

УДК 620.9:546.11

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ В СФЕРІ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕНЕРГЕТИКИ

В. А. Хілько

Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ, вул. Гната Хоткевича 20А, 02094, Україна

тел. +380442062809, e-mail: vladimirkhilko@gmail.com

В доповіді надано світовий досвід використання нових технологій та постійного вдосконалення сонячних фотоелектричних елементів. Викладені заходи з впровадження інновацій істотно підвищують показники ефективності роботи сонячних станцій.

Матеріали доповіді можуть використовуватись в якості посібника для інвесторів при створенні ними нових об'єктів в сфері сонячної фотоенергетики.

Ключові слова: сонячна енергетика, приведена вартість електроенергії, ефективність перетворення, технологія виробництва, конструкція модулів.

PRACTICE IMPLEMENTATION OF INNOVATIONS IN THE FIELD OF PHOTOVOLTAIC

V. Khilko

Institute of Renewable Energy at NAS of Ukraine

The report provides a world experience for the use of new technologies and continuous improvement of solar photovoltaic cells. These measures to implement innovations significantly increase the efficiency of solar stations.

The materials of the report can be used as a guide for investors in creating new facilities in the field of solar photovoltaics.

Keywords: solar energy, reduced cost of electricity, conversion efficiency, production technology, module design.

ORCID: [0000-0001-6348-2578](https://orcid.org/0000-0001-6348-2578)

1. Загальна частина

Попит на сонячну фотоелектричну енергію поширюється та збільшується, оскільки вона стає найбільш конкурентоспроможним варіантом для виробництва електроенергії у дедалі більшій кількості місць, як для житлових, так і комерційних застосувань, а також для енергетичних проєктів – навіть без урахування зовнішніх витрат на викопне паливо.

За даними публічної компанії Lazard, приведена вартість електроенергії (LCOE) сонячних електростанцій промислового масштабу вже є значно дешевшою за електроенергію від традиційної генерації.

Станом на кінець 2020 року кумулятивна потужність сонячної фотоенергетики у світі становить приблизно 760 ГВт, за рік було додано близько 140 ГВт потужності фотоелектричних станцій.

Удосконалення технологій та конструкції модулів істотно поліпшують структуру і якість виробництва електричної енергії, сприяють підвищенню показників їхньої ефективності.

2. Заходи з впровадження інновацій в сонячній енергетиці

Конкуренція і тиск на ціни спонукали інвестиції в сонячні фотоелектричні технології по всьому ланцюжку створення вартості, зокрема в сонячні елементи й модулі, для подальшого підвищення ефективності та зниження LCOE. Як і в попередні роки, протягом 2020 року було досягнуто кількох нових рекордних показників ефективності комірок і модулів. Монокристалічна технологія комірок продовжувала завойовувати частку ринку (на 26 процентних пунктів, до 88 % поставок), і на неї припало все розширення потужностей

кристалізації кремнієвих злитків у 2020 році. Оскільки різниця у вартості між технологіями впала, більший пріоритет було надано вищому потенціалу ефективності монокристалічної технології.

2.1. Будівництво інтегрованих фотоелектричних систем

Багато будинків мають поверхні, які здатні робити внесок у сонячну енергію, не применшуючи їх іміджу. Естетична привабливість комплексних фотоелектричних систем інтегрованих у будівлі (BIPV), може значно збільшити використання сонячної енергії. Індивідуальні панелі вже вбудовуються в архітектурні елементи, як-от навіси й тераси. Однак універсальним продуктом є фотоелектричне скло. Кілька проєктів BIPV було завершено протягом 2020 року, зокрема в Індії та Сполучених Штатах; в Європі цим сектором керують здебільшого Франція та Італія, які мають цільові схеми підтримки.

Потенціал сонячних систем на дахах залишається величезним, і багато країн створили великі програми та заходи для дахових ФЕС. Існує також кілька ринків, включаючи основних виробників автомобілів, щодо вбудовування сонячних елементів в електромобілі.

2.2. Плаваючі фотоелектричні сонячні панелі

Озера та водосховища мають одні з найбільших доступних площ поверхні, які потенційно можуть виробляти сонячну енергію. Перше комерційне використання плавучих сонячних панелей було в Японії 2007 року. Сонячні модулі зазвичай використовують систему повітряного охолодження для запобігання їх перегріву.

Було виявлено, що при базуванні на водній поверхні збільшується виробництво електроенергії на 10 %. Це сталося через охолоджувальний ефект води під панелями. Вартість обслуговування панелей плавучої системи дешевша. Крім того, вода допомагає панелям залишатися чистими. До того ж управління водними ресурсами озера або водосховища ненавмисно стає більш рентабельним. Тінь, що відкидається панелями, допомагає значно зменшити надмірне утворення водоростей. Простір плаваючих сонячних панелей різко знижує випаровування води.

2.3. Тонкоплівкові сонячні елементи

Тонкоплівкові варіанти сонячних модулів складаються з тонких шарів кремнію. Кремній напильюється на фольгу або скло в умовах вакууму. Такі модулі можуть відрізнятися матеріалами шарів, які формуються з телуриду кадмію, аморфного кремнію, органічних речовин, а також індію, селеніду або галію.

Сонячна тканина неймовірно тонка й легка порівняно зі стандартною фотогальванічною панеллю. Але, що найголовніше, сонячна тканина гнучка. Її можна легко використовувати на куполоподібних чи круглих конструкціях. Інше використання включає навіси над дверними отворами, намети та віконні штори. Невелика вага робить її ідеальною для покриття великих площ. Сучасні аморфні панелі поступаються моно- й полікристалічним виробам у продуктивності. Сьогодні ефективність сонячних елементів становить приблизно 13 %.

Американська компанія First Solar, яка виробляє сонячні модулі та панелі з телуриду кадмію, заявила у червні, що інвестує 689 млн доларів у будівництво свого третього заводу в США, збільшивши свої внутрішні виробничі потужності на 3,3 ГВт для виробництва вдосконалених тонкоплівкових фотоелектричних модулів для ринку сонячної енергетики в країні. У липні компанія оголосила, що також будує завод потужністю 3,3 ГВт в Індії, повідомивши про рекордний рівень попиту на свою технологію CdTe.

Китайський виробник China National Building Materials, що виробляє тонкоплівкові модулі з диселеніду меді-індію-галію, розширює своє виробництво, додаючи 1 ГВт потужності для модулів CdTe.

Переваги тонкоплівкових сонячних панелей:

- Працюють краще при високій температурі, ніж кристалічні модулі.
- При розсіяному чи слабкому сонячному світлі генерують на 20 % більше енергії.
- Мають менші втрати потужності в умовах похмурої погоди.
- Низька вартість на кожен ват потужності.
- Через простоту процесу виробництва рідше мають дефекти.
- Підходять для настінних сонячних електростанцій будь-якої конфігурації.
- Невелика вага, простий монтаж.

2.4. Створення сонячних елементів більшої потужності

Економіка зіграла певну роль у створенні кристалічних пластин і модулів більшої потужності. Виробники почали збільшувати розміри пластин (що використовуються для виготовлення сонячних елементів) приблизно в 2017 році, щоб оптимізувати витрати, й тому, що це був найпростіший спосіб збільшити потужність модулів. До 2020 року більша частина сектора знову збільшувала розміри, і до кінця року більшість великих виробників модулів готувалися до виробництва модулів на основі більших кристалічних пластин. У результаті на початку 2021 року Trina та декілька інших великих виробників модулів працювали над стандартизацією розмірів зазначених пластин.

Удосконалення технологій комірок та конструкції модулів дало змогу розробити модулі з більш високими номінальними потужностями. Виробники у 2019 році просуvalи модулі потужністю 400 Вт, а декілька з них впровадили протягом 2020 року модулі з номінальною потужністю 500 Вт і вище. Підвищення номінальної потужності збільшує вихід електроенергії, тим самим зменшуючи кількість, необхідну для проекту, зменшуючи потреби в просторі та пов'язані з цим витрати на транспортування, земельні, монтажні та на обслуговування.

2.5. Фотоелектричні шумозахисні бар'єри

Близько 3000 миль шумозахисних екранів встановлено у США вздовж американських автомагістралей. Їхня функція полягає в тому, щоб зменшити шумове забруднення, відводячи звукові хвилі туди, звідки вони прийшли. Шумозахисні екрани також сприяють зменшенню забруднення повітря, обмежуючи поширення шкідливої пари. Але, захищаючи райони від надмірного шуму, ці бар'єри також забезпечують корисну площу для виробництва сонячної енергії.

Інноваційна розробка полягає у використанні двосторонніх сонячних елементів, які збільшують шанси добре себе показати у будь-якому положенні. Нахил та орієнтація панелей менш важливі при використанні двосторонніх сонячних елементів. А з орієнтацією схід–захід вони мають кращий потенціал сонячної енергії у своїй багатофункціональній ролі.

2.6. Створення сонячних елементів з більш високою ефективністю

Зацікавленість у двосторонніх модулях, які вловлюють світло з обох боків і забезпечують потенційний приріст продуктивності, а отже, й нижчий LCOE, дедалі зростає. Приріст потужності коливається від 5 до 30 % залежно від технології елемента, дизайну системи та розташування. Невизначеність щодо продуктивності двосторонніх систем зменшується, оскільки збільшення кількості систем, що працюють, демонструє їхні переваги. Однак зростаючий попит на двосторонні модулі, які зазвичай виготовляються з двома

скляними панелями (на відміну від більшості традиційних модулів), спричинив дефіцит сонячного скла, що сприяло зростанню цін у другій половині 2019 року.

Попит на модулі з більш високим ККД допоміг направити зрушення в сторону PERC технологій, на частку яких припадає більшість поставок комірок у 2020 році. Модуль PERC – це технологія, яка забезпечує відбиття сонячних променів у задній частині сонячного елемента (а не поглинання модулем), сприяючи тим самим підвищенню ефективності, а також покращенню продуктивності в умовах слабкого освітлення. PERC означає «пасивований випромінювач та задній контакт» або «задній елемент». Сонячні модулі, які збудовані з елементів PERC, мають додатковий шар на задньому боці традиційних сонячних елементів.

Попри те, що останнім часом монокристалічний PERC був у центрі уваги більшості виробництв у зв'язку з розширенням потужності, індустрія вже виходить за межі PERC, і деякі великі виробники починають впроваджувати нові технології комірок, які обіцяють ще більш високу ефективність і продуктивність і пропонують потенціал для підвищення прибутковості.

Нещодавно було повідомлено про сонячні модулі n-типу Si з пасивованим заднім контактом під назвою TOPCon (тунельний оксидний пасивований контакт). Пасивовані контактні елементи з TOPCon адаптують складну схему пасивації для покращення архітектури комірок з метою підвищення ефективності. Зазначені комірки TOPCon можуть бути наступним еволюційним кроком клітинних технологій. Зазначена технологія TOPCon пропонує вищу ефективність. Комірки можуть виготовлятися при низьких температурах і з меншою кількістю етапів виробництва, на відміну від інших високоефективних клітинних технологій.

Дослідники також продовжили працювати над тим, щоб обійти теоретичні межі ефективності сонячних елементів на основі кремнію, складаючи елементи різних типів і розробляючи ефективніші технології виготовлення елементів. Дослідження перовскітів у тандемі з кристалічним кремнієм або основою тонких плівок продовжували отримувати значне фінансування з метою наближення до комерціалізації. Перовскітні сонячні елементи включають перовскітні (кристалічні) структуровані сполуки, які прості у виготовленні, можуть виготовлятися при низьких температурах і, як очікується, будуть відносно недорогими у виробництві. Перовскітні сонячні елементи можна друкувати на підкладках з інших матеріалів або виготовляти у вигляді тонких листів.

Компанія Oxford PV (Великобританія) встановила новий рекорд ефективності (29,5 %) сполучених елементів перовскіт – кремній і почала нарощувати їх виробництво на своєму заводі в Німеччині. Компанія Saule Technologies (Польща) почала друкувати перовскітні комірки за допомогою струменевих принтерів, плануючи в 2021 році постачати свою продукцію шведській будівельній компанії Skanska Group для використання на фасадах будівель. Дослідники продовжували зосереджуватися на низці проблем, зокрема проблем довгострокової стабільності та вмісту свинцю в перовскітах, розробки нових конструкцій комірок і стратегій інкапсуляції, а також зниження витрат.

Розробники сонячних елементів і модулів продовжують шукати способи максимізувати ефективність фотоелектричних панелей. Китайські виробники JinkoSolar та LONGi забезпечили ефективність 25 % перетворення сонячної енергії для своїх технологій кристалічного кремнію.

Австралійські вчені розробили двосторонній кремнієвий сонячний елемент із ефективністю 24,3 % спереду та 23,4 % ззаду, що дає кумулятивну ефективність близько 29 %.

У технології гетеропереходу або SmartWire (HJT) на обидві боки кремнієвого сонячного елемента наносяться шари тонкоплівкового кремнію. Шари збільшують перетворення світла і дають змогу довести ефективність кремнієвої комірки до 25 %. Сама технологія не нова, але закінчення терміну дії патентів дозволяє більшій кількості виробників розпочати її розробку з підвищеною ефективністю. Тож очікується, що розгортання зростатиме найближчими роками.

Швейцарська компанія Insolight розробила технологію, в якій використовуються шестикутні лінзи в захисному склі, що покриває сонячні панелі, для концентрації світла та виробництва більшої кількості енергії. Технологія досягла показника ефективності 30 %. Компанія планує продавати свої перші модулі сільськогосподарському сектору, де їх можна буде встановлювати в полях і на дахах, у тому числі в теплицях. Напівпрозорі модулі сприяють проникненню світла до культур під ними й захищають їх від екстремальних погодних умов, уникаючи конкуренції за землекористування між сільським господарством та сонячною енергетикою.

2.7. Використання сільськогосподарських угідь

Максимальне використання сільськогосподарських угідь за рахунок встановлення сонячних панелей над сільськогосподарськими культурами – це невеликий сегмент ринку сонячної енергії, що зростає. Виробництво сонячної енергії може дати змогу фермам стати самоокупними, а затінення від сонячних панелей може підвищити врожайність та знизити споживання води за рахунок зменшення випаровування.

В Європі розпочалося кілька нових проєктів, у тому числі:

- Спільне підприємство між постачальником сонячних послуг Greencells та італійським розробником Renewable Consulting.
- Німецька група відновлюваних джерел енергії BayWa розширює свій проєкт у Нідерландах.
- Enel Green Power проводить випробування пілотних установок у Південній Європі.

За межами Європи також реалізуються проєкти – в Японії, Південній Кореї та США.

3. Висновок

Галузь сонячної енергетики може забезпечити значну кількість недорогої екологічно чистої електроенергії. Завдяки новим технологіям та постійному вдосконаленню конструкції сонячні фотоелектричні елементи стають дедалі досконалішими. Нові технології сонячної енергетики демонструють універсальність цього потужного джерела енергії. Вони також є очевидною ознакою того, що майбутнє екологічно чистої енергетики – за відновлюваними джерелами енергії, зокрема за сонячними станціями.

Перелік скорочень, аббревіатур та термінів

LCOE	Levelised Cost of Energy	— повна усереднена собівартість електроенергії протягом усього життєвого циклу електростанції
PERC	Passivated Emitter and Rear Cell	— пасивований випромінювач задньої поверхні сонячної комірки
TOPCon	Tunnel oxide passivated contact	— тунельний оксидний пасивований контакт з двостороннім фотоелементом n-типу
FPV	Floating photovoltaic power generation units	— плавучі сонячні фотоелектричні станції
HJT	Heterojunction technology	— технологія гетероперехідних комірок
CdTe	Cadmium telluride	— технологія використання телуриду кадмію в тонкому напівпровідниковому шарі

Посилання:

1. REN21. Renewables 2021. Global Status Report. [Online]. Available: <https://www.ren21.net>

2. Levelized Cost Of Energy, Levelized Cost Of Storage, and Levelized Cost Of Hydrogen [Online]. Available: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen>
3. Solar Power Technologies: 5 of the Best Developments from 2021 [Online]. Available: <https://ratedpower.com/blog/solar-power-technology/>
4. 5 New Solar Power Technologies in 2021. [Online]. Available: <https://www.sepco-solarlighting.com/blog/5-new-solar-power-technologies-in-2021>
5. What is PERC solar cell technology? [Online]. Available: <https://us.sunpower.com/solar-resources/what-perc-solar-cell-technology>

УДК 621.311.29

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

М. Лазорко

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", 37, проспект Перемоги, Київ, 03056, Україна. e-mail: mykola.lazorko12@gmail.com

*Оглянуто шляхи розвитку фотоелектричних панелей для вдосконалення їх характеристик та збільшення ефективності роботи. Зараз однією з найважливіших цілей розвитку сектора енергетики у світі є його декарбонізація та диверсифікація джерел енергії. Сонячне випромінювання – одне з найдоступніших джерел енергії в усіх куточках Землі. За даними International Renewable Energy Agency (IRENA), станом на 2020 рік встановлена потужність сонячних фотоелектричних станцій в усьому світі складає приблизно 710 ГВт, і її приріст щороку тільки збільшується. Цьому сприяє зниження усередненої вартості електроенергії (LCOE), яке безпосередньо залежить від ефективності сонячних панелей. У 2021 році середнє значення LCOE для ФЕС становило 36 USD/МВт*год.*

Keywords: відновлювані джерела енергії, фотовольтаїка, ефективність, сонячна енергія.

TECHNICAL DEVELOPMENT OF PHOTOELECTRIC PANELS

M. Lazorko

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

The ways of development of photovoltaic panels for improvement of their characteristics and increase of efficiency of work are considered. Currently, one of the biggest goals of the development of the energy sector in the world is its decarbonization and diversification of energy sources. Solar radiation is one of the most affordable sources of energy in all parts of the world. According to the International Renewable Energy Agency (IRENA), as of 2020, the installed capacity of solar photovoltaic plants worldwide is about 710 GW and its growth is increasing every year. This is facilitated by the reduction in the levelized cost of electricity (LCOE), which directly depends on the efficiency of solar panels. In 2021, the average LCOE value for solar PV was 36 USD / MWh.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaics, efficiency, solar energy.

ORCID: [0000-0002-2926-761X](https://orcid.org/0000-0002-2926-761X).

Ефективність сонячних панелей є одним із ключових факторів, які впливають на вироблення ними електричної енергії. В свою чергу це буде впливати на кількість панелей, яка необхідна для побудови станції певної встановленої потужності. Усі ці фактори будуть впливати на вартість самої станції та вартість відпущеної нею електроенергії.

На даний час розвиток сонячної енергетики дійшов тієї стадії, що дані технології є перевірені часом та широкодоступними. Збільшення ефективності проводиться за рахунок