Transportation Research Part B: Methodological, 183, 102947, https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.102947.

2. Cheng, Y., Ren, X., Zheng, D., Li, L. (2023). Nonsmooth funnel transformation function-based discrete-time sliding-mode control with deterministic performance margin for servo systems. *ISA Transactions*, 139, 675-684. https://doi.org/10.1016/j.isa-tra. 2023.03.050.

3. Peixoto, M. L. C., Pessim, P. S. P., Lacerda, M. J., Palhares, R. M. (2020). Stability and stabilization for LPV systems based on Lyapunov functions with non-monotonic terms. *Journal of the Franklin Institute*, 357 (11), 6595-6614, https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2020.04.019.

4. Morris, A. S., Langari, R. (2012). Chapter 20 – Rotational Motion Transducers, Editor(s): A. S. Morris, R. Langari, Measurement and Instrumentation, Butterworth-Heinemann, 529-560, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381960-4.00020-6.

5. Neyezhmakov, P., Zakharov, I. (2021). Determination of the time constant of measuring transducers. *Measurement: Sensors*, 18, 100278, https://doi.org/10. 1016/j.measen.2021.100278.

6. Bolic, M. (2023). Chapter 2 – Transducers, Editor(s): M. Bolic, Pervasive Cardiovascular and Respiratory Monitoring Devices, Academic Press, 37-71. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820947-9.00004-0.

7. Ornatskyi D. P., Kvashuk D. M., Kataieva M. O. Metody vymiriuvannia robochykh kharakterystyk elektroheneratoriv. *Zbìrnik naukovih prac' Odes'koï derž. akad. tehnìčn. regul. ta âkostì*. Odesa, 2021. Vyp. 2(19). S. 37-47.

8. Kvasnikov V. P., Kvashuk D. M., Kataieva M. O. Rozrobka informatsiino-vymiriuvalnoi systemy diahnostyky robochykh kharakterystyk elektrodvyhuniv. *Zbìrnik naukovih prac' Odes'koï derž. akad. tehnìčn. regul. ta âkostì*. Odesa, 2021. Vyp. 1(18). S. 42-52.

9. Kvasnikov V. P., Bratchenko H. D., Kvashuk D. M. Otsiniuvannia nevyznachenosti vymiriuvannia obertalnykh momentiv elektrodvyhuniv na baziv teorii nechitkykh mnozhyn. *Zbìrnik naukovih prac' Odes'koï derž. akad. tehnìčn. regul. ta âkostì*. Odesa, 2023, Vyp. 1(22). S. 23-34.

10. Kataieva M. O., Kvashuk D. M. Metody pidvyshchennia tochnosti vymiriuvannia skanuiuchym zondovym mikroskopom v zalezhnosti vid heometrii zondu. *Zbìrnik naukovih prac' Odes'koï derž. akad. tehnìčn. regul. ta âkostì*. Odesa, 2022. Vyp. 2(21). S. 14-19.

Надійшла до редакції 13.02.2024

УДК 620.9

А. А. Габер, к.т.н., **Л. Т. Зіангірова**, к.т.н., **Ю. В. Берменко, В. С. Габер**

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, м. Одеса

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

(Оглядова стаття)

В статті розглядається стан досліджень і практики використання автономних сонячних електростанцій, переваг та недоліків їх використання у побуті. Розглянуто основні поняття сонячної енергії, автономності та складових сонячних електростанцій. Розглянуто діючі нормативні документи щодо досліджуваного питання.

Ключові слова: *сонячні електростанції, автономні електростанції.*

A. A. Haber, PhD, **L. T. Zianhirova**, PhD, **Y. V. Bermenko, V. S. Haber**

ADVANTAGES OF AUTONOMOUS SOLAR POWER PLANTS FOR DOMESTIC PURPOSES

(Review article)

The article examines the state of research and practice of using autonomous solar power plants, the advantages and disadvantages of their use in everyday life. The main concepts of solar energy, autonomy and components of solar power plants are considered. Current normative documents regarding the researched issue are considered. Solar energy is obtained from solar radiation and can be transformed into electricity or heat. It is freely available, and thanks to advances in technology, we can now use even more of the solar energy that is constantly available to us. Solar energy has the least negative impact on the environment compared to any other energy source. It does not emit greenhouse gases and does not pollute water. Its maintenance also requires very little water, unlike, for example, nuclear power plants, which

require 20 times more water. The production of solar energy does not create any noise, which is a big advantage, since many solar installations, such as residential solar panels, are located in urban areas. Solar power plants are quite innovative equipment. Solar energy is one of the most dynamically developing branches of alternative (renewable) energy. Solar energy is developing at an increasing pace and has already turned into a powerful industry in the world's largest economies. In Ukraine, the growth rate of solar energy accelerated this year. Solar energy for residential buildings is a hot topic today.

***Keywords**: solar power plants, autonomous power plants.*

DOI 10.32684/2412-5288-2024-1-24-45-50

Постановка проблеми

Сонце є джерелом невичерпних запасів енергії, і широке використання цієї енергії є одним з найбільш актуальних завдань для України, яка володіє значними ресурсами сонячної енергії. Інші альтернативні джерела енергії (АДЕ) також важливі.

Кількість автономних міні-сонячних систем в Україні в даний час швидко зростає. Їх можна побачити на балконах, гаражах та фасадах. Тому не дивно, що навіть люди, які не мають особливого ентузіазму до технологій, цікавляться перевагами та недоліками встановлення та експлуатації таких станцій.

Автономні електростанції, також відомі як фотоелектричні системи або міні-сонячні системи або сонячні системи, що підключаються, зазвичай складаються з одного-чотирьох фотоелектричних модулів і тому можуть бути розміщені на невеликій площі. Крім того, більшість з них можна встановити без фахівця і легко взяти з собою при переїзді.

Крім того, кожна автономна міні-сонячна система знижує витрати своїх користувачів на електроенергію, а це означає, що витрати на покупку зазвичай окупаються вже через два-три роки.

Основним постачальником сонячної електричної енергії є сонячні елементи, принцип роботи яких заснований на прямому перетворенні енергії сонячного випромінювання безпосередньо в електричну. Сонячні батареї виробляють енергію за низьких експлуатаційних витрат і не забруднюють навколишнє середовище. Через подорожчання нафтопродуктів прогнозується різке зростання попиту на альтернативні джерела енергії. Слід також враховувати екологічні та соціальні наслідки використання сонячної енергії у віддалених і важкодоступних районах. Широке використання альтернативних джерел енергії дозволить зберегти природні ресурси, покращити екологію навколишнього середовища, зменшити викиди вуглекислого газу, покращити умови життя населення та стимулювати підготовку спеціалістів у галузі альтернативних джерел енергії [1].

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Автономність часто називають ключовим аспектом енергетичних систем. У науковій літературі про енергетичну автономію переважно підходили до неї з технологічної точки зору та концептуалізували її як самодостатність виробництва енергії. Окрім самозабезпечення, автономні споживачі енергії та громади часто прагнуть створити енергетичні системи, які ставляться до різних зацікавлених сторін як до рівних із збалансованим розподілом витрат і вигод.

Метою статті є аналіз та узагальнення інформації щодо переваг та недоліків встановлення та експлуатації автономних сонячних електростанцій побутового призначення.

Виклад основного матеріалу.

Сонячна енергія отримується від сонячного випромінювання і може бути перетворена в електрику або тепло. Вона знаходиться у вільному доступі, і завдяки досягненням в області технологій ми тепер можемо використовувати ще більше сонячної енергії, яка нам постійно доступна.

Сонячна енергія надає найменший негативний вплив на навколишнє середовище в порівнянні з будь-яким іншим джерелом енергії. Вона не видає парникових газів і не забруднює воду. Для його обслуговування також потрібно дуже мало води, на відміну, наприклад, від атомних електростанцій, яким потрібно в 20 разів більше води. Виробництво сонячної енергії не створює ніякого шуму, що є великою перевагою, оскільки в міських районах розташовано безліч сонячних установок, таких як побутові сонячні панелі.

Сонячна енергія - це електрична або теплова енергія, що отримується із сонячного світла. Сонячні панелі містять фотоелектричні (PV) елементи, що складаються з напівпровідникових матеріалів (таких як кремній) для поглинання елементарних частинок Сонця, які називаються фотонами. Поглинаючись панеллю, фотони вивільняють електрони з атомів напівпровідникового матеріалу, і потік цих електронів усередині комірки створює електричний струм, який ми можемо направити до наших ланцюгів.

Сонячні панелі можна розміщувати в будь-якому місці з великою кількістю сонячного світла, наприклад, на відкритих полях або на дахах.

Чим більше світла піддаються панелі, тим більший потенціал для виробництва електроенергії.

Постійний потік сонячної енергії у вигляді фотонів можна збирати, трансформувати та використовувати для живлення нашого світу. Нижче (табл. 1) наведено плюси та мінуси цього процесу, а також те, що доступність та вартість сонячної енергії означають для споживачів.

Таблиця 1 – Плюси та мінуси сонячної енергії

Переваги сонячної енергії	**Недоліки сонячної енергії**
Зменшує використання невідновлюваних ресурсів	Високі початкові витрати
Зменшує рахунок за електроенергію	Залежить від сонячного світла
Енергетична незалежність	Обмеження простору
Довгострокові заощадження	Вплив виробництва на навколишнє середовище
Низькі витрати	Труднощі з переїздом
Приносить користь громаді	Дефіцит матеріалів
Різноманітне використання	Варіанти утилізації/переробки можуть бути обмежені
Ціни на електроенергію зростають	
Техніка вдосконалюється. Ціни знижуються	

Сонячні електростанції – це досить інноваційне обладнання. Сонячна енергетика – одна з галузей альтернативної (відновлюваної) енергії, що розвиваються найбільш динамічно. Сонячна енергетика розвивається наростаючими темпами та вже перетворилася на потужну галузь в найбільших економіках світу. В Україні темпи зростання сонячної енергетики в цьому році прискорилися [2, 3]. Сонячна енергія для житлових будинків є актуальною темою сьогодення.

Це екологічно чисте джерело енергії робить електричну мережу надійнішою, допомагаючи домовласникам, які використовують сонячну енергію, економити гроші та підвищувати вартість своїх будинків. На даний момент можна виділити основі переваги сонячної енергії в житлових будинках:

1. Можливість заощадити гроші, перейшовши на сонячну енергію. Сонячна енергія пропонує великий потенціал для економії грошей на щомісячних рахунках за комунальні послуги, а оскільки рахунки за комунальні послуги мають тенденцію до зростання, сонячна енергія, ймовірно, буде хорошим варіантом економії грошей на довгі роки. Сума, яку можна заощадити, залежить від того, скільки електроенергії споживається, розміру сонячної енергетичної системи та того, скільки енергії вона здатна генерувати.

2. Можливість використання електроенергії при відключеннях.

В зв'язку з вже набутим досвідом відключень електроенергії в Україні, генерація власної сонячної енергії може дати можливість залишити світло увімкненим у разі перебоїв у подачі електроенергії. Побутові сонячні енергетичні системи у поєднанні з акумуляторними батареями,

зазвичай так звані системами «сонячна енергія плюс накопичувач», забезпечують електроенергію незалежно від погоди та часу, не покладаючись на резервне живлення з мережі. У міру вдосконалення акумуляторних технологій для зберігання енергії рішення інвестувати в акумуляторні сховища має сенс для більшої кількості домогосподарств по всій країні.

3. Сонячні системи працюють у різних кліматичних умовах.

Сонячним панелям для вироблення електроенергії потрібне лише одне - сонячне світло. Навіть узимку, коли світловий день менший, його все одно достатньо, щоб забезпечити електроенергією середній будинок. Це робить сонячну енергію життєздатною навіть з довшими та холоднішими зимами.

4. Зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Сонячна енергія є чистим та відновлюваним джерелом енергії, що не викидає шкідливих газів або забруднюючих речовин у атмосферу. Використання сонячної енергії допомагає зменшити використання традиційних джерел енергії, таких як вугілля або нафта, що сприяє зменшенню викидів парникових газів та зменшенню ефекту парникового газу [4].

5. Підвищення енергетичної ефективності:

- Використання сонячних електростанцій спонукає до енергоефективних практик. Зважаючи на те, що сонячна енергія є обмеженою, ми стаємо більш обережними у використанні енергії та раціональному споживанні.

- Застосування сонячної енергії сприяє розвитку технологій енергоефективного обладнання, яке допомагає знизити загальне споживання енергії у побуті [4].

Сонячна електростанція дозволяє нам виробляти електрику безпосередньо на даху нашого дому. Це означає, що ми можемо задовольнити

свої потреби в електроенергії, використовуючи власні ресурси. Будь-який надлишок виробленої енергії можна перенаправити до мережі і продавати по спеціальній тарифній ставці, заробляючи додаткові кошти.

Планування домашньої системи відновлюваної енергії – це процес, який включає аналіз існуючого використання електроенергії, вивчення місцевих норм і вимог, прийняття рішення про те, чи хочете ви використовувати свою систему в електричній мережі або поза нею, а також розуміння наявних технологічних можливостей.

Розрахунок потреб в електроенергії – це перший крок у процесі дослідження систем відновлюваної енергії для будинку. Ретельне вивчення потреб в електроенергії допоможе визначити розмір (і, отже, вартість) системи, яка знадобиться; як енергетичні потреби коливаються протягом дня та протягом року; заходи, які можливо зробити, щоб скоротити споживання електроенергії.

Проведення аналізу навантаження включає запис потужності та середнього щоденного використання всіх електричних пристроїв, підключених до центрального джерела живлення, таких як холодильники, ліхтарі, телевізори та електроінструменти. Деякі навантаження, наприклад холодильник, споживають електрику постійно, тоді як інші, наприклад електроінструменти використовують електрику з перервами.

Автономна сонячна електростанція є ефективним та екологічним рішенням для забезпечення електроенергією віддалених місць без підключення до централізованої мережі. Основою будь-якої такої системи є PV панелі, які збирають сонячну енергію та перетворюють її на електричний струм [5].

Існує декілька видів автономних сонячних електростанцій:

- Сонячні панелі, які прямо живлять споживачів в момент отримання електроенергії з сонячного світла;
- Сонячні панелі з акумуляторами, які зберігають енергію для подальшого використання;
- Сонячні панелі з акумуляторами та резервним генератором, який включається при недостачі сонячної енергії або розрядженні акумуляторів [6].

Сонячна електростанція - це система, що дозволяє генерувати електрику з енергії сонячних променів. Вона складається з PV панелей, які збирають сонячне випромінювання та перетворюють його на електричну енергію. Ця енергія подається або напряму до споживачів або до контролера заряду, який направляє її в батареї. Батареї, у свою чергу, зберігають електрику для подальшого використання [5].

Коли сонце сяє яскраво, сонячні панелі генерують більше енергії, ніж потребує сім'я. Надлишкова енергія направляється до батарей для зберігання на майбутнє використання. В той же час, коли сонце ховається за хмарами або зникає за горизонтом, PV панелі перестають генерувати електрику. В цей час, використання електроенергії забезпечується з батарей або з додаткового генератора [7].

Будь-яка сонячна електростанція має стандартний набір технічних елементів [8]:

- сонячні батареї, які використовуються для перетворення сонячної енергії в електричний струм. Сонячні батареї складаються з фотоелектричних комірок і при зміні їх кількості можна збільшити напругу та потужність батареї. Вони в свою чергу з'єднуються з контролером точки максимальної потужності;
- акумуляторні батареї необхідні для накопичення електричної енергії, щоб компенсувати роботу сонячних батарей в темний час доби або похмуру погоду, тобто віддавати накопичену від сонячних батарей енергію;
- інвертор служить для перетворення постійного струму на змінний із заданою частотою та напругою;
- різні з'єднувальні елементи, контролери заряду-розряду батарей, провідники, кріплення і ін.

ДСТУ EN IEC 61730-1:2018 [9] визначає та описує основні вимоги до конструкцій фотоелектричних (PV) модулів, щоб забезпечити безпечну електричну та механічну роботу. Конкретні теми призначені для оцінки попередження ураження електричним струмом, небезпеки возгорання і травм із-за механічних впливів і впливу навколишнього середовища. Ця частина IEC 61730 відноситься до особливих вимог будівництва. IEC 61730-2 [10] визначає вимоги до випробувань. Ця серія міжнародних стандартів встановлює вимоги IEC до наземних фотоелектричних модулів, придатних для тривалої експлуатації в умовах відкритого клімату. Нинішній стандарт призначений для застосування в усіх матеріалах наземних плоских модулів, таких як модулі з кристалічного кремнію, а також тонкопленочні модулі. Це нове видання містить наступні істотні технічні зміни порівняно з попереднім виданням:

- адаптація горизонтальних стандартів і включення IEC 60664 і IEC 61140;
- здійснення узгодження ізоляції, категорії перенапруження, класів, ступені забруднення та групи матеріалів, визначення шляхів утечки, повітряного зазору та перебування через ізоляцію.

Фотоелектричні системи з вищою напругою споживають менше струму, що дозволяє зменшити діаметр провідників у всій системі та дода-

тково зменшити втрати в електричній системі. Однак вищі напруги постійного струму також становлять нові виклики для конструкцій компонентів фотоелектричної системи та матеріалів, які необхідно розглянути у відповідних стандартах. Таким чином, ці стандарти повинні залишатися технологічно актуальними, щоб відповідати основним вимогам безпеки для продуктів і систем, що розвиваються.

Однією з особливостей автономних сонячних електростанцій є наявність резервної системи електропостачання для забезпечення безперебійної роботи станції протягом тривалого часу. Системи резервного живлення призначені для ситуацій, коли сонячної енергії недостатньо, наприклад, через хмари або дощ.

Такі системи забезпечують безперервну роботу станції в будь-якій ситуації і дозволяють уникнути перебоїв в електропостачанні. В основі цих систем лежать акумулятори, які можуть накопичувати енергію, що може бути використана станцією в той час, коли сонце не світить.

Системи резервного живлення використовують акумулятори, інвертори та контролери. Акумулятори заряджаються від мережі за допомогою зарядного пристрою. Контролер відстежує стан мережі і вмикає інвертор, коли виявляє, що мережа відключилася. Інвертор перетворює постійний струм від батарей на змінний, який живить прилади в квартирі.

Контролер також контролює рівень заряду батареї та вмикає зарядний пристрій, якщо це необхідно. Коли в мережі з'являється живлення, контролер вимикає інвертор і перемикає живлення на мережу.

Важливо зазначити, що система резервного живлення зазвичай не може задовольнити всі потреби квартири в електроенергії, але може живити основне обладнання, таке як освітлення, холодильники, комп'ютери та роутери.

Висновки

Невелика сонячна електрична або фотоелектрична система може бути надійним та екологічно чистим джерелом електроенергії для будинку чи офісу. Невеликі фотоелектричні системи також забезпечують економічне електропостачання в місцях, де подача електроенергії звичайними лініями електропередач дорога або неможлива.

Автономні сонячні електростанції – зручне та ефективне джерело енергії, яке дозволяє людству раціонально використовувати ресурси Землі, заощаджувати кошти та захищати навколишнє середовище. Наявність резервної системи електропостачання забезпечує незалежність станції від зовнішніх факторів і гарантує безперебійну роботу. Автономні сонячні електростанції - це інноваційний та перспективний інструмент, який ще довго буде використовуватися в енергетиці.

Список використаних джерел

1. Болдирев А. А., Комар В. О. Доцільність використання сонячних панелей переваги та недоліки [Електронний ресурс]. *Матеріали XLIX науково-технічної конференції факультету електроенергетики та електромеханіки ВНТУ*, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. 2020. URL: http://surl.li/nentj.

2. Javoxir Toshov, Elyor Saitov. Portable autonomous solar power plant for individual use // E3S Web of Conferences 139, 010 (2019) https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/65/e3sconf_rses2019_01087.pdf.

3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071.

4. Використання сонячних електростанцій в побуті: переваги, вибір та ефективне використання. URL: https://donbass-today.com/personal-money/vikoristannia-soniachnih-elektrostancii-v-pobyti-perevagi-vibir-ta-efektivne-vikoristannia/(дата звернення 14.01.2024).

5. Берменко Ю. В., Овчінніков О. І. Переваги використання сонячних електростанцій в побуті. *78-а науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів ДУІТЗ*, 21-22 листопада 2023 р.

6. Автономна сонячна електростанція: основні види, компоненти та способи підвищення автономності. URL: https://koenner-soehnen.com/ua/articles-list/standalone-solar-power-system#ssps-1 (дата звернення 14.01.2024).

7. UL 1703: Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels.

8. Синєглазов В.М. Перспективи розвитку гібридних енергетичних систем. URL: https://enerhodzherela.com.ua/analityka

9. ДСТУ EN IEC 61730-1:2018 Визначення безпеки фотоелектричних модулів. Частина 1. Вимоги до конструкції (EN IEC 61730-1:2018, IDT; IEC 61730-1:2016, IDT)

10. ДСТУ EN IEC 61730-2:2018 Визначення безпеки фотоелектричних модулів. Частина 2. Вимоги до випробувань (EN IEC 61730-2:2018, IDT; IEC 61730-2:2016, IDT).

References

1. A.A. Boldy`rev, V.O. Komar Docil`nist` vy`kory`stannya sonyachny`x panelej panelej perevagy` ta nedoliky`. VNTU Elektronny`j resurs:

http://surl.li/nentj.

2. Javoxir Toshov, Elyor Saitov. Portable autonomous solar power plant for individual use // E3S Web of Conferences 139, 010 (2019). Elektronnyy resurs: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/65/e3sconf_rses2019_01087.pdf

3. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na peri-od do 2030 r. Kabinet Ministriv Ukrayiny vid 24.07.2013 № 1071.

4. Vy`kory`stannya sonyachny`x elektrostancij v pobuti: perevagy`, vy`bir ta efekty`vne vy`kory`stannya.

URL: https://donbass-today.com/personal-money/vikoristannia-soniachnih-elektrostancii-v-pobyti-perevagi-vibir-ta-efektivne-vikoristannia/ (access date 14.01.2024)

5. Bermenko Y.V., Ovchinnikov O.I. Pere-vahy vykorystannya sonyachnykh elektrostantsiy v pobuti. 78-a naukovo-tekhnichna konferentsiya pro-fesors′ko-vykladats′koho skladu, naukovtsiv, aspi-rantiv ta studentiv DUITZ, 21-22 lystopada 2023 r.

6. Avtonomna sonyachna elektrostanciya: osnovni vy`dy`, komponenty` ta sposoby` pidvy`shhennya avtonomnosti. URL: https://koenner-soehnen.com/ua/articles-list/standalone-solar-power-system#ssps-1 (access date 14.01. 2024).

7. UL 1703: Standard for Flat-Plate Photovo-ltaic Modules and Panels.

8. Sy`nyeglazov V.M. Perspekty`vy` rozvy`tku gibry`dny`x energety`chny`x sy`stem. URL: https://enerhodzherela.com.ua/analityka.

9. DSTU EN IEC 61730-1:2018 Vyznachennya bezpeky fotoelektrychnykh moduliv. Chastyna 1. Vymohy do konstruktsiyi (EN IEC 61730-1:2018, IDT; IEC 61730-1:2016, IDT)

10. DSTU EN IEC 61730-2:2018 Vyznachen-nya bezpeky fotoelektrychnykh moduliv. Chastyna 2. Vymohy do vyprobuvan′ (EN IEC 61730-2:2018, IDT; IEC 61730-2:2016, IDT).

Надійшла до редакції 23.01.2024