

Горбачов А. С., Піонткевич О. В.

(ВНТУ, м. Вінниця)

**ОГЛЯД МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

E-mail: toha.gorbi@gmail.com

Постійне зростання обсягів виробництва та потреби в підвищеному рівні споживчих товарів задають сучасні темпи розвитку енергетики. Однак, негативні кліматичні зміни спонукають провідні країни світу зменшувати викиди вуглекислого газу, що унеможлиблює зростання кількості електростанцій на викопному паливі. В результаті росте попит на використання альтернативних (відновлювальних) джерел енергії [1-4]. Гарним рішенням є переробка побутових відходів з видобутком звалищного газу [5-7]. Сонячні електростанції на основі сонячних панелей добре зарекомендували себе як екологічне джерело енергії [8-10]. Проектування сонячних електростанцій є складним процесом, що вимагає аналізу матеріалів, ефективності використання та надійності для фотоелементів, корпусу сонячних панелей, конструкції рами сонячної електростанції.

Актуальність дослідження обумовлена швидким зростанням світового ринку сонячної енергетики серед інших альтернативних джерел енергії [11-13] та потребою в оптимізації вартості систем за збереження високої надійності та енергоефективності. Правильний підбір матеріалів обладнання дозволяє знизити рівень деградації модулів, що забезпечить стійкість опор до корозії, а також гарантуватиме стабільну роботу при температурних коливаннях від -15 до +50 °C.

Існує велике різноманіття матеріалів та технології їх застосування для виготовлення фотоелементів (рис. 1) [14]. Високий ступінь кристалічності має монокристалічний кремній (Mono PERC). Показник ефективності Mono PERC на декілька відсотків вище за полікристалічний кремній (Poly PERC), однак, собівартість виготовлення Mono PERC значно вища [15] в порівнянні з Poly PERC. Значне зростання ефективності генерації електроенергії забезпечує впровадження

нових технологій розміщення кристалів по сонячній панелі (Half-cut Mono PERC, Shingled Mono PERC, Mono PERCMBB та інші).

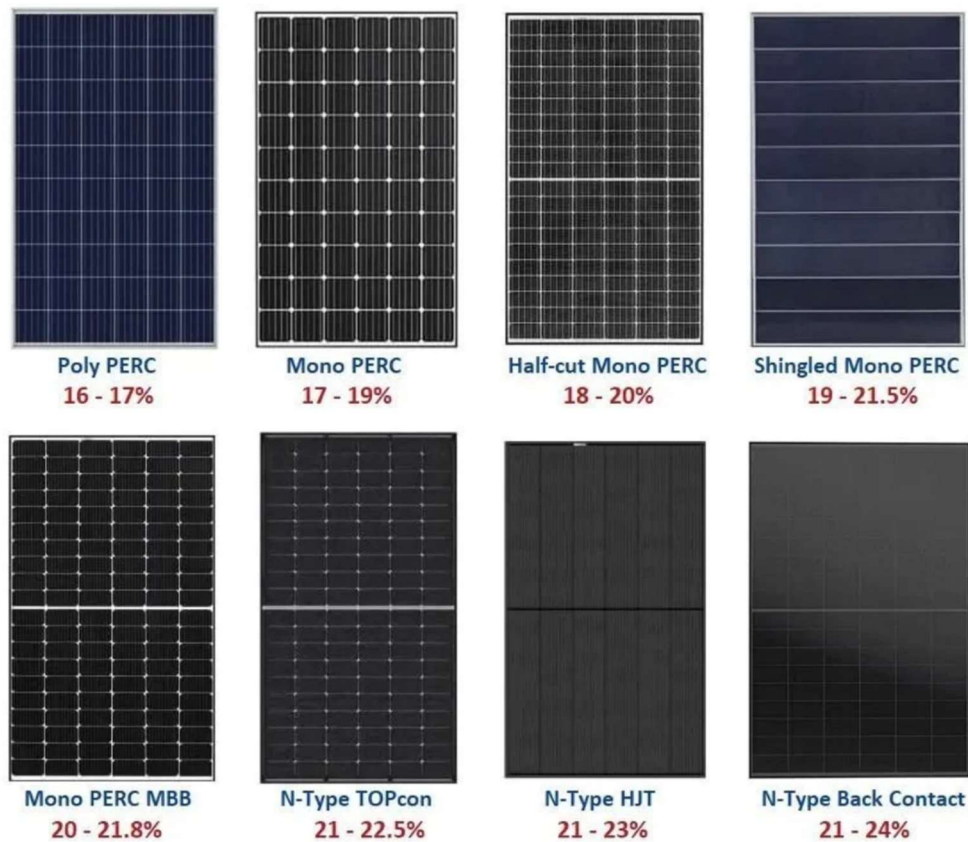


Рис. 1. Різні види матеріалів та технології виготовлення сонячних панелей з зазначеними показниками ефективності [14]

Інші складові сонячної панелі: переднє покриття, інкапсулянт, задня плівка, рамка модуля. Переднє покриття зазвичай виготовляють із загартованого скла товщиною 3,2 – 4 мм, яке має низький показник заломлення. Інкапсулянт – це полімерний матеріал для заливки сонячних панелей, що захищає елементи від зовнішнього впливу та вологи, забезпечуючи довговічність пристрою. EVA (етиленвінілацетат) забезпечує чудову адгезію та прозорість, тоді як POE (поліолефіновий еластомер) надає кращу вологостійкість [16]. Задня плівка складається з багатошарового полімеру або скла. При чому полімер є легшим та дешевшим варіантом, а скло має кращу бар'єрну стійкість до проникнення вологи. Рамка модуля може виконуватися або з алюмінію, або з сталі. При чому алюмінієві рамки модулів є легшими, нержавіючими, в порівнянні із стальними, але мають

гальванічну корозію при контакті з іншими металами в присутності електроліту [17].

Розглянемо матеріали для стаціонарних одноопорних сонячних електростанцій. Типові матеріали опор: гарячеоцинкована сталь, нержавіюча сталь, алюміній. Гарячеоцинкована сталь – це найпоширеніший для наземних опор матеріал, який доступний, міцний, добре піддається зварюванню та має кращу корозійну стійкість за звичайну якісну гарячекатану сталь. Нержавіюча сталь в свою чергу застосовується в агресивних корозійних середовищах (морське узбережжя). Вона є дорожчою в порівнянні з гарячеоцинкованою сталлю. Алюміній застосовується в легких конструкціях і для швидкого монтажу, стійкий до корозії, однак дорожчий у матеріальній одиниці маси. Для аналізу міцності розроблених конструкцій рам сонячних електростанцій рекомендовано застосовувати сучасні CAD/CAE-системи [18-20].

Таким чином, проаналізовано актуальність використання сонячних електростанцій. Розглянуто основні матеріали, які використовуються для проектування сучасних сонячних електростанцій. Рекомендовано для помірного клімату (без агресивної солоності і без екстремальних температурних стрибків) обирати гарячеоцинковану сталь з регламентованим шаром цинку для опор; алюмінієві рамки для модулів; стандартні інкапсулятори EVA/Tedlar або POE для підвищеної вологостійкості. Для приморських (агресивних) умов рекомендовано нержавіюча сталь або дуплексна система (гарячеоцинкована сталь з полімерним фарбуванням, ретельна ізоляція контактів, щоб уникнути гальванічної корозії. Для гарячих пустельних умов (+50 °C у денний час): вибирати модулі з кращим температурним коефіцієнтом (наприклад N-type технології мають кращі показники [14]), інкапсулянт POE, застосувати дизайн із конвективним охолодженням панелей. Температурний діапазон дослідження -15...+50 °C лежить у межах типових промислових випробувань (IEC 61215), але слід звернути увагу на температурний коефіцієнт потужності ($\approx -0,3...-0,5 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ для кремнієвих модулів [21]) може суттєво знижувати вихідну потужність у спеку.

Література

1. Пирогов В. В., Косатенко Д. О., Шалова Є. О., Подколзіна А. І. Перспективи розвитку сонячної енергетики в світі та в Україні. Молодий вчений, 2017, 52(12). 534 с.
2. Bereziuk O.V. Modeling of biogas composition during anaerobic decomposition of hard domestic wastes // Automation of technologies and productions. 2015. No. 4 (10). P. 44-47.
3. Березюк О.В., Краєвський В.О. Світові тенденції збільшення кількості біогазових установок на полігонах твердих побутових відходів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2021. № 1. 5 с.
<https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/627/589>
4. Тимофєєв С. О., Абраменко В. В., Постнікова М. В., Постникова М. В. (2020). Перспективність використання сонячної енергії. І Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція. 8-26 червня 2020 р. С. 2. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/23-tymofyeyev-abramenko-postnikova.pdf> (дата звернення: 01.09.2025)
5. Березюк О.В. Виявлення параметрів впливу на питомий об'єм видобування звалищного газу // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2012. № 3. С. 20-23.
6. Березюк О.В. Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 5. С. 65-68.
7. Березюк О.В. Розробка математичної моделі прогнозування питомого потенціалу звалищного газу // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 2. С. 39-42.
8. Малярєнко В.А., Тимченко С.П. Стан, проблеми та перспективи розвитку сонячної енергетики України [Електронний ресурс]. Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві, 2012. С. 3.
<https://eprints.kname.edu.ua/32016/1/7.pdf> (дата звернення: 01.09.2025)

9. Веб-сайт: Як вибрати місце для встановлення сонячних панелей на даху чи ділянці [Електронний ресурс]. https://pipl.ua/article/yak-vibrati-misce-dlya-vstanovlennya-sonyachnih-panelei-na-dahu-chi-dilyanci?srsId=AfmBOooRy2q9p26jzG9nQXbvsUE_1N_437VwWzUVKSDJEqeu3sScjSn (дата звернення: 05.09.2025)

10. Ричка Р. Оптимізація розташування сонячних панелей для досягнення максимальної виробничої потужності. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2024. № 1 (281). С. 76–84. DOI: 10.33216/1998-7927-2024-281-1-76-84

11. Березюк О.В., Лемешев М.С. Регресійна залежність динаміки зростання кількості біогазових установок в Україні // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2024. Вип. 49. С. 16-25. DOI: 10.32347/2409-2606.2024.49

12. Березюк О., Лемешев М. Регресія динаміки зростання потужності установок з видобування біогазу на території сміттєзвалищ України // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2025. Вип. 53. С. 33-42.

13. Березюк О.В. Моделювання ефективності видобування звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 6. С. 21-24.

14. Веб-сайт: Most efficient solar panels 2025 [Електронний ресурс]. URL: https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 20.09.2025)

15. Веб-сайт: 4 Types of Solar Panels: Which One Is Best for You? [Електронний ресурс]. https://www.ecoflow.com/us/blog/types-of-solar-panels?utm_source=chatgpt.com

16. Rajput P., Sastry O. S., Tiwari G. N. Effect of irradiance, temperature exposure and an Arrhenius approach to estimating weathering acceleration factor of Glass, EVA and Tedlar in a composite climate of India. Solar Energy, 2017, V. 144, P. 267-277. DOI: 10.1016/j.solener.2017.01.027

17. Веб-сайт: Delve into the Materials: Steel Vs. Aluminum For Solar Frames [Електронний ресурс]. URL: <https://www.zetwerk.com/en-us/resources/knowledge->

base/miscellaneous/delve-into-the-materials-steel-vs-aluminum-for-solar-frames/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 20.09.2025)

18. Піонткевич О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В., Савуляк В. В. Забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем для підготовки фахівців із спеціальності «Прикладна механіка». Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта – доступність, якість, визнання», 13–14 листопада 2024 р. Краматорськ–Вінниця–Тернопіль, Краматорськ: ДДМА, 2024. С. 247-252.

19. Петров О. В., Піонткевич О. В., Буда А. Г., Коломієць В. С. Застосування CAD/CAE-системи Solidworks у задачах аналізу міцності деталей верстатних пристосувань. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2024. Вип. 19. № 1. С. 95–102.

20. Піонткевич О. В., Березюк О. В., Лозінський Д. О., Кавецький О. І. Застосування CAD/CAE-системи Autodesk Inventor для удосконалення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вінниця: ВНТУ, 2025. Вип. 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-178-186>

21. Веб-сайт: Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels [Електр. ресурс]. https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 20.09.2025)

Гурія І. М., Лобода П. І., Руденький С. О., Смірнова Я. О.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)
МІДНО-НІКЕЛІВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ
ВИСОКОШВИДКІСНОГО ДЕФОРМУВАННЯ
E-mail: yana.luschay@gmail.com

У цивільній та військовій галузях для руйнування гірських порід, буріння нафтових свердловин, виконання саперних робіт поширені вироби, що здатні працювати в умовах швидкісного деформування, яке утворюється під час детонації заряду вибухової речовини. В умовах вибухового навантаження матеріал