

УДК 621.383.51

А.А. Хотян, магістр, ORCID 0000-0003-1676-0752

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-0440-4251

О.В. Чермалих, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0001-8609-7525

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

Дана стаття присвячена ефективності розвитку сонячної енергетики як альтернативного джерела енергії. У роботі розглянуто питання визначення чинників впливу на підвищення енергоефективності використання фотоелектричних модулів під час їхньої експлуатації. Наведено комплекс вимог до сучасних фотоелементів і панелей з них, сонячних енергетичних установок та сонячних електростанцій в цілому. Структуровано перелік основних факторів, що впливають на ефективність роботи сонячних панелей. До основних чинників впливу віднесені: конструкція та експлуатація, рівень інсоляції, рівень освітлення, втрати. Використано і поєднано сучасні методи аналізу для отримання адекватних результатів, які застосовуються в економіці. В літературному аналізі факторів впливу на роботу фотоелемента визначено 16 факторів, з яких до основних увійшли: кут падіння сонячних променів на модуль, якість фотоелектричного елемента, рівномірність освітлення, приріст температури фотоелемента, відбиття світлового променя від поверхні перетворювача, забруднення модуля, забруднення атмосфери. Для аналізу використано діаграму Ісікави та принцип Парето. Наведено стратегічні напрямки необхідні для розвитку і поширення енергетичних інновацій в Україні у довгостроковій перспективі.

Ключові слова: сонячна енергія, енергетика, сонячні батареї, діаграма Ісікави, діаграма Парето, фактори, ефективність використання.

Вступ

Сонячна енергетика є одним з перспективних напрямків відновлювальної енергетики, заснованих на безпосередньому використанні сонячного випромінювання з метою отримання енергії для опалення, електропостачання та гарячого водопостачання.

Сонце - невичерпне, екологічно безпечне і дешеве джерело енергії. Як заявляють експерти[1], кількість сонячної енергії, яка надходить на поверхню Землі протягом тижня, перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, вугілля та урану. Причому, сонячна енергетика є «чистою» і тому не спричиняє негативного впливу на екологію планети.

Сонце забезпечує нас в 10 000 разів більшою кількістю безкоштовної енергії, ніж фактично використовується у всьому світі. Тільки на світовому комерційному ринку купується і продається трохи менше 85 трильйонів кВт • год енергії на рік [1]. Оскільки неможливо простежити за всім процесом в цілому, не можна з упевненістю сказати, скільки некомерційної енергії споживають люди (наприклад, скільки деревини і добрива збирається і спалюється, яка кількість води використовується для виробництва механічної або електричної енергії). Вважається, що така некомерційна енергія становить одну п'яту частину усієї використовуваної енергії. Але навіть якщо це так, то загальна енергія, споживана людством протягом року, становить лише приблизно одну семитисячну частину сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі за той самий період.

У розвинених країнах, наприклад, в США, споживання енергії становить приблизно 25 трильйонів кВт • год на рік, що відповідає більш ніж 260 кВт • год на людину за день [1].

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Сучасні сонячні фотоелементи і панелі з них, сонячні енергетичні установки, сонячні електростанції повинні задовольняти комплексу вимог. Ось основні з них[2,5]:

- висока надійність при терміні експлуатації до 30 років;
- доступність сировини і можливість організації масового виробництва;
- прийнятні терміни окупності інвестицій на створення сонячних електростанцій;
- мінімальні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування геліоенергетичних потужностей;
- висока ефективність роботи.

Мета статті. Підвищення рівня енергоефективності використання фотоелектричних сонячних модулів, шляхом запропонування перспективних напрямків розвитку сонячної енергетики.

Постановка завдання. Необхідно визначити фактори, що впливають на ефективність використання сонячних панелей, виявити головні чинники, які спричиняють найзначніший внесок до вирішення проблеми.

Матеріал і результати досліджень. На ефективність фотоелементів і сонячних панелей з них впливають цілий ряд факторів. У числі основних факторів, які мають переваги і недоліки:

- одна з головних переваг енергії Сонця - це відсутність плати за неї. Сонячні панелі виробляються з використанням кремнію, запасів якого необмежені;
- процес перетворення енергії відбувається без шуму, шкідливих викидів і відходів, впливу на навколишнє середовище.
- безпека і надійність: устаткування служить до 30 років, після 20–25 років використання фотоелементів відбувається зниження генерації електричної енергії на 20 відсотків;
- сонячні панелі повністю переробляються і можуть бути знову використані у виробництві;
- простота обслуговування: устаткування досить просто встановлюється і працює в автономному режимі;
- адаптовані для використання в приватних будинках;
- добре інтегруються в якості допоміжних систем енергопостачання.
- ефективність залежить від часу доби і погоди. Нерентабельно використовувати в високих широтах;
- потрібно акумулювати перетворену енергію;
- первинні капіталовкладення високі. Особливо це відчутно для звичайних споживачів при купівлі обладнання для приватного будинку;
- періодично потрібно очищати панелей від забруднення;
- для розміщення панелей потрібна велика площа.

Класифікація факторів, за якими доцільно проводити оцінку ефективності використання сонячних батарей, можна встановити за результатами побудови діаграми Ісікави (рис. 1) [3].

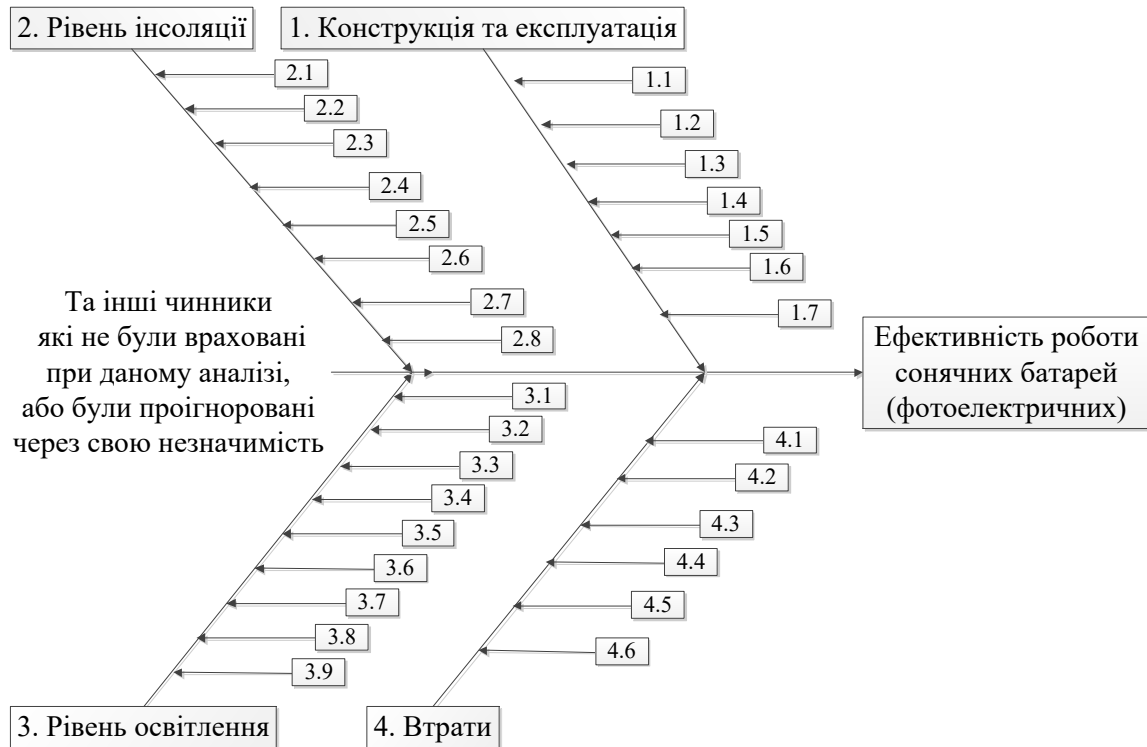


Рисунок 1– Діаграма Ісікави ефективності роботи сонячних батарей

Пояснення до схеми:

1. Конструкція та експлуатація:

1.1 - Форма фотоелемента; 1.2 - ККД модуля; 1.3 - Якість фотоелектричного елемента; 1.4 - Температура фотоелемента; 1.5 - Термін експлуатації 30-50 років; 1.6 - Кваліфікація обслуговуючого персоналу; 1.7 - Зниження показників ефективності з плином часу;

2. Рівень інсоляції:

2.1 - Географічне розташування; 2.2 - Клімат; 2.3 - Пору року; 2.4 -Висота над рівнем моря; 2.5 -Зміна дня і ночі; 2.6 - Кількість сонячних днів у році; 2.7 - Погодні умови; 2.8 - Хмарність;

3. Рівень освітлення:

3.1 - Рівномірність освітлення; 3.2 - Кут нахилу СБ; 3.3 - Спосіб кріплення СБ; 3.4 - Просторова орієнтація СБ; 3.5 - Відбивна здатність СБ; 3.6 -Час використання при Мах, міні освітленості; 3.7 - Запиленість повітря; 3.8 - Затінення від будівель, дерев та ін.; 3.9 - Забруднення;

4. Втрати:

4.1 - Проходження частини випромінювання через ФЕП без поглинання; 4.2 - Відбивання оптичного випромінювання від поверхні перетворювача; 4.3 - Втрати у провідниках; 4.4 - Втрати на нагрів панелі; 4.5 - Розсіювання на теплових коливаннях напівпровідникової ґратки надлишкової енергії фотонів (ріст температури); 4.6 - Не повне освітлення активної площі, що передбачає роботу на додатково створене власне навантаження та відповідно появу додаткового внутрішнього опору ;

Діаграма дає можливість виявити ключові взаємозв'язки між різними факторами та достеменно зрозуміти досліджуваний процес. Діаграма сприяє визначенню головних чинників, які спричиняють найзначніший внесок до проблеми, що розглядається, та дає наглядну картину для попередження або усунення їх дії.

За результатами аналізу та експертної оцінки факторів, якими оцінюється робота та ефективність фотоелемента, встановлюємо перелік основних параметрів, на які ми маємо змогу впливати, та ті, на які ми практично не спроможні вплинути.

Впорядкуємо перелік факторів на які має змогу впливати безпосередньо людина у їхній пріоритетності (табл.1).

Таблиця 1 – Перелік факторів впливу на роботу фотоелемента.

Причина	Оцінка в балах (40 max)
Кут падіння сонячних променів на модуль[5,6]	40
Якість фотоелектричного елемента [8]	38
Рівномірність освітлення [5,6]	35
Приріст температури фотоелемента [5,6]	33
Відбиття світлового проміння від поверхні перетворювача [5,6]	29
Забруднення модуля [5,8]	28
Забруднення атмосфери (смог, дим від пожежі) [5]	25
Затінення жорстке [10]	23
Затінення м'яке [10]	22
Втрати у провідниках [10]	18
Втрати на нагрівання провідників[10]	17
Географічне розташування встановлення СБ[10]	16
Проходження частини випромінювання через ФЕП без поглинання [10]	15
Відбивання оптичного випромінювання від поверхні перетворювача[10]	14
Розсіювання на теплових коливаннях напівпровідникової ґратки надлишкової енергії фотонів (ріст температури) [10]	13
Не повне освітлення активної площі, що передбачає роботу на додатково створене власне навантаження та відповідно появу додаткового внутрішнього опору перетворювача[10]	12

Отже, до категорії "найвагоміших" потрапили наступні фактори, представлені у табл. 2.

Таблиця 2 – Найвпливовіші фактори на роботу фотоелемента.

Причина	Оцінка в балах (40 max)
Кут падіння сонячних променів на модуль [5,6]	40
Якість фотоелектричного елемента [8]	38
Рівномірність освітлення [5,6]	35
Приріст температури фотоелемента [5,6]	33
Відбиття світлового проміння від поверхні перетворювача	29
Забруднення модуля	28
Забруднення атмосфери (смог, дим від пожежі)	25

Для виявлення і відокремлення найвпливовіших факторів застосуємо діаграму Парето [4]. Вона являє собою відображення закону Парето (принцип 80/20), кумулятивної залежності розподілу певних ресурсів або результатів від великої сукупності (вибірки) причин.

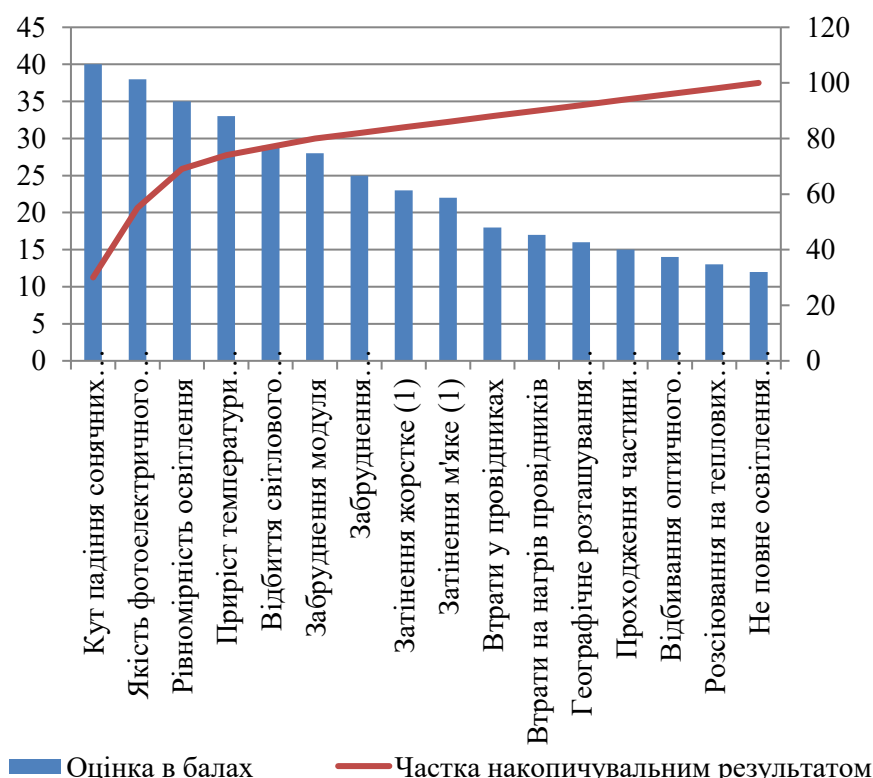


Рисунок 2 – Діаграма Парето (Принцип 80/20)

За допомогою діаграми (рис. 2) ми можемо розглянути, які чинники мають найбільший вплив на енергоефективність використання сонячного модуля.

Її основні особливості:

Кожен вертикальний стовпчик гістограми являє собою вагомий чинник, який оцінений від 0 до 40 та відкладається по лівій осі.

Графік у вигляді лінії являє собою частку з накопичувальним результатом.

На умовній межі в 80% зазвичай зображають граничну горизонтальну лінію для наочності. Всі чинники ліворуч точки перетину цієї лінії з графіком накопичувального результату приносять 80% користі для покращення енергоефективності використання сонячних фотовольтаїчних установок; усі чинники правіше - решту 20%.

"Закон Парето" має величезну важливість з тієї причини, що він суперечить тому, що ми звикли вважати логічним.

Таким чином, принцип 80/20 стверджує, що диспропорція є невід'ємною властивістю співвідношення між причинами і результатами, вкладеними і отриманими засобами (коштами), зусиллями і винагородою за них.

Такий підхід до поставленої проблеми, а саме, поєднання двох вищенаведених інструментів[3,4], показує, що для підвищення енергоефективності використання сонячної енергії, за допомогою сонячного фотоелектричного модуля, рентабельно звернути увагу на такі напрямки розвитку:

- 1) Поворотні системи з системою автоматичного стеження за положенням Сонця.
- 2) Подальшу диверсифікацію щодо збільшення ККД, тобто зменшення незворотних втрат сонячної енергії в процесі взаємозв'язку сонячного світла і речовини, з якого виготовлені фотоелементи.

Також варто додати, що для підвищення ефективності роботи сонячних модулів потрібно звернути увагу на застосування спеціального контролера управління фотоелектричними системами для узгодження внутрішніх опорів, навантажень, що забезпечить оптимальний режим роботи сонячних панелей. Крім того необхідно регулярно вживати заходи з очищення поверхні сонячних батарей від пилу і бруду. Іноді поверхню сонячних панелей покривають спеціальним складом, що зменшує ступінь забруднення поверхні сонячної батареї.

Висновки

1. Виконано аналіз досліджень факторів, що впливають на ефективність використання сонячних панелей, та встановлено вимоги до них. Їхня структуризація дала змогу виявити ключові взаємозв'язки, а в

подальшому визначити головні чинники, які спричиняють найзначніший внесок до проблеми, що розглядається, шляхом побудови діаграми Ісікави.

2. Проведений аналіз дає змогу виявити найважливіші шляхи розвитку сонячної енергетики і в свою чергу також вказує важливі аспекти у подальшому її освоєнні. Під час виконання даного аналізу було використано два з семи основних інструментів вимірювання, оцінювання, контролю та покращення якості виробничих процесів, що входять до «родини інструментів контролю якості», а саме такі, як діаграма Парето та діаграма Ісікави.

В якості основного аналітичного інструменту було застосовано діаграму Ісікави, яка використовується для перегляду можливих факторів та виокремлення найважливіших причин, дія яких піддається керуванню. А також застосовано діаграму Парето, яка являє собою емпіричне правило, яке стверджує, що для багатьох явищ 80 відсотків наслідків спричинені 20 відсотками причин, оскільки ця ідея знайшла застосування у багатьох галузях.

Список використаної літератури

1. Грешкина Е.В. Методические рекомендации к самостоятельной работе студентов по дисциплине «Альтернативные источники энергии»; URL: <http://science-start.ru/ru/article/view?id=631> (дата звернення: 20.09.2018)
2. Муравьёва В. Исследование применения солнечных электростанций как альтернативного источника электроэнергии в г. Комсомольск-на-Амуре // Старт в науке. – 2017. – № 3. – С. 48-51; URL: <http://science-start.ru/ru/article/view?id=631> (дата звернення: 23.09.2018)
3. Діаграма Ісікави : [Електронний ресурс] // Вікіпедія – вільна енциклопедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Діаграма_Ісікави
4. Діаграма Парето : [Електронний ресурс] // Вікіпедія – вільна енциклопедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Діаграма_Парето
5. Солнечная энергия : [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html#PHOTOVOLTAICS>
6. Кенжаев З. Т. Преимущество и недостатки фотопреобразователей // Молодой ученый. — 2017. — №36. — С. 3-5. — URL <https://moluch.ru/archive/170/45596/> (дата обращения: 24.10.2018)
7. Кожем'яко В. П. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В. П. Кожем'яко, В. Г. Домбровський, В. Ф. Жердецький, В. І. Маліновський, Г. В. Питуляк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2011. - № 2. - С. 142-157. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeiet_2011_2_20
8. Основні параметри сонячних панелей : [Електронний ресурс] // Кворум. – Режим доступу:<https://kwozum.com.ua/osnovni-parametri-sonjachnih-panalej>
9. Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел.//Бюл. "Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії", Київ: АТ "Укренергозбереження", 1999.- №2, - С.30-38
10. Типы Солнечных Батарей: Монокристаллические, Поликристаллические и Тонкопленочные: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sunalt.ru/stati/poleznoe/kak-ten-vliyaet-na-rabotu-solnechnoj-paneli.html>

A. Khotian, Master, ORCID 0000-0003-1676-0752,

V. Rozen, Dr. Sc. Science, prof., ORCID 0000-0002-0440-4251,

O. Chermalykh, PhD. Sc. Science, Assoc. prof., ORCID 0000-0001-8609-7525,

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF PHOTOELECTRIC MODULES

This article is devoted to the efficiency of the development of solar energy as an alternative source of energy. The paper considers the issues of determining the factors influencing the energy efficiency of the use of photovoltaic modules during their exploitation. The set of requirements for modern photocells and panels from them, solar power plants and solar power stations in general is presented. A list of the main factors influencing the efficiency of solar panels is structured. The main factors of influence include: design and exploitation, level of insolation, level of illumination, losses. Modern methods of analysis are used and combined to obtain adequate results that are used in the economy. In the literary analysis of the factors of influence on the work of the photocell, 16 factors were identified, of which the main ones included: the angle of incidence of sun rays on the module, the quality of the photoelectric element, the uniformity of illumination, the increase in the temperature of the photocell, the reflection of the light beam from the surface of the converter, the pollution of the module, pollution of the atmosphere. For analysis, Ishikawa diagram and Pareto principle are used. Strategic directions are required for the development and distribution of energy innovations in Ukraine in the long run.

Keywords: solar energy, power engineering, solar panels, Ishikawa diagram, Pareto chart, factors, efficiency of use.

References

1. Greshkina E.V. Methodical recommendations for independent work of students on discipline "Alternative sources of energy"; URL: <http://science-start.ru/ru/article/view?id=631> (Last accessed: 20.09.2018)
2. Muraveva V. Research on the use of solar power plants as an alternative source of electricity in the city of Komsomolsk-on-Amur // Start in science. – 2017. – № 3. – С. 48-51; URL: <http://science-start.ru/ru/article/view?id=631> (Last accessed: 23.09.2018)
3. Ishikawa Diagram: [Electronic resource] // Wikipedia is a free encyclopedia. - Access mode: https://uk.wikipedia.org/wiki/Діаграма_Ісікаві
4. Pareto Diagram: [Electronic resource] // Wikipedia is a free encyclopedia. - Access mode: https://uk.wikipedia.org/wiki/Діаграма_Парето
5. Solar energy: [Electronic resource] - Access mode: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html#PHOTOVOLTAICS>
6. Kenzhaev Z. T. The Advantage and Disadvantages of Photoconverters // Young Scientist. — 2017. — №36. — С. 3-5. — URL <https://moluch.ru/archive/170/45596/> (Last accessed: 24.10.2018)
7. Kozhemyako V.P. Analytical review of modern technologies of photovoltaic converters for solar energy / VP Kozhemyako, VG Dombrovsky, VF Zherdetsky, VI Malinovsky, GV Prytulyak // Optoelectronic information and energy technologies. - 2011. - № 2. - С. 142-157. - Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeiet_2011_2_20
8. Basic Parameters of Solar Panels: [Electronic Resource] // Quorum. - Access mode: <https://kworum.com.ua/osnovni-parametri-sonjachnih-panalej>
9. Derohan D.V., A.R. Shchokin Prospects for the use of energy and fuel in Ukraine from non-traditional and renewable sources // Бül. "Advanced technologies in the field of non-traditional and renewable energy sources", Kyiv: JSC "Ukrenergosaving", 1999. - №2, - С.30-38
10. Types of Solar Batteries: Monocrystalline, Polycrystalline, and Thin Film: [Electronic Resource] - Access Mode: <http://sunalt.ru/stati/poleznoe/kak-ten-vliyaet-na-rabotu-solnechnoj-paneli.html>

Надійшла 20.11.2018

Received 20.11.2018