБ, так і від ПМ. ОАСЕС може працювати в одному з двох режимів, які задаються подаванням відповідних команд на керівні входи формувача, — «мережа» або «автономний». Розглянемо роботу ОАСЕС в режимі «мережа». В цьому режимі електроенергія може надходити в АБ як від СБ, так і від ПМ.

У денний час доби ОАСЕС працює як звичайна СЕС, що перетворює сонячну енергію на електричну і накопичує її в АБ. При цьому, звичайно, відбуватиметься також споживання енергії навантаженнями, підключеними до ОАСЕС. У вечірній час споживання електроенергії відбуватиметься без

надходження енергії в АБ від СБ, АБ при цьому розряджатиметься.

Годинник працює безперервно і формує сигнал часу, який надходить на перший сигнальний вхід формувача. З настанням моменту, коли починає діяти нічний тариф, на виході формувача з'являється сигнал, що діє на керуючий вхід силового комутатора і встановлює його в замкнений стан. При цьому електроенергія (50 Гц, 220 В) з виходу багатотарифного лічильника через комутатор надходить у мережевий адаптер. Мережевий адаптер знижує напругу мережі (50 Гц, 220 В) до рівня, необхідного для заряджання АБ, випрямляє його і подає на вхід контролера заряду АБ, що входить до складу акумуляторно-електронного модуля. Подальші процеси накопичення і перетворення електроенергії в АЕМ нічим не відрізняються від цих процесів у ситуації, коли електроенергія надходить в АЕМ від СБ.

Оскільки АБ заряджається в нічний час, то накопичення електроенергії відбувається за дешевим нічним тарифом. З настанням моменту, коли нічний тариф закінчується, на виході формувача з'являється сигнал, що встановлює силовий комутатор у розімкнений стан, при цьому припиняється подавання електроенергії в мережевий адаптер через комутатор. Далі процеси в ОАСЕС повторюються: з настанням денного часу електроенергія надходить в АЕМ від СБ, а коли починає діяти нічний тариф – від ПМ.

Режим роботи ОАСЕС «мережа» доцільно використовувати за малого надходження сонячної енергії (зима, окремі осінні й весняні місяці), оскільки при цьому забезпечується безперебійність постачання електроенергії користувачам завдяки регулярному подаванню її в нічний час від мережі й накопиченню в АБ. У разі значного надходження електроенергії (влітку) доцільно перевести ОАСЕС у режим роботи «автономний». У цьому режимі ОАСЕС працює так. Під час подавання на керуючий вхід формувача команди «автономний» у ньому на виході блокується видача сигналу, за яким у нічний час доби комутатор замикається, при цьому він залишається

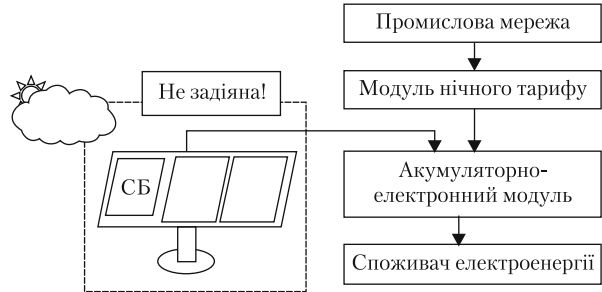


Рис. 7. Структура і склад об'єднаної акумуляуючої сонячної енергетичної системи

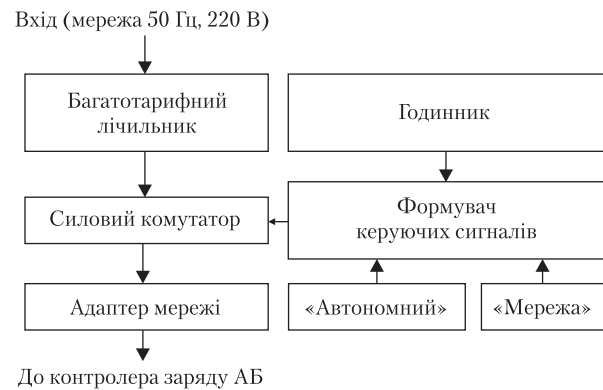


Рис. 8. Структура і склад модуля нічного тарифу

розімкненим, електроенергія від мережі (50 Гц, 220 В) не надходить у мережевий адаптер і, звичайно, в АЕМ, тобто в цьому режимі ОАСЕС працює як автономна СЕС.

Перевагою роботи в цьому режимі є те, що користувач не платить за енергію, отриману від мережі, оскільки йому достатньо електроенергії від СБ. Оскільки в ОАСЕС забезпечується можливість регулярного подавання електроенергії від мережі, це дає змогу значно зменшити ємність АБ порівняно з ААСЕС (достатньо запасу електроенергії в АБ на одну добу) і, таким чином, значно зменшити вартість ОАСЕС, що робить її більш конкурентоспроможною в економічному плані порівняно з ОПССЕС.

Щодо впровадження СЕС в Україні, сьогодні можна віддати деяку перевагу ОАСЕС з таких причин:

— ОАСЕС зберігає майже всі позитивні властивості автономної СЕС;

Порівняльні характеристики різних типів СЕС

| Функції, характеристики | Тип СЕС | | |
|---|---|-------------|---------------------------------|
| | ААСЕС | ОПСЕС | ОАСЕС |
| Наявність АБ | Є, запас електроенергії на тиждень і більше | Немає | Є, запас електроенергії на добу |
| Можливість автономної роботи | Влітку, частково навесні, восени | Немає | Тільки влітку |
| Вартість | Велика | Мінімальна | Середня |
| Забезпечення безперебійності подавання електроенергії користувачам | Влітку, частково навесні, восени | Так | Так |
| Забезпечення розвантаження промислової мережі в пікові години | Є, частина користувачів взагалі не підключена до мережі | Немає | ” |
| Передавання електроенергії в мережу | Немає | Є | Немає |
| Зв’язок з промисловою мережею | ” | ” | Є |
| Приймання електроенергії з мережі | ” | ” | ” |
| Тривале (до 24 год) електропостачання користувачів за відсутності електроенергії в мережі | Так | Немає | Так |
| Наявність нормативно-технічної бази для впровадження в Україні | Є | Є, частково | Є |

— усувається недолік ААСЕС, зумовлений незначним надходженням енергії в зимовий час через використання в цей період електроенергії від ПМ (50 Гц, 220 В) за дешевим нічним тарифом;

— для користувачів, які підключені до ПМ (50 Гц, 220 В) і вже споживають недорогого поки що електроенергію, але очікують її подорожчання, впровадження ОАСЕС дасть змогу забезпечити безперебійність живлення навантажень у разі відключення електроенергії в промисловій мережі впродовж кількох діб, підвищить їхню енергонезалежність, а в майбутньому окупить вкладені в ОАСЕС кошти;

— в Україні вже створено і введено в дію нормативно-технічну базу, що забезпечує широке впровадження ОАСЕС у вигляді як малопотужних децентралізованих, так і потужних централізованих систем, зокрема, законодавчо вирішено питання багатотарифної оплати електричної енергії, серійно випускають багатотарифні лічильники, акумулятори, ФП, СБ тощо;

— для інвесторів, які прагнуть вкласти кошти у високі технології, поліпшені техніко-

економічні характеристики ОАСЕС посилять їхню мотивацію під час вибору напряму інвестицій на користь сонячної енергетики.

Держава також зацікавлена у сприянні впровадженню ОАСЕС, оскільки їх масове застосування спрямоване на вирішення загальнодержавних проблем:

- підвищення завантаження традиційних електростанцій у нічний час доби;
- зниження пікових навантажень в електромережах;
- уникнення необхідності будівництва нових ГАЕС;
- впровадження альтернативних джерел електроенергії.

Деякі характеристики та функціональні можливості розглянутих СЕС наведено в таблиці, що дає можливість здійснити їх порівняльний аналіз.

Все викладене вище про СЕС значною мірою стосується й інших видів відновлюваної енергетики (вітрової, біоенергетики тощо).

ВИСНОВКИ

1. Під час проектування СЕС, вибору принципу її будівництва й обґрунтування її

основних технічних характеристик і економічних показників велике значення мають такі фактори:

- мета створення СЕС;
- часовий розподіл потоку сонячної енергії в місцевості, де передбачається встановлення СЕС;
- наявність чи відсутність ПМ або інших джерел електричної енергії;
- вимоги до якості електроенергії та надійності її постачання;
- фінансові можливості інвесторів.

2. Висока вартість усіх складових частин СЕС, а також, що особливо важливо, недосконалість накопичувачів енергії, яка не дає змоги усунути основний недолік автономних СЕС — неможливість самостійно забезпечувати користувача потрібною кількістю електроенергії впродовж усього року (особливо взимку), є головною перешкодою для широкого використання СЕС у всіх сферах життя та підвищення частки енергії, отриманої від СЕС, у загальному обсязі виробництва електроенергії.

3. Підвищити інтерес користувачів, представників бізнесу, інвесторів та індивідуальних користувачів до виробництва й застосування СЕС можна лише завдяки підвищенню їхніх техніко-економічних характеристик. Тому доцільно сконцентрувати зусилля вчених на вирішенні таких завдань:

- зменшення вартості кіловат-години електроенергії, що виробляється СБ, за рахунок підвищення ККД і терміну служби при одночасному зменшенні вартості;
- зменшення вартості кіловат-години електроенергії, отриманої від АБ, завдяки збільшенню: терміну служби — до 15–20 років, ресурсу (кількості циклів заряджання-розряджання) до 10000 при одночасному зменшенні їхньої вартості;
- збільшення тривалості зберігання енергії в АБ до 6–12 місяців при швидкості саморозряджання не більш як 2% на місяць;
- застосування сучасних і створення нових технологій заряджання-розряджання АБ, що забезпечуватиме подовження їх ресурсу і терміну служби;

- вдосконалення і створення нових типів накопичувачів електричної енергії, наприклад суперконденсаторів, які за питомими показниками (Дж/кг, Дж/см³, \$/Дж) не поступалися б АБ, а за ресурсом, терміном служби і тривалістю зберігання енергії значно їх перевершували;

- вдосконалення і створення нових типів накопичувачів енергії із застосуванням принципів, відмінних від накопичення і зберігання електричної енергії;

- розроблення нової концепції електроенергетики України, пов'язаної з інтегруванням електростанцій, що використовують відновлювану енергію, в ПМ й підвищенням ефективності електроенергетики загалом; концепція має ґрунтуватись на нових принципах «розумної» енергетики — Smart Grid, яка має враховувати особливості електроенергетичного комплексу України;

- створення обладнання та проведення моніторингу потоків сонячної й вітрової енергії по всій території України для отримання даних про розподіл як окремо кожного з цих потоків енергії у часі й просторі, так і сумарного;

- зменшення вартості СБ і АБ завдяки раціональному повторному використанню (рециклінгу) матеріалів, з яких їх виробляють (кремній, свинець, літій, нікель тощо).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Мхитарян Н.М., Мачулін В.Ф.* Проблемы развития энергетики Украины. Возобновляемая и нетрадиционная энергетика // Наука та інновації. — 2006. — Т. 2, № 2. — С. 63–75.
2. *Наумов А.В.* Производство фотоэлектрических преобразователей и рынок кремниевого сырья в 2006–2010 гг. // Технология конструирования в электронной аппаратуре. — 2006. — № 4. — С. 3–8.
3. *Würfel P.* Physics of Solar Cells. From Principles to New Concepts. — Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2005. — 186 p.
4. *Мачулін В., Литовченко В., Стріха М.* Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України // Вісник Національної академії наук України. — 2011. — № 5. — С. 30–39.
5. *Мхитарян Н.М., Кудря С.О., Резцов В.Ф. и др.* Потенциал и перспективы использования возобновляемых источников энергии в Украине // Альтернативная энергетика и экология. — 2011. — № 8. — С. 150–163.

6. Оксанич А.П., Тербан В.А., Волохов С.О. та ін. Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. — Кривий Ріг: Мінерал, 2010. — 267 с.
7. Макаров А.В. Нові розробки в напівпровідниковій сонячній енергетиці як перспективна область інноваційного бізнесу // Наука та інновації. — 2005. — Т. 1, № 6. — С. 69–79.
8. Solar energy. Technology assessment report. An Assessment of Solar Energy Conversion. Technologies and Research Opportunities // http://gcep.stanford.edu/research/technology_assessment.html.
9. Green M., Emery K., Hishikava Y., Warta W. Solar Cell Efficiency Tables (Version 32) // Prog. Photovolt: Res. Appl. — 2008. — V. 16, № 5. — P. 435–440.
10. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Edited by A. Luque, S. Hegedus. — Chichester: John Wiley & Sons, 2003. — 1181 p.
11. Paton B.E., Korotynsky A.E., Kolesnik G.F. et al. Methods of designing devices for heliowelding // Automatic welding. — 2001. — V. 12. — P. 48–53.
12. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії» від 01.04.09 № 1220-VI // Відомості Верховної Ради України. — 2009. — № 32–33. — С.496
13. Кудря С.А., Щекін А.Р., Пенелов А.В. Усовершенствование законодательной базы развития возобновляемой энергетики в Украине // Альтернативная энергетика и экология. — 2011. — № 8. — С. 140–145.
14. Лукомский Д. Рынок солнечной энергетики в Украине // <http://www.renewable.com.ua/>.
15. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України «Про тарифи на електроенергію, що відпускається населенню і населеним пунктам» від 10.03.99 № 309.

*Б.Е. Патон¹, Н.И. Клюй², А.Е. Коротынский¹,
А.В. Макаров², Ю.А. Трубицин¹*

¹ Інститут електросварки ім. Е.О. Патона
Національної академії наук України
ул. Боженко, 11, Київ, 03680, Україна

² Інститут фізики напівпровідників
ім. В.Е. Лашкарева Національної академії наук
України
пр. Науки, 41, Київ, 03028, Україна

УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрены особенности функционирования и повышения эффективности автономных солнечных

электроэнергетических систем с учетом неравномерности поступления солнечной энергии в течение года и обеспечения бесперебойности поставок электроэнергии пользователям. Приведены варианты объединения солнечных электроэнергетических систем с электросетью и особенности функционирования промышленной сети, объединенной с солнечными электроэнергетическими системами. Показана необходимость создания промышленной сети на новых принципах «разумной энергетики» — Smart Grid, разработка которой, с учетом интеграции в нее электростанций, использующих возобновляемую энергию, должна существенно повысить эффективность работы энергосистемы в целом. Приведены результаты натурных измерений потока солнечной энергии в городе Киеве в период с 01.06.2009 г. по 31.05.2010 г. в соответствии с разработанной методикой измерения и обработки полученных данных.

Ключевые слова: аккумуляторные батареи, солнечные батареи, промышленная электросеть, альтернативные и традиционные источники электроэнергии.

*B.E. Paton¹, N.I. Klyui², A.E. Korotynsky¹,
A.V. Makarov², U.O. Trubitsyn¹*

¹ Paton Electric Welding Institute
of National Academy of Sciences of Ukraine
11 Bozhenko Srt., Kyiv, 03680, Ukraine

² Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics
of National Academy of Sciences of Ukraine
41 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine

CONDITIONS FOR EFFECTIVE APPLICATION SOLAR ELECTRIC POWER SYSTEMS

The functioning peculiarities and efficiency increase stand-alone solar electric power systems with a glance subject to solar energy supply irregularity in the course of year and provision uninterrupted power supply supply for it consumers are consider. The variants of aggregation solar electric power systems with grid and peculiarities of it functioning are presented. The necessity of construction commercial grid based on new «smart power engineering» foundations — Smart Grid, which have to raise of efficiency power system in whole by renewable energy power plants integration is demonstrated are presented. Solar radiant energy measurement data realized in Kyiv for period 01.06.2009 — 31.05.2010 according to developed technique of measurements and data processing are presented.

Keywords: storage batteries, photoelectric cells, commercial grid, alternative and traditional energy sources.

Стаття надійшла 11.01.2012 р.