

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

Т.П. Романець, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: romanetsta@khnmu.edu.ua

В. С. Неймак, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: nejmakvit@gmail.com

Хмельницький національний університет

Анотація. Розглядаються шляхи підвищення ефективності використання сонячних батарей. Проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі. Частка відновлюваної енергетики в енергосистемі останнім часом постійно зростає. Для виробництва електроенергії, а також для нагрівання або опріснення води, все більш популярною в усьому світі стає сонячна енергія. Це одна з технологій відновлюваної енергії, яка розвивається найшвидше, і вона відіграє все більш важливу роль у глобальній енергетичній трансформації. Удосконалення технології отримання електричної енергії з сонячного випромінювання призводить до того, що сонячна енергія з часом стане найбільш доступною серед інших альтернативних джерел. В Україні доля сонячної генерації є найбільшою серед відновлюваних джерел і складає більше половини встановленої потужності усієї відновлюваної енергетики. Генерація електричної енергії сонячними батареями впродовж світлового дня змінюється. Графік видачі потужності схожий на синусоїду. Ефективність використання променевої енергії сонячними батареями залежить від їх орієнтації в просторі. Якщо вироблена енергія використовується виключно для власного споживання, то ефективна потужність і тривалість генерації не завжди збігаються з графіком навантаження. Для підвищення ефективності використання сонячних батарей пропонується орієнтувати фотоелектричні модулі окремих станцій, або фотоелектричні модулі окремих стрінгів однієї станції за різними азимутальними напрямками. Це дозволить забезпечити кращу відповідність графіків видачі потужності та навантаження, а також збільшити загальну тривалість ефективної генерації. Такий проект було реалізовано при будівництві дахових сонячних електростанцій (СЕС) Хмельницького національного університету. Встановлено, що зміщення максимумів графіків видачі потужності СЕС з азимутальним кутом $+25^{\circ}$ та СЕС з азимутальним кутом -60° складає дві години 15 хв. Вироблена протягом світлового дня електроенергія та пікова потужність СЕС, що мають різну азимутальну орієнтацію, відрізняються в межах до 15 %. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що коли енергія вироблена сонячними батареями не видається в мережу, а забезпечує виключно власне споживання, запропоновані технічні рішення дозволяють розширити часові межі

ефективної генерації та погодити графіки видачі потужності з графіками навантаження.

Ключові слова: генерація, енергетика, відновлювальні джерела енергії, енергоефективність, сонячні батареї, сонячна електростанція

Актуальність. Розвиток енергетики в XXI столітті характеризується інтенсивним використанням відновлюваних джерел енергії. Вони володіють величезними ресурсами, що дозволяє знизити частку енергії з викопного палива і тим самим зменшити негативний вплив традиційних способів виробництва енергії на навколишнє середовище, а також підвищити енергетичну та екологічну безпеку [1]. Враховуючи статистику (2012-2023), опубліковану на веб-сайті IRENA [3], темпи зростання сонячної енергетики в світі є досить високі – близько 20% на рік (рис. 1).

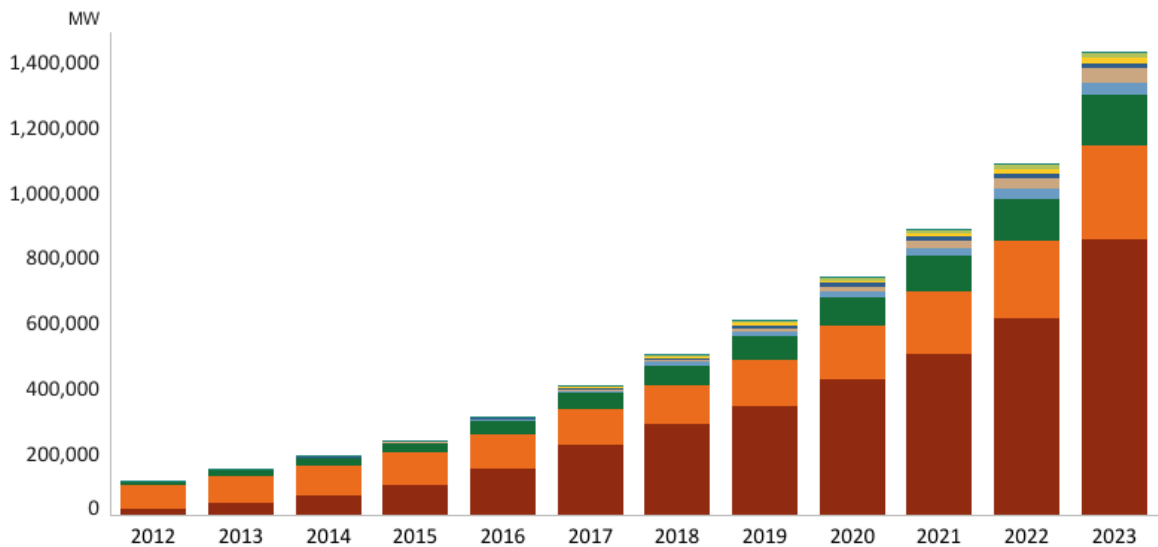


Рис. 1. Встановлена потужність об'єктів сонячної енергетики в світі

В Україні вони були ще стрімкішими (рис. 2).

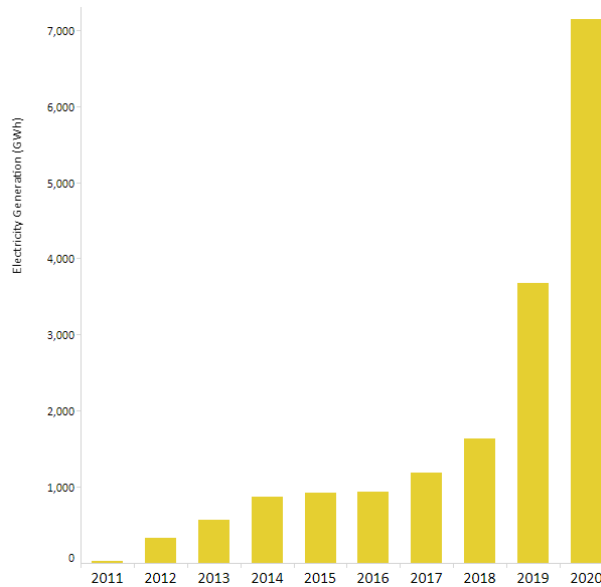


Рис. 2. Встановлена потужність сонячних електростанцій в Україні

Енергія сонця в усьому світі стрімко набуває популярності як джерело електричної енергії, а також для гарячого водопостачання та опріснення води.

З усіх технологій відновлюваної енергії сонячна енергетика розвивається найшвидше. Нині вона відіграє одну з головних ролей у глобальній енергетичній трансформації. Станом на кінець 2023 року загальна встановлена потужність сонячної фотоелектричної системи в усьому світі перевищила 1400 ГВт . У 2023 році було додано понад 250 ГВт нових сонячних фотоелектричних потужностей, що є найбільшим збільшенням потужності з усіх джерел відновлюваної енергії [3] (рис. 3).

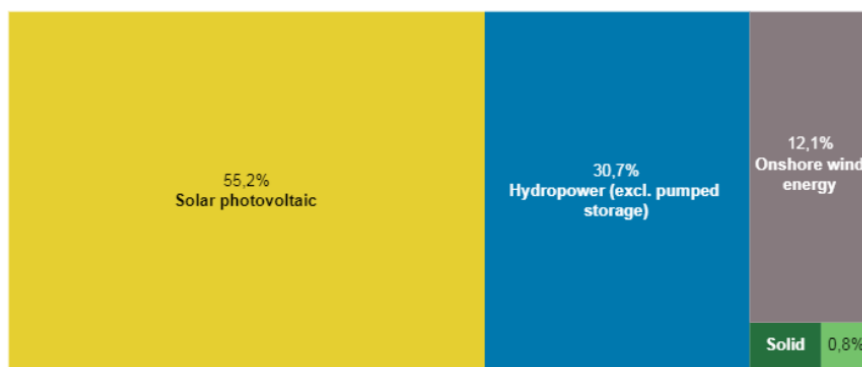


Рис. 3. Встановлена потужність відновлюваної енергетики

Аналізуючи тенденції ринку можна бачити, що вартість фотоелектричних модулів знижується з кожним роком. З 2010 по 2020 рік ціни на сонячні модулі впали на 93 % .

Удосконалення технології отримання електричної енергії з сонячного випромінювання призводить до того, що сонячна енергія з часом стане найбільш доступною серед інших альтернативних джерел енергії [2]. В Україні частка встановленої потужності сонячної генерації є найбільшою серед відновлюваних джерел і складає більше половини встановленої потужності усієї відновлюваної енергетики.

Таким чином, дослідження шляхів підвищення ефективності використання сонячних батарей є актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Генерація електричної енергії сонячними батареями впродовж світлового дня змінюється від нуля до максимуму і потім у зворотному напрямку. Графік видачі потужності схожий на синусоїду. Ефективність використання променистої енергії сонячними батареями залежить від їх орієнтації в просторі. Як правило, сонячні батареї орієнтують на південь. Якщо з якоїсь причини такої можливості немає, то сонячні батареї можна встановити з орієнтацією на південно-західний або південно-східний напрямки. У випадку, коли генерована енергія використовується виключно на власне споживання, ефективна генерація та її тривалість не завжди співпадає з графіком навантаження.

Одним із методів підвищення електричної продуктивності сонячних батарей є створення динамічних систем кріплення та застосування пристроїв, які слідкують за Сонцем (трекерів). Використання трекерів забезпечує автоматичне переміщення за Сонцем протягом дня розміщених на них сонячних батарей. Також трекари змінюють кут нахилу фотоелектричних модулів в залежності від пори року. Як наслідок, значно підвищується коефіцієнт корисної дії сонячних батарей, а отже збільшується кількість виробленої електроенергії порівняно з нерухомо закріпленими фотоелектричними модулями. Однак вони мають і свої недоліки. Зокрема ускладнюється конструкція СЕС, збільшується її вартість, знижується надійність. Крім того, збільшується споживання енергії на власні потреби станції,

виникає необхідність періодичного технічного обслуговування та ремонту трекерних систем.

Мета дослідження – підвищення ефективності використання сонячних батарей шляхом орієнтації фотоелектричних модулів окремих станцій, або фотоелектричних модулів окремих стрінгів однієї станції за різними азимутальними напрямками. Це дозволить забезпечити кращу відповідність графіків видачі потужності та навантаження, а також збільшити загальну тривалість ефективної генерації.

Матеріали і методи дослідження. Такий проект було реалізовано при будівництві дахових сонячних електростанцій

Запропонована ідея була реалізована в проекті будівництва дахових сонячних електростанцій (СЕС) Хмельницького національного університету (ХНУ). Для дослідження ми вибрали СЕС з однотипними фотоелектричними модулями та інверторами. Сонячні батареї СЕС складаються з фотоелектричних модулів Risen RSM60-6-270P. Перетворення виробленого модулями струму постійної напруги в змінний струм здійснюється мережевим інверторами HUAWEI Sun2000-20KTL з номінальною потужністю 20 кВА.

На даху навчального корпусу № 4 встановлені сонячні батареї СЕС-1 з азимутом $+25^{\circ}$. Сонячні батареї СЕС-2 на даху навчального корпусу №3 встановлені за азимутом -60° . Сонячні панелі СЕС-3 на даху корпусу фізичного виховання орієнтовані точно на південь - азимутальний кут дорівнює $+0^{\circ}$. Сонячні батареї на названих СЕС встановлені з однаковим кутом нахилу в площині зеніту.

Для дослідження ефективності роботи сонячних електростанцій ХНУ використовується система моніторингу Huawei Smart Logger. Вона дозволяє спостерігати за роботою обладнання сонячних електростанцій та керувати нею. У цю систему за допомогою портів об'єднано всі пристрої. Вона перетворює протоколи, збирає та зберігає дані. централізовано підтримує і контролює в цілому систему генерації сонячної енергії.

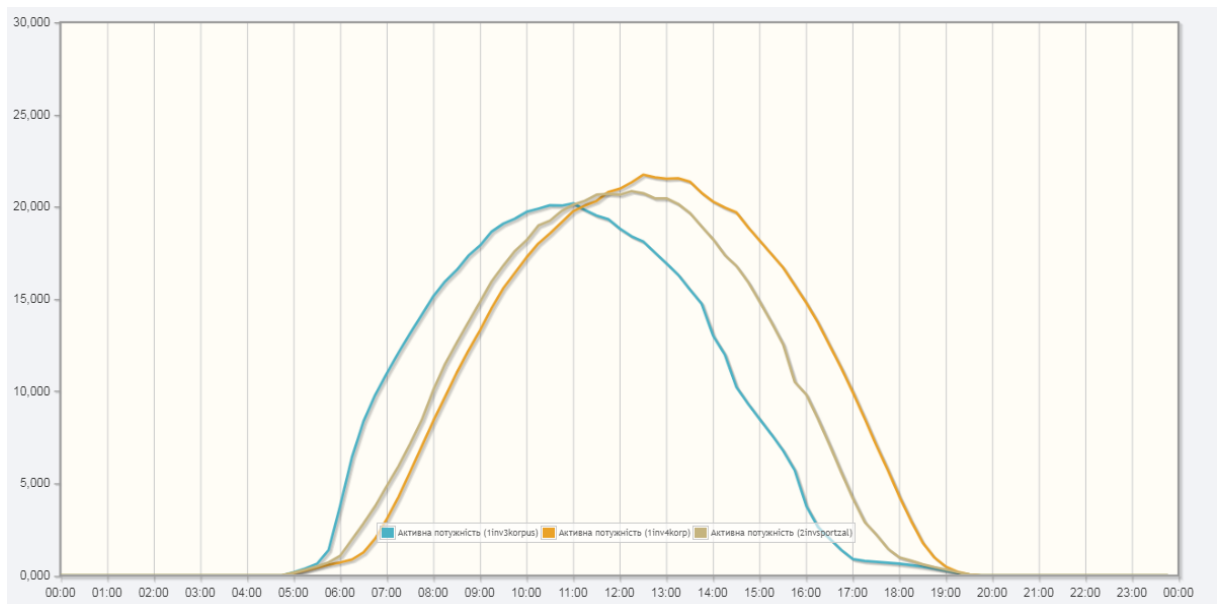
Huawei Smart Logger поєднує та підтримує ряд пристроїв. Це зокрема інвертори, автоматизовані розподільчі щити змінного струму, трансформатори та

інтелектуальні лічильники, пристрої моніторингу зовнішньої мережі, які забезпечені портами RS485 або використовують стандартний протокол Modbus.

Завдяки цій системі можна в автоматичному режимі здійснювати візуалізацію параметрів, у реальному часі проводити обробку даних, формувати масиви бази даних та здійснювати аналіз експлуатаційної ефективності кожного з окремих інверторів та окремих стрінгів СЕС. Усі названі дії можна виконувати дистанційно через WEB сервер.

Результати досліджень та їх обговорення. Проведено аналіз даних отриманих системою моніторингу Smart Logger з інверторів згаданих вище СЕС. Нижче, як приклад, наведено значення, які були зафіксовані для безхмарного дня 1 травня 2023 року.

На рис. 4 зображено графіки видачі активної потужності мережевими інверторами СЕС.



жовтий - СЕС-1, синій - СЕС-2, сірий - СЕС-3

Рис. 4. Графік видачі потужності сонячними батареями на 01.05.2023 р.

Протягом вказаного дня сонячні батареї виробили та видали в мережу по кожній зі станцій відповідно СЕС-1 – 173,06 кВт·год електроенергії, СЕС-2 – 151,28 кВт·год та СЕС-3 – 158,84 кВт·год. Пікова потужність СЕС-1 – 21,59 кВт о 13:00,

СЕС-2 – 20,06 кВт о 10:45, та СЕС-3 – 20,84 кВт о 12:15. Зміщення максимумів графіків видачі потужності СЕС-1 та СЕС-2 складає дві години 15 хв.

Порівнявши отримані дані бачимо, що вироблена за день електроенергія та пікова потужність СЕС, що мають різну азимутальну орієнтацію відрізняються в межах до 15 %. Причому максимальну пікову потужність та найбільшу кількість електроенергії за день виробила СЕС-1 з азимутальним кутом $+25^{\circ}$.

Звичайно не всі дні в рокові ідеально сонячні. Авторами аналізувались дані за тривалий період роботи СЕС. Розподіл видачі активної потужності протягом дня для СЕС з різним азимутальним кутом орієнтації їх сонячних батарей залежить від погодних умов. На нього впливають такі чинники, як хмарність, температура, опади, запиленість повітря.

Та все ж, якщо розглядати названі погодні чинники як випадкові події, що підпорядковуються нормальному закону розподілу, можна припустити, що вироблена за день електроенергія та пікова потужність для сонячних батарей орієнтованих за різними азимутальними напрямками буде відрізнятися у тих же межах, що і для безхмарної сонячної погоди.

Висновки і перспективи. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що у випадку, коли вироблена енергія використовується виключно для власного споживання для підвищення ефективності використання сонячних батарей доречно орієнтувати фотоелектричні модулі окремих станцій, або фотоелектричні модулі окремих стрінгів однієї станції за різними азимутальними напрямками. Це дозволить забезпечити кращу відповідність графіків генерації та навантаження, а також збільшити тривалість ефективної генерації протягом дня.

Список використаних джерел

1. Кн. 5: Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок та ін. Київ, 2013. 390 с.
2. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Альтернативна енергетика. Енергія Сонця. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (дата звернення: 17.06.2016).
3. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.irena.org/>.

References

1. Buriachok, T.O. (2013) Kn. 5: Elektroenerhetyka ta okhorona navkolyshnoho seredovyscha. Funktsionuvannia enerhetyky v suchasnomu sviti [Electricity and environmental protection. Functioning of energy in the modern world]. Kyiv, 390.
2. Derzhavne ahentstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy. Alternatyvna enerhetyka. Enerhiia Sontsia. [The State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (SAEE)]. Available at: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>.
3. Mizhnarodne ahentstvo z vidnovliuvanykh dzherel enerhii (IRENA). [The International Renewable Energy Agency (IRENA)]. Available at: <https://www.irena.org/>.

INCREASING OF THE EFFICIENCY OF SOLAR BATTERIES USE

T. Romanets, V. Neymak

Abstract. *Ways of increasing the efficiency of using solar batteries are being considered. The current state and development trends of renewable energy in Ukraine and the world are analyzed. The share of renewable energy in the energy system has been constantly growing recently. For electricity generation, as well as for heating or desalination, solar energy is becoming increasingly popular around the world. It is one of the fastest growing renewable energy technologies and is playing an increasingly important role in the global energy transformation. Improvements in the technology of obtaining electrical energy from solar radiation lead to the fact that solar energy will eventually become the most available among other alternative sources. In Ukraine, the share of solar generation is the largest among renewable sources and makes up more than half of the installed capacity of all renewable energy. The generation of electrical energy by solar cells varies during the daylight hours. The power output graph is similar to a sine wave. The efficiency of using radiant energy by solar cells depends on their orientation in space. If the generated energy is used exclusively for own consumption, then the effective power and duration of generation do not always coincide with the load schedule. To increase the efficiency of using solar batteries, it is suggested to orient the photovoltaic modules of individual stations, or the photovoltaic modules of individual strings of one station in different azimuth directions. This will allow for a better match between the output schedules and the load, as well as increase the total duration of effective generation. Such a project was implemented during the construction of rooftop solar power plants (SPP) of Khmelnytskyi National University. It was established that the maximum displacement of the power output graphs of SES with an azimuthal angle of +250 and SES with an azimuthal angle of -600 is two hours and 15 minutes. The electricity produced during the daylight hours and the peak power of SES with different azimuthal orientation differ by up to 15 %. The conducted studies allow us to state that when the energy produced by solar batteries is not supplied to the network, but only provides its own consumption, the proposed technical solutions allow expanding the time limits of effective generation and agreeing power output schedules with load schedules.*

Key words: *generation, energy, renewable energy sources, energy efficiency, solar batteries, solar power plant*