

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження ефективності сонячних фотоперетворювачів.

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи _____

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 «Електроніка»

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Електронні прилади та пристрої»

Керівник _____

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

_____ (підпис)

Бондаренко І.М.

(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії _____

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв _____

Рівень вищої освіти _____ другий магістерський _____

Спеціальність _____ 171 «Електроніка» _____

Тип програми _____ освітньо-професійна _____

Освітня програма _____ «Електронні прилади та пристрої» _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

_____ І.М.Бондаренко

« _____ » _____ 2019р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Дослідження ефективності сонячних фотоперетворювачів

затверджена наказом по університету від _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

_____ 4.
Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка

Дата видачі завдання _____ 20__ р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис) _____
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 64 с., 31 рис., 5 табл., 10 джерел, 3 додатки.

МОНОКРИСТАЛІЧНИЙ КРЕМНІЙ, ПОЛІКРИСТАЛІЧНИЙ
КРЕМНІЙ, ДВОСТОРОННІ СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ,
ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЕНЕРГОСИСТЕМА

Об'єктом роботи є ефективність сонячних панелей.

Мета роботи – з'ясування найбільш перспективного методу поліпшення ефективності сонячних батарей.

Метод дослідження – дедуктивно-аналітичний аналіз провідних компаній в області сонячної енергетики. В роботі зроблено огляд найбільш поширених типів та конструкцій сонячних елементів, проаналізовано їх переваги та недоліки, розглянуто та виконано порівняльний аналіз найбільш поширених матеріалів, що використовують для виробництва сонячних батарей.

Наведено шляхи модернізації та збільшення ефективності сонячних батарей.

Обґрунтовано вибір двосторонніх сонячних панелей.

Запропоновано ідею спрощення конструкції системи орієнтації сонячних батарей.

Унаслідок виконання роботи отримані результати, що можуть використовуватись при проектуванні систем орієнтації сонячних батарей.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ.....	9
1.1 Історія створення.....	9
1.2 Принцип роботи.....	11
1.3 Переваги сонячних батарей.....	12
1.4 Недоліки сонячних батарей.....	13
2 РІЗНОВИДИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ.....	16
2.1 Сонячні батареї з монокристалічного та полікристалічного кремнію.....	16
2.2 Тонкоплівкові батареї.....	18
2.3 Сонячні батареї з аморфного кремнію.....	22
2.4 Арсенід-галієві сонячні батареї.....	24
2.5 Сонячні батареї на основі телуриду кадмію.....	25
2.6 Сонячні батареї на основі CIGS.....	27
3 МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	29
3.1 Сонячні панелі на основі квантових точок.....	29
3.2 Сонячні батареї з перовскіта.....	33
3.3 Сонячні панелі компанії Insolight.....	38
3.4 Сонячні трекари.....	41
3.4.1 Спрощення конструкції системи орієнтації сонячних батарей.....	43
3.4.2 Розрахунки енергосистем з сонячними трекарами.....	44
4 ДВОСТОРОННІ СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ.....	50
4.1 Структура та особливості конструкції.....	50

4.2 Особливості експлуатації та монтажу.....	52
4.3 Дослідження компанії Next2Sun.....	56
4.4 Дослідження компанії Longi Solar.....	59
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	64
ДОДАТОК А.....	65
ДОДАТОК Б.....	66
ДОДАТОК В.....	67

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- CPS – кібер-фізична система (Cyber-physical system)
- CPV - фотоелектричні концентратори (Concentrator Photovoltaics)
- CSP - концентрована сонячна енергія (Concentrated solar power)
- HTPS – персональний комп'ютер (Home Theatre Personal Computer)
- MEG – множинна генерація екситонів (Multiple Excitation Generation)
- NREL - Національна лабораторія з вивчення відновлюваної енергії
(National Renewable Energy Laboratory)
- PV – фотоелектрики (Photovoltaics)
- АСКУ - автоматизована система контролю та управління
- ККД – коефіцієнт корисної дії
- КПК – кишеньковий персональний комп'ютер
- МДУ - Маріупольський державний університет
- ПК – персональний комп'ютер
- ФЕП – фотоелектричні перетворювачі
- ЦОС - цифрова обробка сигналів

ВСТУП

У наш час тема розвитку альтернативних способів отримання енергії надзвичайно актуальна. Традиційні джерела стрімко вичерпуються і вже через якихось сто років можуть бути вичерпані. І вже зараз енергетичні ресурси досить дороги і в значній мірі впливають на економіку багатьох держав.

На сьогоднішній день вигідною альтернативою можна назвати сонячні електростанції. Все більше і більше жителів встановлюють на дахах своїх будинків сонячні батареї. У зв'язку з широким використанням сонячних батарей серед населення, ціни на дані установки поступово знижуються і стають все більш доступними. А якщо ще врахувати тривалий термін служби, то можна з упевненістю сказати, що дані установки на сьогоднішньому ринку займають гідне місце.

Вартість сонячної енергії разом з вартістю акумуляторів стрімко знижується, що сприяє широкому застосуванню таких комплексів у промисловості та індивідуальними споживачами. За досягнення мережевого паритету вартість цієї електроенергії стане нижчою від енергії з традиційних невідновлювальних джерел.

Мета роботи – з'ясування найбільш перспективних методів поліпшення ефективності сонячних батарей.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ

1.1 Історія створення

Так історично склалося, що сонячні батареї – це вже друга спроба людства приборкати безмежну енергію Сонця і змусити її працювати собі на благо. Першими з'явилися сонячні колектори (сонячні термальні електростанції), в яких електрику виробляє нагріта до температури кипіння під сконцентрованими сонячними променями вода (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Сонячна термальна електростанція в іспанському місті Севілья

Історія створення сонячних батарей почалася ще в 19 столітті, а технологія їх виробництва розвивалася на диво швидко. Ще в 1839 році Антуан-Сезар Беккерель представив створену ним хімічну батарею, яка під впливом сонця виробляла електрику. Перша сонячна батарея мала ККД

всього 1% . Тобто тільки один відсоток сонячного світла був перетворений в електрику. У 1873 році Віллоубі Сміт виявив чутливість селену до світла, а в 1877 році Адамс і Дей відзначили, що селен під впливом світла виробляє електричний струм. Чарльз Фрітц в 1880 році використав покритий золотом селен для виробництва першого сонячного елемента, який також мав ефективність 1%. Проте, Фрітц вважав свої сонячні елементи революційними. Він розглядав можливість використання безкоштовної сонячної енергії як засіб диверсифікації поставок енергії, пророкуючи, що сонячні батареї незабаром замінять існуючі електростанції. З поясненням в 1905 році Альбертом Ейнштейном фотоефекту з'явилися надії на створення сонячних батарей з більш високим ККД, але прогрес виявився незначним.

В середині 20 століття дослідження в області діодів і транзисторів дали необхідні для вчених знання. У 1954 році Гордон Пірсон, Дерріл Чапін і Кел Фуллер справили кремнієвий сонячний елемент, який має ККД 4%. Надалі ефективність осередку була підвищена до 15%. Сонячні батареї були вперше використані в сільських районах і віддалених містах в якості джерела живлення для системи телефонного зв'язку, де вони успішно використовувалися протягом багатьох років. В даний час вироблені сонячні батареї поки не можуть повністю задовольнити потреби в енергії, але вони стали основним джерелом енергії для забезпечення штучних супутників Землі. Існуючі на той час паливні системи та акумуляторні батареї мали дуже велику вагу.

Сонячні батареї мають більше значення співвідношення виробленої енергії до ваги, ніж всі інші традиційні джерела енергії, і є економічно більш ефективними. Поки кількість встановлених великомасштабних енергетичних фотоелектричних систем невелика. Більшість зусиль направлено на забезпечення з їх допомогою електроенергією віддалених і важкодоступних місць. Але сонячні батареї забезпечують лише близько 1% всієї виробленої в даний час електроенергії. Прихильники сонячної енергетики стверджують,

що кількість сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі щороку, могло б легко забезпечити потреби в енергії кілька разів.

1.2 Принцип роботи

Сонячні панелі складаються з фотоелектричних комірок, запакованих в загальну рамку. Першим в історії фотоелектричним матеріалом був селен. Саме з його допомогою виробляли фотоелементи в кінці XIX століття.

При падінні сонячних променів на фотоелемент в ньому генеруються нерівноважні електронно-діркові пари. Надлишкові електрони і «дірки» частково переносяться через р-n-перехід з одного шару напівпровідника в інший. В результаті у зовнішньому ланцюгу з'являється напруга. При цьому на контакті р-шару формується позитивний полюс джерела струму, а на n-шару – негативний (рис. 1.2).

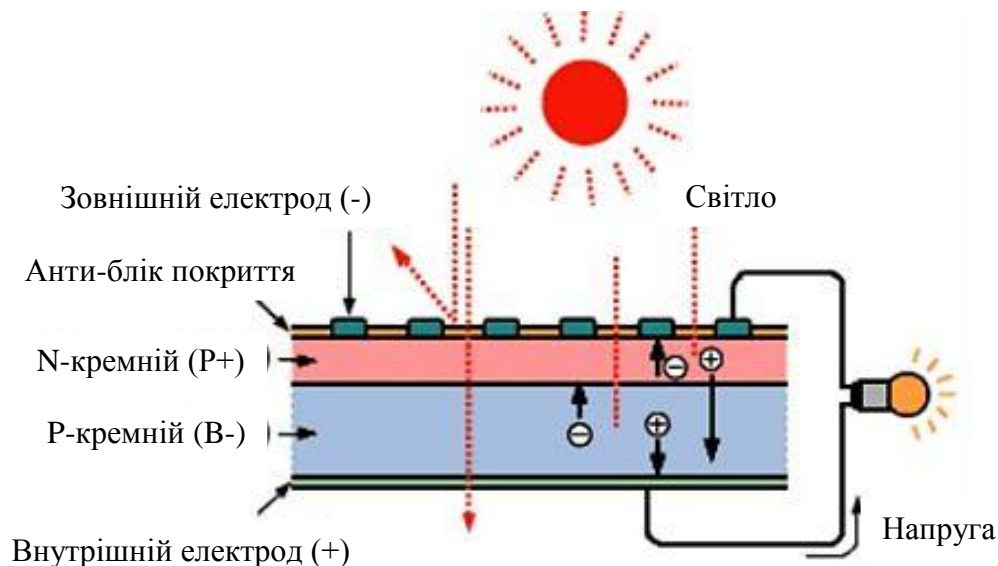


Рисунок 1.2 – Принцип роботи сонячної батареї

Підключення до зовнішнього навантаження у вигляді акумулятора фотоелементи утворюють з ним замкнуте коло. В результаті сонячна панель працює, як своєрідне колесо, в якому замість білок "бігають" електрони. А

аккумуляторна батарея при цьому поступово набирає заряд. Стандартні кремнієві фотоелектричні перетворювачі є одноперехідними елементами. Перетікання в них електронів відбувається тільки через один р-п-перехід з обмеженою по енергетиці фотонів зоною цього переходу. Тобто кожен такий фотоелемент здатний генерувати електроенергію тільки від вузького спектра сонячного випромінювання. Вся інша енергія пропадає даремно. Тому-то і ефективність у ФЕП так низька. Щоб підвищити ККД сонячних батарей, кремнієві напівпровідникові елементи для них останнім часом стали робити багатоперехідними (каскадними).

У нових ФЕП переходів вже кілька. Причому кожен з них в цьому каскаді розрахований на свій спектр сонячних променів. Сумарна ефективність перетворення фотонів в електрострум у таких фотоелементів в результаті зростає. Але і ціна їх значно вище. Тут або простота виготовлення з невисокою собівартістю і низьким ККД, або більш висока віддача укупі з високою вартістю. При роботі фотоелемент і вся батарея поступово нагрівається. Вся та енергія, що не пішла на генерацію електроструму, трансформується в тепло. Часто температура на поверхні геліопанелі піднімається. Але чим вона вище, тим менш ефективно працює фотогальванічний елемент. В результаті одна і та ж модель сонячної батареї в спеку генерує струму менше, ніж в мороз. Максимум ККД фотоелементи показують в ясний зимовий день. Тут позначаються два чинника – багато сонця і природне охолодження. При цьому якщо на панель буде падати сніг, то електроенергію вона генерувати все одно продовжить. Більш того, сніжинки навіть не встигнуть на неї особливо полежати, станувши від тепла нагрітих фотоелементів.

1.3 Переваги сонячних батарей

Головна перевага сонячних батарей – їх гранична конструктивна простота і повна відсутність рухомих деталей.

Сонячні батареї не потребують будь-яких палив і здатні працювати на внутрішніх ресурсах. Власнику не потрібно хвилюватися про збереження приладу і постійно підтримувати його збереження. Сонячні батареї практично не бояться механічного зносу. Та й обслуговування їм ніяке не потрібно.

Невелику питому вагу, невибагливість, максимально простий монтаж і мінімальні вимоги до обслуговування під час експлуатації (зазвичай досить лише протирати бруд з робочої поверхні).

Дані пристрої здатні прослужити не менше двадцяти п'яти років.

Застосовувані технології і матеріали повністю відповідають найвищим екологічним нормам, сонячні батареї не виробляють викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище і абсолютно безпечні.

Отримання енергії з використанням сонячних батарей дозволяє заощадити чималі фінансові кошти.

На відміну від традиційних джерел, цей тип ресурсів практично невичерпний. Отримання традиційних джерел енергії сьогодні стає все більш дорогим задоволенням і серйозно б'є як по кишені простих споживачів, так і по бюджетам багатьох держав.

1.4 Недоліки сонячних батарей

Невисокий ККД. Сонячні батареї перетворюють енергію вибірково – для робочого збудження атомів потрібні певні енергії фотонів (частоти випромінювання), тому в одних смугах частот перетворення йде дуже ефективно, а інші частотні діапазони для них не приносять користі. Крім того, енергія уловлених ними фотонів використовується квантово – її «надлишки», що перевищують необхідний рівень, йдуть на шкідливий в даному випадку нагрів матеріалу фотоперетворювача. Багато в чому саме цим і пояснюється їх невисокий ККД. До речі, невдало вибравши матеріал захисного скла, можна помітно знизити ефективність роботи батарей. Справа ускладнюється тим, що звичайне скло досить добре поглинає високоенергетичну ультрафіолетову

частину спектру, а для деяких типів фотоелементів саме на часі саме цей діапазон, - енергія інфрачервоних фотонів для них занадто мала.

Чутливість до забруднень. Навіть досить тонкий шар пилу на поверхні фотоелементів або захисного скла може поглинути істотну частку сонячного світла і помітно знизити вироблення енергії. У курному місті це зажадає частого очищення поверхні сонячних батарей, встановлених горизонтально або похило. Безумовно, така ж процедура необхідна і після кожного снігопаду, і після пилової бурі.

Зменшення ефективності протягом терміну служби.

Напівпровідникові пластини, з яких зазвичай складаються сонячні батареї, з часом деградують і втрачають свої властивості, в результаті і без того не надто високий ККД сонячних батарей стає ще менше. Тривала дія високих температур прискорює цей процес. Проте, сучасні фотоперетворювачів здатні зберігати свою ефективність протягом багатьох років. Вважається, що в середньому за 25 років ККД сонячної батареї зменшується на 10%. Так що зазвичай набагато важливіше вчасно протирати пил.

Сонячні батареї неможливо використовувати в більшості районів нашої країни через погодні умови і недостатню кількість сонячних днів.

Чутливість до високої температури. З підвищенням температури ефективність роботи сонячних батарей знижується. При температурах вище 100..150 ° С вони можуть тимчасово стати непрацездатними, а ще більший нагрів може привести до їх повного пошкодження акумулятора. Тому необхідно вживати всіх заходів для зниження нагріву, неминучого під палючими прямими сонячними променями. Додатково ускладнює ситуацію те, що чутлива поверхня досить тендітних фотоелементів часто закривається захисним склом або прозорим пластиком. В результаті утворюється своєрідний «парник», що збільшують перегрів. Правда, збільшивши відстань між захисним склом і поверхнею фотоелемента і з'єднавши зверху і знизу цю порожнину з атмосферою, можна організувати конвекційний потік повітря, природним чином охолоджуючий фотоелементи. Однак на яскравому сонці і

при високій температурі зовнішнього повітря цього може виявитися недостатньо. Тому сонячна батарея навіть не дуже великих розмірів може зажадати спеціальної системи охолодження.

Треба зауважити, що подібні системи зазвичай легко автоматизуються, а привід вентилятора або помпи споживає лише малу частку енергії, що виробляється. При відсутності яскравого сонця такого великого нагрівання немає і охолодження взагалі не потрібно, так що енергія, зекономлена на приводі системи охолодження, може бути використана для інших цілей.

2 РІЗНОВИДИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

2.1 Сонячні батареї з монокристалічного та полікристалічного кремнію

Панелі з монокристалічного кремнію отримують литтям кристалів кремнію високої чистоти, при якому розплав твердне при контакті з запалом кристала. У процесі охолодження кремній поступово застигає у формі циліндричної виливки монокристала діаметром від 13 см до 20 см, довжина якого досягає 200 см. Одержуваний таким чином злиток нарізається листочками товщиною від 250 мкм до 300 мкм. Такі елементи мають більш високу ефективність у порівнянні з елементами, виробленими іншими способами, ККД досягає 19%, завдяки особливій орієнтації атомів монокристалу, яка сприяє зростанню рухливості електронів. Кремній пронизує сітка з металевих електродів. Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку і закриті протиударним склом. Колір монокристалічних фото-елементів - темно-синій або чорний. Сонячні батареї надійні, довговічні (термін служби до 50 років) і прості в установці, так як не містять рухомих частин. Сонячні батареї можна використовувати, де погано працює звичайне енергопостачання і велика кількість сонячних днів. Приклади застосування сонячних батарей: на дахах будинків для отримання електрики, на вуличних і садових ліхтарях для освітлення, підзарядка акумуляторів, забезпечення електрикою обладнання на судах, рацій, насосів, сигналізації і т.д.

Сонячні панелі з монокристалічних фотоелектричних елементів більш ефективні, але і дорожчі в перерахунку на ват потужності. Їх ККД, як правило, в діапазоні від 17% до 22%.

Зазвичай монокристалічні елементи мають форму багатокутників, якими важко заповнити всю площу панелі без залишку. В результаті питома

потужність сонячної батареї трохи нижче, ніж питома потужність окремого її елемента (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Сонячна батарея з монокристалічного кремнію

Альтернативою монокристалічного кремнію є полікристалічний кремній (рис. 2.2). У нього більш низька собівартість. Кристали в ньому ще агрегатні, але мають різну форму і орієнтацію. Цей матеріал, в порівнянні з темними монокристалами, відрізняється яскраво синім кольором. Удосконалення процесу виробництва елементів даного типу дозволяє сьогодні отримувати компоненти, характеристики яких лише трохи поступаються по електричним показникам монокристалів.



Рисунок 2.2 – Сонячна батарея з полікристалічного кремнію

2.2 Тонкоплівкові батареї

Ці прилади діляться на різні класи і типи в залежності від того, для яких цілей їх використовують. Є малопотужні сонячні батареї – для зарядки стільникових телефонів, КПК і іншої подібної електроніки. Мають малу площу фотопластинки, досить дорогі. Універсальні сонячні батареї – для живлення широкого кола споживачів в польових умовах. Є імпортні, і наші. Ціна і якість досить різні. Вважаються найбільш прийнятними для туристів. Нас же більше цікавлять панелі сонячних елементів – фотопластинки, закріплені на підкладці. Це заготовка для побудови пристрою, який і забезпечить електроенергією необхідне приміщення. По виду виготовлення виділяють тонкоплівкові, монокристалічні і полікристалічні сонячні батареї.

Основна перевага тонкоплівкової технології – низька собівартість, саме з цієї причини вона має всі шанси на те, щоб стати лідером вже в найближчі роки. Модулі на новій базі дозволяють зробити сонячні батареї гнучкими, в буквальному сенсі цього слова. Вони виходять легкими і еластичними, що дозволяє розміщувати такі батареї буквально на будь-яких поверхнях, включаючи поверхню одягу.

В основі гнучких сонячних елементів – полімерні плівки, аморфний кремній, алюміній, телурид кадмію та інші напівпровідники, які вже застосовуються при виробництві портативних зарядних пристроїв для стільникових телефонів, ноутбуків, планшетів, відеокамер та інших гаджетів, у вигляді складних сонячних батарей невеликого розміру (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Тонкоплівкова батарея

Найперші зразки тонкоплівкових сонячних елементів виготовлялися із застосуванням нанесення на підкладку аморфного кремнію, і ККД виходив за все від 4% до 5%, а термін служби не був довгим. Наступним кроком все тієї ж технології стало підвищення ККД до 8% і продовження терміну служби, він став порівняним з кристалічними попередниками (рис. 2.4).

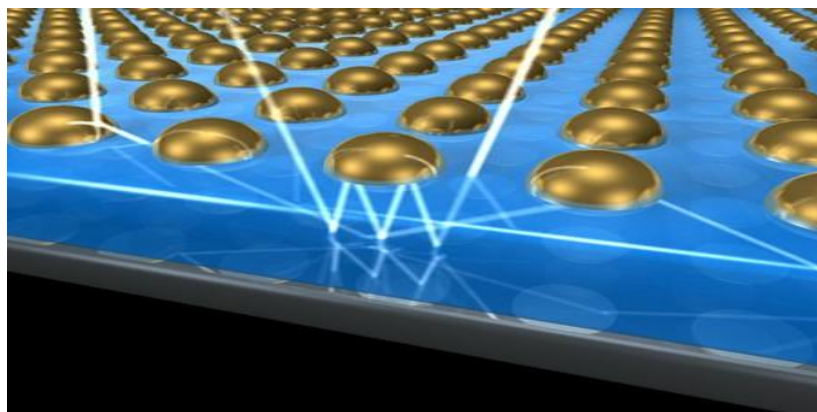


Рисунок 2.4 – Структура тонкоплівкової батареї

Застосовані тут селенід міді-індію і телурид кадмію, дозволили створити гнучкі сонячні батареї і портативні зарядні пристрої з ККД до 10%, а це вже значне досягнення, якщо врахувати, що фізики ведуть боротьбу за кожен

додатковий відсоток ККД. Тепер зупинимось більш детально на тому, як роблять тонкоплівкові батареї.

Що стосується телуриду кадмію, то в якості світло поглинаючого матеріалу його почали досліджувати ще в 70-ті, коли потрібно було підібрати кращий варіант для використання в космосі. І до цього дня саме телурид кадмію залишається найбільш перспективним для сонячних батарей. Однак питання про токсичність кадмію залишався деякий час відкритим.

В результаті досліджень було показано, що небезпека мінімальна, рівень кадмію, що вивільняється в атмосферу не є небезпечним. ККД же склав 11%, при цьому вартість одного вата вийшла на третину нижче, ніж у кремнієвих аналогів.

Тепер про селенід міді-індію. Значна частина індію сьогодні йде на створення плоских моніторів, тому індій все ж замінюють на галій, що володіє тими ж властивостями для сонячної енергетики. Плівкові ж батареї на даній основі досягають ККД в 20%. Нещодавно почали розробляти полімерні панелі. Тут світлопоглинаючими матеріалами служать органічні напівпровідники: вуглецеві фулерени, фталоціанин міді і т. Д. Товщина сонячного елемента виходить 100 нм, проте ККД становить всього від 5% до 6%. Але при цьому вартість виробництва досить низька, плівки доступні, легкі, і повністю екологічні. З цієї причини полімерні панелі популярні там, де важливі екологічність при утилізації та механічна еластичність. У чому ж полягають особливості тонкоплівкові батарей? В першу чергу варто відзначити високу продуктивність модулів навіть при розсіяному світлі, що дає до 15% більше потужності протягом року в порівнянні з кристалічними аналогами. Далі йде перевага у вартості виробництва. У потужних системах, від 10 кВт, саме тонкоплівкові модулі показують велику ефективність, хоча площа потрібна в 2,5 рази більше.

Таким чином, можна назвати умови, коли тонкоплівкові модулі набувають виправданої переваги. У регіонах з переважно похмурою погодою саме тонкоплівкові батареї будуть ефективно працювати (розсіяне світло).

Для регіонів з жарким кліматом тонкі плівки виявляються більш ефективними (при високій температурі вони так само ефективно працюють, як і при невисокій). Можливість використання в якості декоративних дизайнерських рішень при обробці фасадів будівель. Можлива прозорість до 20%, що знову ж таки на руку дизайнерам. Тим часом, ще в 2008 році американська компанія Solyandra запропонувала розміщувати тонкоплівкові батареї на циліндрах, коли шар фотоелемента наноситься на скляну трубку, яка розміщується всередині іншої трубки, оснащеної електричними контактами. Застосовувані матеріали – мідь, селен, галій, індій.

Циліндричне виконання дозволяє поглинати більше світла, і набір з 40 циліндрів вміщується на панелі розміром метр на два. Родзинка тут у тому, що біле покриття даху сприяє високій ефективності такого рішення, адже тоді відбиті промені теж працюють, додаючи свої 20% енергії. До того ж циліндричні набори стійкі навіть до сильного вітру з поривами до 55 м/с.

Більшість сонячних елементів, вироблених сьогодні, містять всього один р-п перехід, і фотони з енергією меншою, ніж ширина забороненої зони, просто не беруть участі в генерації. Тоді вчені придумали шлях подолання цього обмеження, були розроблені каскадні елементи багат шарової структури, де кожен шар має свою ширину забороненої зони, тобто кожен шар має індивідуальний р-п перехід з індивідуальним значенням енергії поглинаються фотонів.

Верхній шар формують зі сплаву на основі гідрогенизованого аморфного кремнію, другий – аналогічний сплав з додаванням германію (від 10% до 15%), третій – з додаванням від 40% до 50% германію. Таким чином, кожен наступний шар має заборонену зону вже, ніж у попереднього шару, і не поглинені фотони в верхніх шарах, поглинаються шарами плівки, які лежать нижче.

При такому підході вартість енергії, що генерується знижується вдвічі в порівнянні з традиційними кристалічними кремнієвими елементами. В

результаті досягнуто ККД 31% на тонкоплівковій плівці, а п'яти-перехідна обіцяє всі 43%.

Нещодавно фахівці з МДУ розробили сонячні батареї рулонного типу на основі полімеру, нанесеного на підкладку з гнучкого органічного матеріалу. ККД вийшов всього 4%, зате працювати такі батареї можуть навіть при $+ 80^{\circ}\text{C}$ протягом 10000 годин. Ці дослідження ще не завершені.

Швейцарські вчені досягли на полімерній основі ККД 20,4%, а в якості напівпровідників використовували індій, мідь, селен і галій. Сьогодні це рекорд для елементів на тонкій полімерній плівці.

В Японії досягли аналогічним чином (індій, селен, мідь) 19,7% ККД, наносили напівпровідники методом напилення. А ще в Японії зайнялися виготовленням сонячної тканини, тканинні сонячні панелі розробили, застосувавши циліндричні елементи діаметром близько 1,2 мм, прикріплені до тканини. В на початку 2015 вони планували почати виробництво одягу і тентів на цій основі.

2.3 Сонячні батареї з аморфного кремнію

Кремнієві сонячні батареї, основу яких складає аморфний кремній, є результатом технологічного вдосконалення методик виготовлення сонячних елементів. Це, переважно, тонкоплівкові моделі. Якщо порівнювати їх з «класичними» на основі кристалів, технології їх виготовлення мають суттєві відмінності. Аморфний кремній, речовина, якому можна надати будь-яку бажану форму –пароутворюючий гідрид. Його гарячі пари залишаються на підкладці, а освіти звичайних кристалів не відбувається. Це забезпечує різке зниження виробничих витрат.

Аморфні сонячні панелі володіють істотною відмінністю від моно- та полікристалічних. Воно полягає в тому, що прямий потік світла, що виходить від Сонця, таким батареям не потрібно. Вони прекрасно генерують розсіяне

світло, що виходить від світила, яке закрито хмарами. Завдяки гнучкості, на них легко наносяться сучасні напівпровідникові елементи (рис. 2.5).

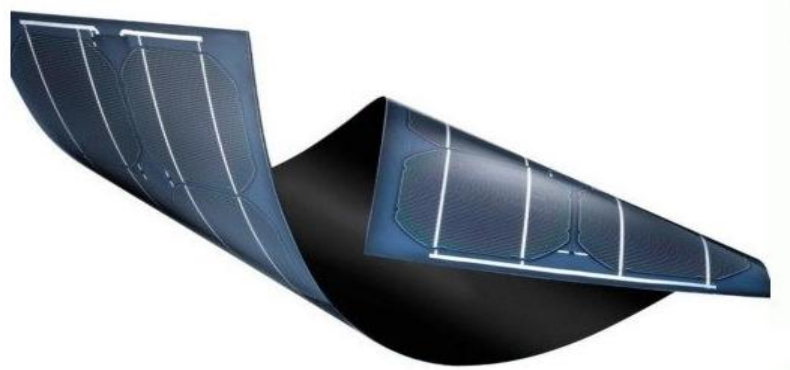


Рисунок 2.5 – Сонячна батарея з аморфного кремнію

Аморфні сонячні батареї володіють дивовижною здатністю до поглинання неясного, розсіяного світлового потоку. Вони активно застосовуються в тих регіонах, де переважає прохолодна і похмура погода. При високих температурах вони не втрачають рівня своєї продуктивності. Хоча панелі з арсеніду галію і до сьогоднішнього часу їх в цьому перевершують.

Отже, кремнієві сонячні батареї з унікальною властивістю аморфності мають такі перспективні переваги:

- менше нагріваються при високій температурі. Отже, не втрачають продуктивності, переробляючи більшу кількість електроенергії. Ефективність кристалічних модулів при сильному нагріванні, як відомо, різко знижується, зі значною втратою потужності;

- виробляють більше енергії при слабкому рівні світла. Кристалічні сонячні батареї в умовах розсіяного світлового потоку вже можуть перестати працювати взагалі. Аморфні модулі в умовах дощу і хмарності накопичують від 10% до 20% більше енергії;

- вони майже непомітні на будівлях. Розмір їх мінімальний, а зовнішній вигляд, схожий на плівку або тонке скло, легко можна приховати або замаскувати;

- у них мінімум браку, так як виробництво набагато простіше. Кристалічні ж модулі зварюються між собою методом пайки. І це – досі їх слабке місце, яке виправити неможливо. Вони краще переносять тимчасове або часткове затінення і втрачають при цьому менше потужності.

2.4 Арсенід-галієві сонячні батареї

Арсенід-галієві сонячні батареї створювалися з використанням арсеніду галію (рис. 2.6). Для того, щоб отримати матеріал, необхідно з'єднати миш'як і галій, розроблені як альтернативний варіант традиційних елементів з використанням кремнію. Арсенід галію, який входить в сонячні батареї, являє собою напівпровідник. Він має такі ж властивості, які має кремній. Але головна перевага в його кращих «робочих» якостях. Завдяки таким перевагам сонячна батарея арсенід галію має набагато більший коефіцієнт корисної дії.

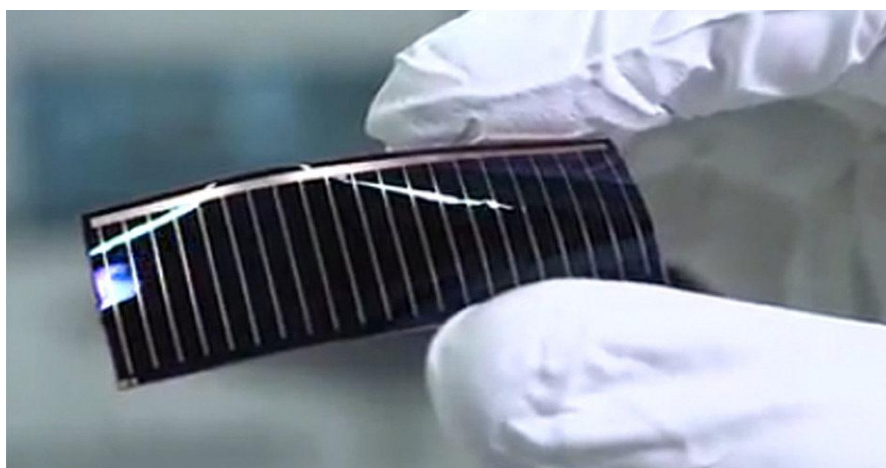


Рисунок 2.6 – Арсенід-галієва сонячна батарея

Фотоелементи в арсенід-галієвих сонячних панелях мають деякі значні переваги. Напівпровідника арсеніду галію досить шару всього кілька мікронів, щоб досягати ефективних результатів, оскільки має високий рівень поглинання енергії. Таке тонке покриття сприяє можливості зменшити фотоячейки, не впливаючи на кінцевий результат.

Сонячна батарея арсенід галію має високу стійкість до радіації. Підходять для використання в багатьох напрямках, але з огляду на дороге виробництво, застосовуються дуже рідко. Панелі арсенід галію відмінно протистоять процесам нагрівання. Вони здатні працювати навіть в умовах високих температур і навіть перегріву. Це означає, що вони не потребують великої кількості охолодження.

Є розробки по поліпшенню процесу виготовлення панелей арсенід галію, шляхом додавання різних домішок. Такий процес дозволяє значно коригувати процес виробництва, також можна розширювати сонячні осередки, відповідно до зміненими параметрами. У деяких ситуаціях можливо навіть отримати багатошарові осередки, змінювати склади в шарах. В ході цього процесу можна отримати більш точне управління генерацією носіїв заряду. Кремнієві батареї такої можливості не мають.

На даний момент є можливість створювати навіть структуру, що складається з трьох шарів. Кожен з трьох шарів поглинає тільки певні сонячні промені. Таким чином, кількість спожитих променів значно більше, ніж у інших конструкціях. Поглинати багато видів сонячних променів неможливо для одношарових батарей. Але виготовлення таких докладних структур дуже дорого як у фінансовому плані, так і в плані праці.

2.5 Сонячні батареї на основі телуриду кадмію

Сонячні панелі з телуриду кадмію (CdTe) створюються на основі плівкової технології. Напівпровідниковий шар наносять тонким шаром в декілька сотень мікрометрів. Ефективність елементів з телуриду кадмію

невелика, ККД близько 11%. Однак згідно з останніми дослідженнями First Solar, їх елементи можуть швидко перевершити кремнієві. У польових випробуваннях елементи з телуриду кадмію показали 17% продуктивності, що можна порівняти з кремнієвими панелями.

Компанія поставляє сонячні панелі і, одночасно, розробляє їх на великих сонячних фермах. За останнє десятиліття, коли завдяки фабрикам Китаю ціни на сонячні елементи впали, First Solar вклала гроші в складні і дорогі технології. Компанія витратила близько 4% своєї виручки на дослідження і розробки, що майже в два рази перевищує середню по індустрії суму. Кремнієві елементи з кристалічною структурою призупинили зростання конверсії приблизно на 20% в лабораторних умовах і 16% - в польових. З недавньої заяви First Solar, компанія здатна досягти за два роки ефективності в 24%, а в реальних умовах – 19% за три роки. Телурид кадмію особливо добре себе показав у жарких і вологих регіонах південного сходу США і Південної Азії, де найближчим часом очікується зростання ринку.

Крім того, завдяки технології осадження з парової фази тонкі панелі First Solar легше виробляти – весь процес, від прозорого скла до кінцевого продукту, займає всього 3,5 години, а на виготовлення кремнієвого елемента йде два дні (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Сонячні батареї на основі телуриду кадмію

2.6 Сонячні батареї на основі CIGS

Сонячні панелі на основі CIGS. CIGS – це напівпровідник, що складається з міді, індію, галію і селену (Cu(In,Ga)Se_2). Цей тип сонячних батарей теж виконаний за плівковою технологією, але в порівнянні з панелями з телуриду кадмію володіє більш високою ефективністю, його ККД доходить до 20% (рис. 2.8).

Потенційні покупці сонячних батарей часто задають собі питання, чи зможе той чи інший тип фотоелектричних перетворювачів забезпечити необхідну потужність всієї системи. Тут треба розуміти, що ефективність сонячних батарей безпосередньо не впливає на кількість вироблюваної установкою енергії. Однакову потужність всієї установки можна отримати за допомогою будь-яких типів сонячних батарей, однак більш ефективні фотоелектричні перетворювачі займуть менше місця, для їх розміщення знадобиться менша площа. Наприклад, якщо для отримання одного кіловата електроенергії буде потрібно близько 8 м^2 поверхні сонячної батареї на основі монокристалічного кремнію, то панелі з аморфного кремнію займуть вже близько 20 м^2 .

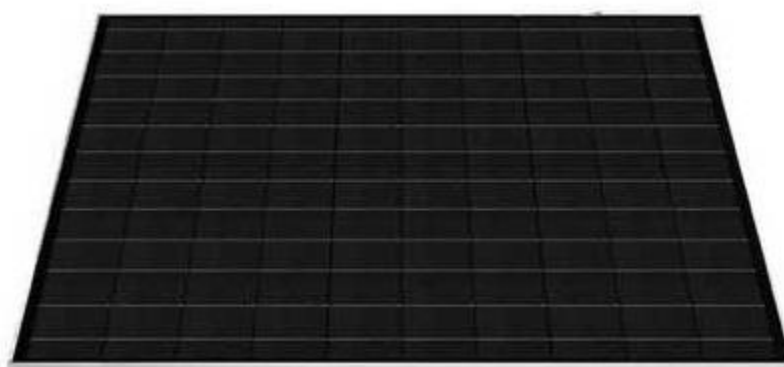


Рисунок 2.8 – Сонячна батарея на основі CIGS

Наведений приклад, звичайно ж, не є абсолютним. На вироблення електроенергії фотоелектричними перетворювачами впливає не тільки загальна площа сонячних панелей. Електричні параметри будь-якої сонячної батареї визначаються в так званих стандартних умовах тестування, а саме при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт / м^2 і робочій температурі панелі 25°C .

У країнах Центральної та Східної Європи інтенсивності сонячного випромінювання рідко досягає номінального значення, тому навіть в сонячні дні фотоелектричні панелі працюють з недовантаженням. Може здатися, що і температура 25°C теж зустрічається не так вже й часто. Однак мова про температуру сонячної панелі, а не про температуру повітря.

В рамках загальної тенденції зниження потужності, що з ростом робочої температури, кожен тип сонячних батарей поводить по-різному. Так у кремнієвих елементів номінальна потужність падає з кожним градусом перевищення номінальної температури від $0,43\%$ до $0,47\%$. У той же час елементи з телуриду кадмію втрачають всього $0,25\%$.

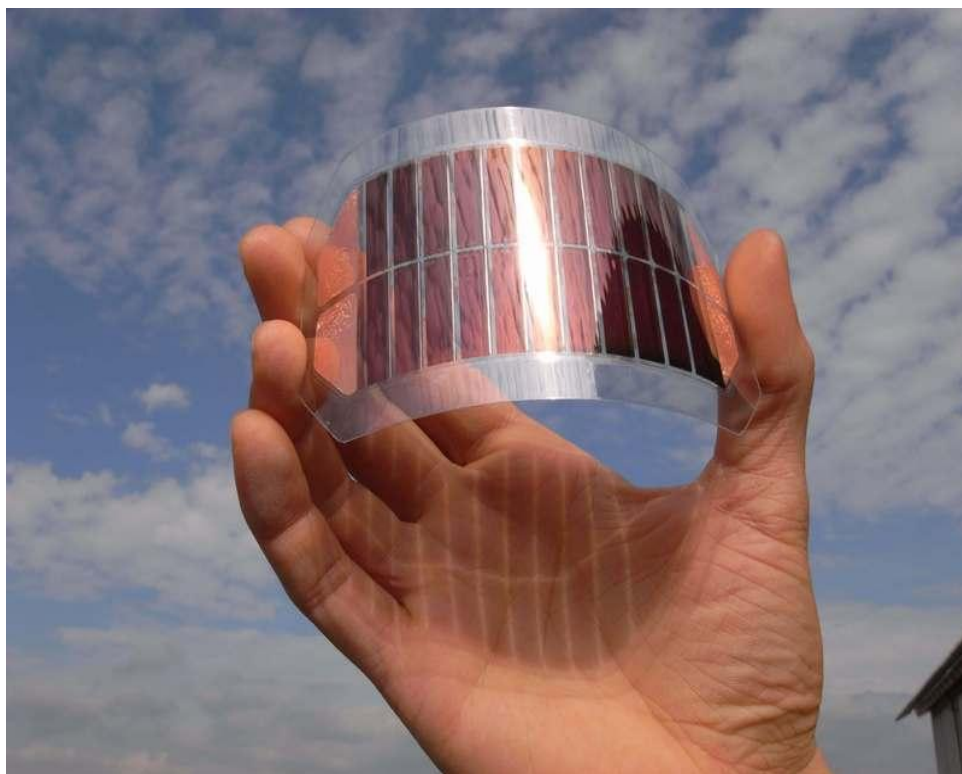
Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця ККД сонячних панелей різних типів

Тип сонячної панелі	ККД, %
Монокристал	17-22
Полікристал	12-18
З аморфного кремнію	5-6
Арсенід-галієві	35-40
На основі телуриду кадмію	10-12
На основі CIGS	15-20

3 МЕТОДИ ПОЛПШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

3.1 Сонячні панелі на основі квантових точок

Створення сонячних осередків на квантових точках - це чергова спроба знайти більш ефективні методи в перетворенні сонячного світла в електрику. Самі по собі колоїдні квантові точки є напівпровідниковими нанокристаллами. Їх розміри найчастіше варіюються від 3 нм до 20 нм (рис. 3.1). Вони викликали інтерес вчених через їх оптичні властивості.



Рисонук 3.1 – Сонячна панель на основі квантових точок

В NREL побудована сонячна батарея на основі напівпровідникових кристалів, розміри яких не перевищують декількох нанометрів, це так звані

квантові точки. Зразок вже є рекорсменом за показниками зовнішньої і внутрішньої квантової ефективності, які склали відповідно 114% і 130%.

Ці характеристики показують відношення кількості пар електронів-дірок до кількості падаючих на зразок фотонів (зовнішня квантова ефективність) і відношення кількості генеруються електронів до кількості спожитих фотонів (внутрішня квантова ефективність) для певної частоти (рис. 3.2).

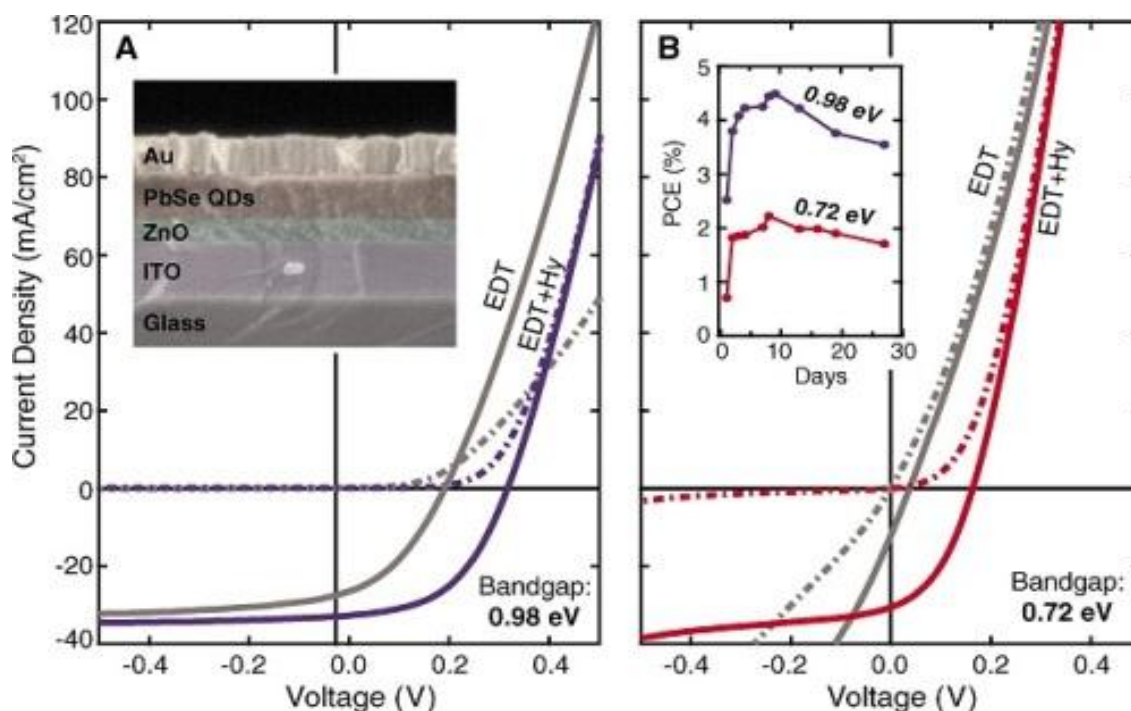


Рисунок 3.2 – Зовнішня та внутрішня квантова ефективність

Зовнішня квантова ефективність менше внутрішньої, оскільки не всі поглинені фотони беруть участь в генерації, а частина фотонів, що падають на панель, просто відбивається.

Зразок складається з наступних частин: скло в покриттям, шар прозорого провідника, далі наноструктуровані шари оксиду цинку і квантових точок селеніду свинцю, потім етандітіол і гідразин, а в якості верхнього електрода тонкий шар золота. Сумарний ККД такого осередку становить близько 4,5%, але цього достатньо для експериментально отриманої досить високої квантової ефективності даного поєднання матеріалів.

Ще жоден сонячний елемент не показував зовнішню квантову ефективність вище 100%, в той час як унікальність даної розробки NREL і полягає в тому, що кожен фотон, що впав на батарею створює на виході більше однієї пари електрон-дірка (рис. 3.3).

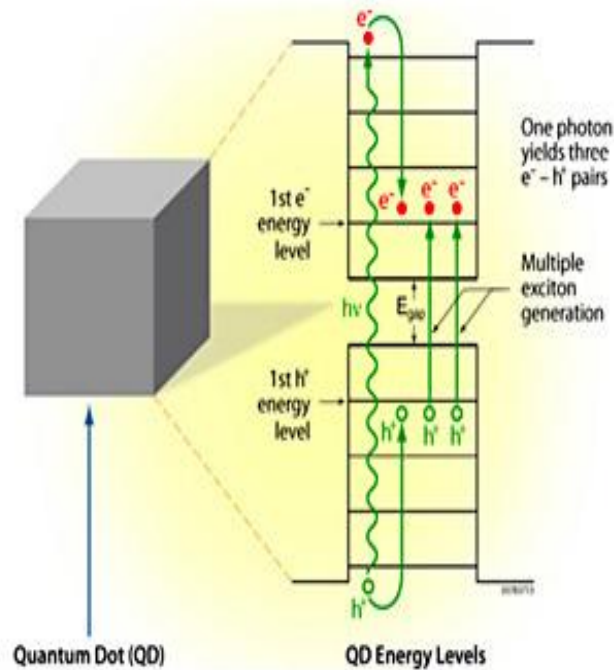


Рисунок 3.3 – Утворення електронних пар у сонячних панелях с квантовими точками

Причиною успіху послужила MEG, - ефект, який вперше використаний для створення повноцінної сонячної батареї, здатної генерувати електрику. Інтенсивність ефекту пов'язана з параметрами матеріалу, з шириною забороненої зони в напівпровіднику, а також з енергією падаючого фотона. Вирішальне значення має розмір кристала, оскільки саме в межах крихітного обсягу квантові точки обмежують носії заряду, і можуть збирати надлишкову енергію, інакше ця енергія б просто губилася у вигляді тепла.

Ще один незвичайний підхід до створення сонячних батарей запропонував Прашант Камат з університету Нотр-Дама. Його група розробила фарбу на основі квантових точок діоксиду титану, покритих

сульфідом кадмію і селенідом кадмію, в формі водно-спиртової суміші. Паста була нанесена на платівку зі скла з провідним шаром, потім був проведений випал, і в результаті вийшла фотогальванічна батарея. Підкладці, перетвореної в фотоелектричні панель, потрібно тільки електрод зверху, і можна отримувати електричний струм, помістивши її на сонці (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Фарба на основі квантових точок

Вчені вважають, що в майбутньому можна буде створити фарбу для автомобілів і для будинків, і таким чином перетворити, скажімо, дах будинку, або кузов автомобіля, пофарбовані цієї особливої фарбою, в сонячні панелі. Це і є головною метою дослідників. Хоч ККД і не високий, всього 1%, що в 15 разів менше звичайних кремнієвих панелей, сонячна фарба може бути проведена в великих обсягах, і дуже недорого. Так можуть бути задоволені енергетичні потреби в майбутньому, вважають хіміки з групи Камат.

3.2 Сонячні батареї з перовскіта

Речовина, відома вченим вже більше ста років, тільки сьогодні, на початку XXI століття, виявилось вельми перспективним матеріалом для виробництва дешевих і ефективних сонячних елементів (рис. 3.5). Перовскіт, або титанат кальцію, вперше знайдений у вигляді мінералу німецьким геологом Густавом Розі в Уральських горах ще в 1839 році, і названий на честь графа Льва Олексійовича Перовського, славного державного діяча та колекціонера мінералів, героя Вітчизняної війни 1812 року, виявився найбільш підходящим претендентом на роль альтернативи кремнію у виробництві сонячних батарей.



Рисунок 3.5 – Перовскіт

Звичайні, що стали давно традиційними, кремнієві сонячні батареї при товщині в 180 мікрон поглинають стільки ж світла, скільки перовскіт поглине при товщині всього в 1 мікрон. Перовскіт так само як і кремній є напівпровідником, і приблизно так само ефективно передає електричний заряд

під дією світла, однак спектр перетворюється в електрику світла у перовскіта ширше, ніж у кремнію. Структура кристалічної речовини титаната кальцію ідентична структурі мінералу перовскіту, тому і назва у них один і той же. І саме ця речовина знаходиться сьогодні на одному з лідируючих місць в рейтингу шляхів оптимізації для сонячної енергетики.

Фотопровідний шар з перовскіта в фотоелементі виявляється затиснутим двома напівпровідниками, призначеними для перенесення електричного заряду. Енергія електронів в цих напівпровідниках різна, тому їх поділяють за рівнями. Вчені досліджували три верхніх рівня, де спостерігається переміщення носіїв заряду. На нижньому рівні (в валентній зоні) електрони практично не здатні пересуватися. Закони природи не дозволяють їм перескакувати на наступний рівень, а для стрибка через рівень електронів потрібна енергія. Така енергія є в сонячному світлі, який як би підштовхує електрони. Електрони, стрибаючи в зону провідності, залишають на своєму місці позитивний заряд, названий діркою. Через напівпровідниковий шар електрони переміщуються до катода, а через інший напівпровідник рухаються до анода дірки. У конструкції фотоелементів з перовскіта напівпровідникові шари є як би приймальниками носіїв електричного заряду, доставляючи їх до електродів фотоелемента.

Вся справа в тому, що сонячні батареї на базі кремнію стоять сьогодні в середньому 75 центів за 1 кВт, а сонячні батареї на основі перовскіта знизять їх вартість від 10 центів до 15 центів за 1 кВт, тобто технологія сонячних батарей на перовскітах в 5-7 разів дешевше кремнію як при виробництві батарей, так і при їх експлуатації, а кількість виробленої електроенергії таке ж. І це при тому, що аналітики енергетичної галузі стверджують, що вже при вартості в 50 центів за 1 кВт, сонячна енергія стає конкурентоспроможною по відношенню до викопному паливу. Тобто перехід на перовскіт в глобальному масштабі знизить вартість виробництва електроенергії в рази, при цьому процес виробництва самих панелей буде дуже простим. Дослідження щодо оцінки та підвищення ефективності сонячних елементів на основі перовскіта

ведуться в багатьох країнах: у Австралії - Мартін Грін, в Швейцарії - Майкл Гретцель, в США - Генрі Сайнт, Фелікс Дешлер, Лімінг Дай, в Кореї - Сік Санг Іль. Дослідники заявляють в один голос про дешевизну і високої ефективності перспективної технології.

Майкл Гретцель стверджує, що досягнута їм ефективність в 15% легко може бути збільшена до 25%, а недорогі сонячні елементи з нині доступних не дотягують до 15%. Вперше, в 2009 році, коли тільки заговорили про можливість використання перовскита для сонячної енергетики, було отримано ККД в 3,5%, і елементи були недовговічними, оскільки рідкий електроліт розчиняв перовскіт, і ледь вчені встигали провести заміри, батарея припиняла працювати. Однак, через три роки, рідкий електроліт був замінений на твердий, і елементи стали більш стійкими, а ККД спочатку подвоївся, а потім подвоївся ще раз. Кілька електропровідних шарів-підкладок, на один з яких завдали пігмент, вирішили проблему і відкрили перспективу. Кроки по підвищенню ефективності не припиняються і до цього дня, вчені застосовують в числі іншого і стандартні методи оптимізації, які служили для поліпшення кремнієвих попередників.

Майкл Гретцель впевнений, ККД в 25% призведе до революції в сонячній енергетиці. Професор з Австралії, Мартін Грін, один з піонерів в дослідженнях, стверджує, що бескремніеві батареї настільки прості у виробництві і ефективні в експлуатації, що однозначно є впевненість - майбутнє у сонячних батарей на Перовської світле, адже попередні оцінки вже пророкують колосальне здешевлення - у 7 разів.

Група дослідників з Кореї, під керівництвом Сік Санг Іля, розробила власну формулу, шляхом змішування метіламмонія броміду свинцю з формамідін-йодидом свинцю, вчені домоглися такої структури перовскіту, що встановили рекордний ККД в 17,9%. Використання суміші дозволить друкувати сонячні елементи, і їх вартість ще більше знизиться. Залишається проблема - матеріал розчиняється в воді, до того ж розмір осередків в тестах не перевищував 10 мм, так що дослідження тривають.

Процес виготовлення перовскітових сонячних елементів бачиться дослідникам досить простим. Рідина просто розбризкується на поверхню або наноситься у вигляді пари, що дуже просто реалізувати технологічно. На металеву фольгу або на скло наноситься декілька шарів матеріалів, один з яких - перовскіт. Інші матеріали тут потрібні для того, щоб сприяти переміщенню електронів усередині елемента. Процес виготовлення наближений до ідеалу. Фізик з Оксфордського Університету, Генрі Саянт, що займається розробкою перовскітових осередків в США, впевнений, що шари сонячної панелі будуть наноситися так само легко, як при звичайного фарбування якій-небудь поверхні (рис. 3.6).

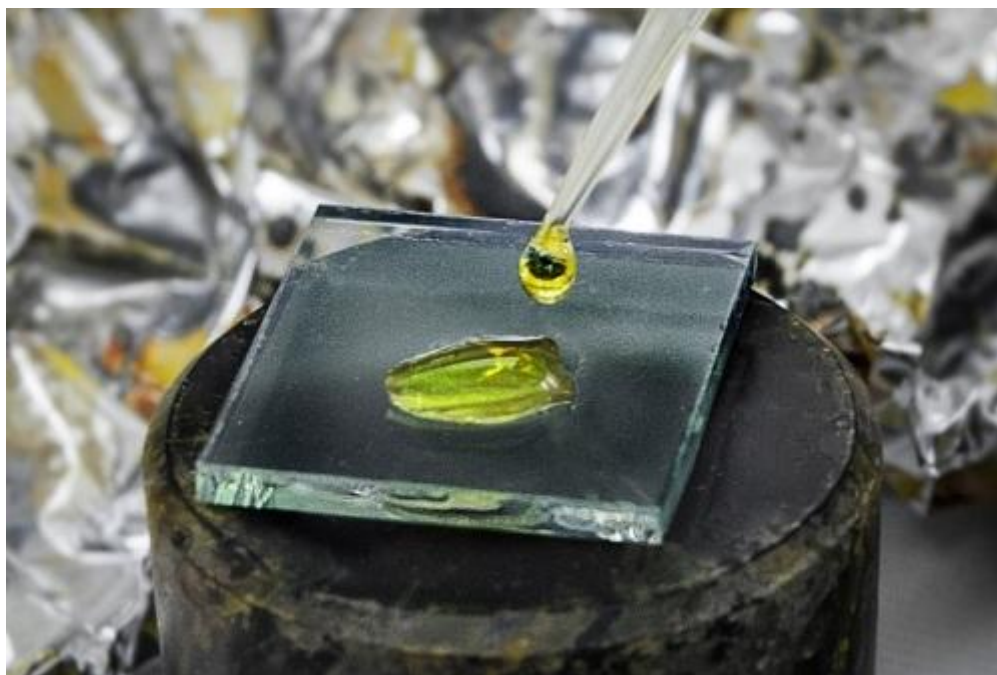


Рисунок 3.6 – Перовскіт у рідкій формі

Незважаючи на перспективи, що відкриваються, вчені розділилися на два табори. Перші ратують за вдосконалення вже стали традиційними, кремнієвих батарей, інші - за створення абсолютно нових, більш ефективних. Так, Мартін Грін вважає, що перовскіт можна застосувати як додаток до кремнієвим батареям, поєднавши кремній з перовскітів, і таким чином знизити

вартість вата одержуваної електроенергії без значних збитків для кремнієвої галузі. Майкл Гретцель - навпаки переконаний, що важливі нові розробки, і витрати на підвищення ефективності нових фотоелементів окупляться багаторазово. Багато компаній вже працюють над комерційним впровадженням продукту, адже незважаючи на те, що можливості перовскіта ще тільки починають усвідомлювати, провідні фахівці в області сонячної енергетики вже спрямували свою увагу в майбутнє.

Незважаючи на оптимізм деяких компаній, досвід показує, що зазвичай необхідно років десять для виходу нової технології з лабораторії на ринок, а за цей час і кремнієві батареї цілком можуть і обігнати перовскіт. Гретцель, до речі, продає ліцензію на нову технологію компаніям, які мають намір йти по традиційним шляхом кремнію. Конкуренція на ринку сонячної енергетики також високий, і кожен новий гравець стикається з нею. Вартість кремнієвих панелей знижується, і на думку деяких аналітиків, вона може знизитися до 25 центів за 1 кВт, що повністю позбавить переваг технологію перовскіта.

Залишається проблемою і наявність в пігменті невеликої кількості свинцю, який токсичний. Мають бути експериментальні дослідження, які виявлять, на скільки токсичним виявляється перовскіт. Варто приділити увагу і утилізації використаних акумуляторів, як це відбувається з стартерний автомобільними акумуляторами. Але в принципі, замість свинцю може бути використано олово або щось подібне. Тим часом, дослідники з Огайо, під керівництвом Лімінг Дай, взялися за електрифікацію електрокарів з допомогою сонячних панелей з перовскіта. Вони розробили найбільш вигідне, ніж це було раніше, поєднання сонячного панелей з акумуляторами електричних автомобілів. Підключивши чотири перовскітових батареї до літєвих акумуляторів, вчені домоглися ККД 7,8% в найбільш ефективної на сьогоднішній день конфігурації, яка перевершила колишні рішення щодо суміщення сонячних батарей з суперконденсаторами і акумуляторами.

Багатошарові панелі дозволили підвищити щільність і стабільність одержуваної від сонця енергії. Тестування засвідчили, що три шари перовскіта

перетворюються при бажанні в одну плівку. При площі одного осередку не більше 10 мм, дослідники добилися ККД 12,65% від перетворювача розміром з монету, однак з урахуванням перетворення і зберігання енергії, ККД склав 7,8% в циклічному режимі. Такі системи, на думку розробників, зможуть в майбутньому не просто заряджати електрокари, але і будуть встановлені у вигляді гнучкої плівки на кузовах. Технологія представляється ідеальною для електромобілів.

Примітна здатність перовскіта до надвипромінювання. Вчений з Кембриджського університету, Фелікс Дешлер, виявив, що перовскіт має унікальну властивість. Коли на матеріал потрапляє світло, енергія фотонів не просто перетворюється в електроенергію, частина заряду назад перетворюється в фотони. Якщо панель зможе повторно використовувати ці фотони, то збирається енергії стане ще більше. Група Дешлер провела експеримент, в якому сконцентрувала промінь лазера на зрізі перовскіта товщиною в 0,5 мікрона, і світло пере випромінювати в іншому місці зразка. Кремній, наприклад, не має здатності переміщати всередині себе енергію і знову її випускати. Таким чином, перспективи у перовскіта колосальні, і хто знає, може бути не за горами ті часи, коли кожен будинок і кожен автомобіль буде оснащено перовскітовими батареями, оскільки забруднювати навколишнє середовище продуктами спалювання викопного палива стане вже економічно не вигідно і не доцільно.

3.3 Сонячні панелі компанії Insolight

До 2022 року на ринку сонячної енергетики з'являться доступні за ціною дахові сонячні панелі з рекордним рівнем перетворення сонячного світла в електрику - 29%. Такий показник ефективності буде досягнуто за рахунок тих, хто прийшов з космічної галузі матеріалу і концентрують сонячне світло лінз. Швейцарська компанія Insolight вже працює над комерційною реалізацією з

мінімізації виробничих витрат нової технології двомірного оптичного мікротрекінга.

Два роки тому Insolight встановила рекорд конверсії сонячного світла в електрику в сонячних панелях, добившись в лабораторних умовах ККД 36%. При стандартизації для масового виробництва цей показник довелося знизити до 29%, але і це значно більш висока продуктивність в порівнянні від 17% до 19%, яку пропонують конкуренти, що випускають стандартні кремнієві сонячні панелі. Очікується, що різниця між лабораторною і комерційною продуктивністю буде усунена пізніше, якщо панелі з ККД в 29% вийде випускати з планової низькою собівартістю. Космічні сонячні панелі, взяті за основу компанією Insolight, мають багатоперехідних структуру, в якій поєднані кілька шарів арсеніду галію (більш стійкого до космічної радіації), фосфіду індію-галію і германію. Така комбінація дозволяє зібрати більше енергії сонячного спектра з одиниці площі.

У космосі сонячні панелі майже на 100% покриті прямокутними фотоелементами для оптимального збору сонячної енергії. У земних стандартних панелях фотоелементи покривають близько 90% поверхні, а в панелях Insolight і того менше, але працюють вони більш ефективно завдяки лінз, які концентрують широкий спектр світла на невеликих елементах. Завдяки оптичній концентрації менше 0,5% всієї поверхні необхідно покрити осередками для досягнення оптимальної продуктивності. Це дозволяє використовувати технології високоефективних космічних сонячних елементів для масового ринку. Insolight пояснює, що захисне скло панелі містить сітку з лінз, які концентрують світло в кілька сотень разів (рис. 3.7).

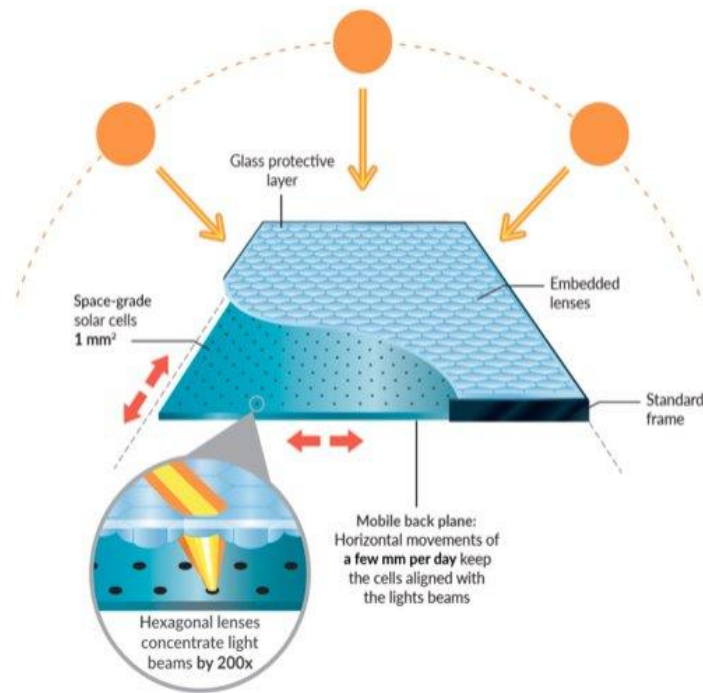


Рисунок 3.7 – Структура сонячної панелі компанії Insolight

Це досягнення і так є досить багатообіцяючим - без подальшої модернізації. Але в Insolight також розробили масив фотоелементів, здатний щодня переміщатися по горизонталі на кілька міліметрів для відстеження сонця. Система з мікротрекінгом укладена в тонкий модуль, схожий на стандартні сонячні панелі, який захищає механічні частини. У компанії говорять, що новинка має той же форм-фактор і зовнішній вигляд, що і стандартні панелі, і її можна легко встановлювати в традиційних галузевих конфігураціях, на дахах будівель або на землі. Модулі Insolight вже були протестовані в реальних умовах протягом цілого року на пілотній установці в Швейцарському технологічному інституті в Лозанні (EPFL) і успішно витримали теплові перепади, зимові морози і шторми.

Щоб прискорити вихід на ринок, Insolight зараз обговорює з декількома виробниками сонячних батарей питання ліцензування своєї технології. У минулому році компанія оголосила про успішне раунді початкового фінансування за рахунок інвестицій.

3.4 Сонячні трекери

Сонячний трекер - це система, призначена для орієнтації на Сонце робочих поверхонь систем генеруючих електрику, або систем, що концентрують теплову енергію, встановлених на трекері.

Точна орієнтація робочих поверхонь систем на Сонце необхідна для досягнення їх максимальної продуктивності. При цьому завдання трекера - зменшити кут падіння сонця на робочу поверхню сонячних панелей (PV-модулів, CPV-концентрованих фотоелектричних модулів, CSP систем, параболічних відбивачів і ін.) (рис. 3.8).

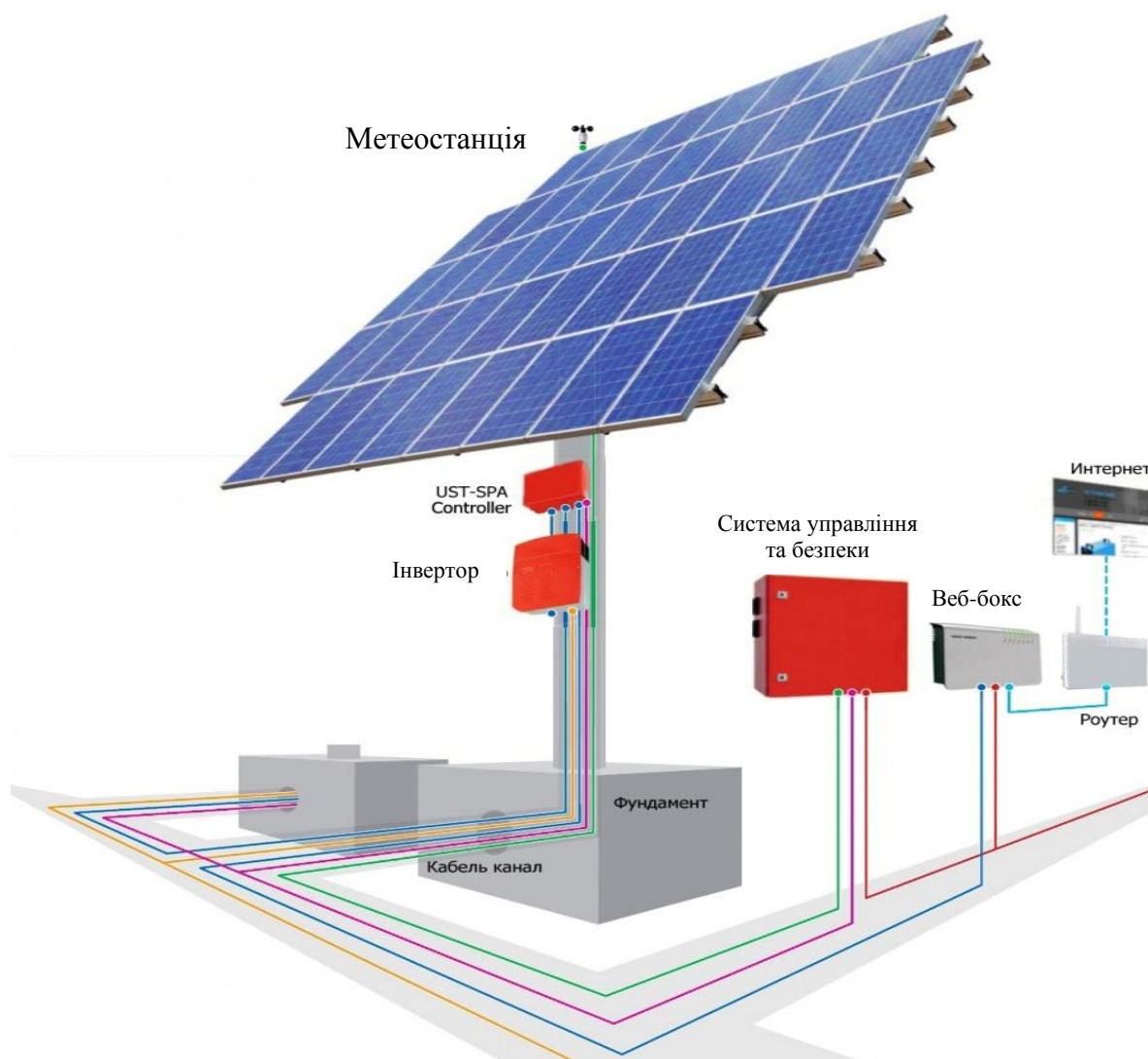


Рисунок 3.8 – Склад сонячного трекера

Сонячний трекер в повній комплектації складається з:

а) несучої конструкції, що складається з фіксованої і рухомої частин, рухома частина має одну або дві осі обертання (Рис. 3.8);

б) системи орієнтації (позиціонування) рухомої частини трекера, що складається з актуаторів та пристроїв управління ними;

в) системи безпеки, що включає в себе:

1) захист від блискавки,

2) захист від перевантажень,

3) метеостанцію, призначену для попередження системи про ураган, град, сніг, полою, несприятливих погодних умовах. Аналізуючи дані метеостанції, система переорієнтує трекер в положення, при якому несприятливі фактори будуть мінімізовані в період їх дії, а робочі поверхні захищені від руйнування або псування.

г) стабілізатори;

д) системи управління і інтерфейс, призначені для налаштування, контролю і обслуговування енергосистеми;

е) системи віддаленого доступу - для віддаленого моніторингу та управління системою;

ж) система навігації - для визначення географічного положення системи, висоти над рівнем моря (для трекерів на мобільній базі). На стаціонарних трекерах навігація не обов'язкова. Установчі значення широти, довготи, висоти над рівнем моря місця, де ставиться трекер, вводяться постачальником при монтажі системи.

з) інвертор – перетворює постійний струм, що надходить від корисного навантаження трекера (PV-модулів і ін.) в перемінний 220 В (110 В) і передає його споживачеві або на приймаючу станцію, одночасно. Кількість інверторів на трекері може бути від одного до трьох. Інвертори виконуються в захищеному варіанті (польовий) або ж в корпусі, що встановлюється в приміщенні. Схеми підключення інверторів в системі можуть бути різними.

Необхідність повної комплектації трекера не завжди економічно доцільна, залежить від виду трекера, призначення, та інших факторів, тому в практиці часто багато зазначені вище складові елементи трекера відсутні.

3.4.1 Спрощення конструкції системи орієнтації сонячних батарей. Ідея спрощення конструкції системи орієнтації сонячних батарей полягає у тому, щоб використовувати готовий блок орієнтації супутникової антеною, так званий мотопідвіс (рис. 3.9). Користувачеві залишається лише прикріпити блок сонячних батарей до мотопідвіси, і за рівнем сигналу, що знімається з датчиків сонячної батареї, блок електроніки зорієнтує антену точно на сонці.

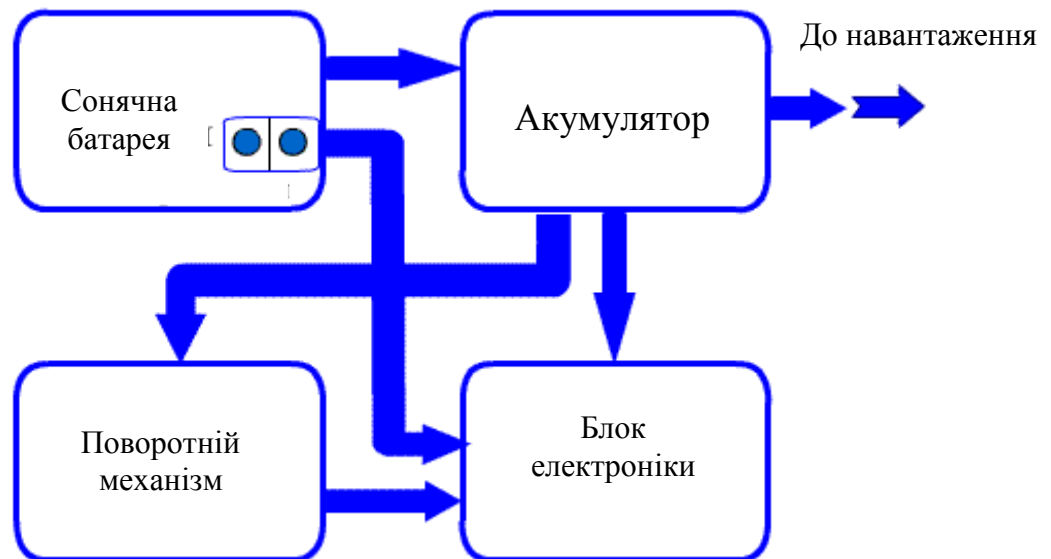


Рисунок 3.9 – Структурна схема, пояснююча роботу схеми

Мотопідвіс призначений для відстеження супутників, що знаходяться на геостаціонарній орбіті (при повороті він не тільки обертає батарею, але і нахиляє її, в результаті чого батарея буде орієнтована точно на сонці. Сигнал для повороту формується двома фотодіодами, розташованими на сонячній батареї і орієнтованими на дугу з кутом між собою в 30 градусів. Живлення схеми в початковий момент необхідно з резервного джерела живлення (рис. 3.10).

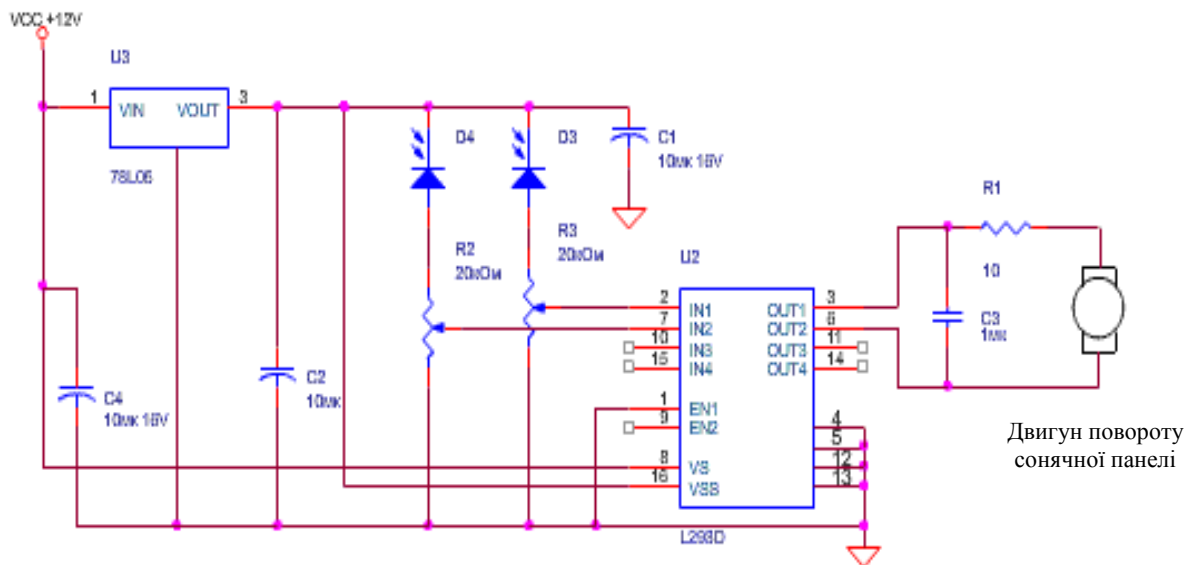


Рисунок 3.10 – Принципова схема системи орієнтації сонячної батареї

Розглянемо детально процес орієнтування. Допустимо батарея знаходиться в проміжному положенні між заходом і сходом. Зі сходом сонця на сході лівий фотодіод висвітлюється сильніше правого, в результаті чого на IN1 формується логічна одиниця і батарея повертається на схід до освітлення 2-го фотодіода і появи одиниці на IN2, після чого мотор мотопідвісу зупиняється. Потім, у міру просування сонця на захід правий фотодіод висвітлюється сильніше, що призводить до появи одиниці вже на IN2 і мотор включається в іншому напрямку. Батарея хіба що наздоганяє сонце. Змінні резистори служать для підстроювання чутливості системи орієнтації. Резистор R1 служить для обмеження струму колектора мотора під час пуску. Конденсатор C3 - керамічний, служить для фільтрації перешкод іскріння щіток.

3.4.2 Розрахунки енергосистем з сонячними трекерами. Розрахунки, наведені нижче показують різницю використання енергосистем на сонячних батареях, розташованих на зафіксованій основі з енергосистемами, до складу яких входять сонячні трекери-системи орієнтації на сонці сонячних батарей.

Кути нахилу сонця залежать від місця розташування сонячної батареї. Для прикладу наведемо розрахунки втрат фіксованої системи, розташованої в м. Пенза, Росія.

Розрахунок втрат фіксованої енергосистеми на сонячних батареях (м. Пенза) враховує тільки кут нахилу сонця до сонячній батареї (втрати пов'язані з рухом сонця).

53° ПШ та 45° СД.

Рік – 365 днів, 8750 годин.

Кількість світлих годин на рік 4503,83.

Таблиця 3.1 - Розрахунок втрат при русі сонця з північного сходу і північного заходу

1	2	3
Кількість годин у році сходу з північного сходу	435,17	4,97%
Кількість днів у році сходу з північного сходу	188	51,51%
Кількість годин у році заходу з північного заходу	438	5,00%
Кількість днів у році заходу з північного заходу	188	51,51%

Разом годин на рік - 873,17 (9,97%).

Таблиця 3.2 - Втрати вироблення сонячних панелей в залежності від кута нахилу сонця до панелі

Кут падіння сонячних променів	Втрати (%)
Мертва зона – більш ніж 50°	100
Зона від 45° до 50°	38,5
Зона від 40° до 45°	23,5
Зона від 35° до 40°	16,5
Зона від 30° до 35°	12,5
Зона від 25° до 30°	9,5
Зона від 20° до 25°	6,8
Зона від 15° до 20°	4,7
Зона від 10° до 15°	2,5
Зона від 5° до 10°	0,9
Зона від 0° до 5°	0,2

Таблиця 3.3 - Розрахунок втрат по зонам руху сонця зі сходу на захід

Кут падіння сонячних променів	Втрати у зоні	Довжина 2-х зон (градусів)	% зони у році	% втрат
1	2	3	4	5
Мертва зона – більш ніж 50°	100	80,00	44,44	44,44
Зона від 45° до 50	38,5	10,00	5,56	2,14
Зона від 40° до 45°	23,5	10,00	5,56	1,31

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5
Зона від 35° до 40	16,5	10,00	5,56	0,92
Зона від 30° до 35°	12,5	10,00	5,56	0,69
Зона від 25° до 30°	9,5	10,00	5,56	0,53
Зона від 20° до 25°	6,8	10,00	5,56	0,38
Зона від 15° до 20°	4,7	10,00	5,56	0,26
Зона від 10° до 15°	2,5	10,00	5,56	0,14
Зона від 5° до 10°	0,9	10,00	5,56	0,05
Зона від 0° до 5°	0,2	10,00	5,56	0,01
Усього				50,87

Фіксована система встановлюється під кутом 53 градуса до горизонту. Виходячи їх цього вважаються втрати по zenіту. Траекторія руху сонця по zenіту від 0° до 90° розбивається на зони.

Таблиця 3.4 – Розрахунок втрат по zenіту за рік

Кут падіння сонячних променів	Втрати у зоні	Довжина зон (градусів)	% зони у році	% втрат
Зона від 30° до 35°	12,5	10,00	5,56	0,69
Зона від 25° до 30°	9,5	10,00	5,56	0,53
Зона від 20° до 25°	6,8	10,00	5,56	0,38
Зона від 15° до 20°	4,7	10,00	5,56	0,26
Зона від 10° до 15°	2,5	10,00	5,56	0,14
Зона від 5° до 10°	0,9	10,00	5,56	0,05
Зона від 0° до 5°	0,2	10,00	5,56	0,01
Зона від 45° до 50°	38,5	5,00	2,78	1,07
Зона від 40° до 45°	23,5	5,00	2,78	0,65
Зона від 35° до 40°	16,5	5,00	2,78	0,46
Мертва зона – більш ніж 50°	100,0	5,00	2,78	2,78
Усього				7,02

Разом: загальні річні втрати фіксованої системи на широті 53° ПШ та 45° СД, пов'язані з кутом нахилу сонця складають 67,84%.

З огляду на те, що втрат, що залежать від кута нахилу сонця при використанні сонячного трекера не може бути, тому що сонце завжди буде направлено перпендикулярно площині сонячної панелі, можна зробити висновок про більшу вироблену енергію енергосистеми з використанням сонячного трекера в порівнянні з фіксованою енергосистемою, при однаковому числі сонячних панелей, на суму розрахованих втрат.

З розрахунків видно, що ефективність використання сонячних трекерів з ростом широти підвищується. Що ж до нашого прикладу, видно, що для побудови енергосистеми на сонячних батареях з використанням сонячних трекерів необхідно придбати менше панелей і додаткового інвертора до них в порівнянні з фіксованими системами.

В даному розрахунку не враховано відбите і розсіяне сонячні випромінювання, які дають надбавку від 5% до 10% фіксованим системам. У різні пори року цей параметр відрізняється. Взимку наприклад відбиті від снігу сонячні промені дають значну прибавку до вироблення, понад 10%. Таким чином, з урахуванням розсіяного, відбитого сонячного випромінювання, використання трекера в системах дасть приріст вироблення електроенергії на 57,84% у рік.

4 ДВОСТОРОННІ СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ

4.1 Структура та особливості конструкції

Двосторонні сонячні батареї - це знахідка сучасних розробників для використання всього потенціалу альтернативних джерел енергії (рис. 4.1). Особливо популярними в останні пару років вони стали в Китаї. Зокрема, двосторонні сонячні панелі дозволяють отримати більше енергії від, здавалося б, стандартного розміру батарей. Однак навіть використання обох сторін двосторонніх сонячних елементів поки не підвищує продуктивність до максимальних 100%. Згідно з дослідженнями, завдяки використанню обох сторін сонячної панелі може вироблятися на 30% більше енергії.

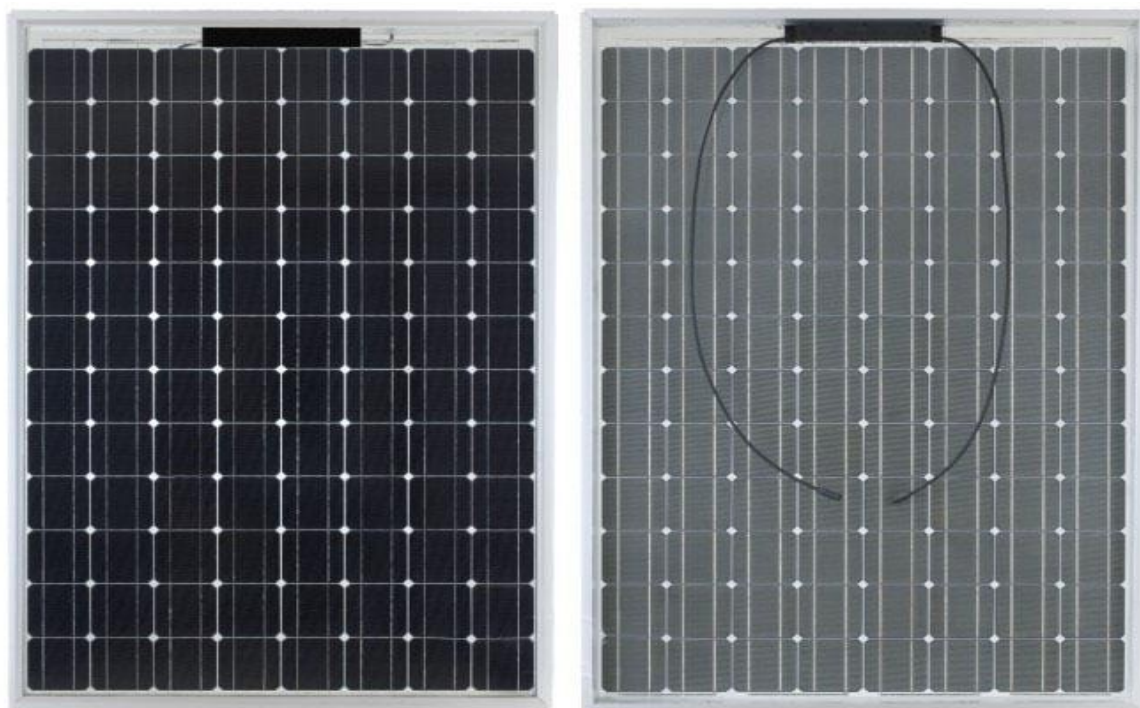


Рисунок 4.1 – Лицьова та тильна сторони двосторонньої сонячної панелі

Особливість двосторонньої сонячної панелі полягає в тому, що, на відміну від стандартних батарей з алюмінієвої основою, алюміній знизу забирається. Це дає можливість відкрити напівпровідниковий матеріал, який, в свою чергу, продукує енергію від падаючого з обох сторін світла. Такі двосторонні сонячні елементи коштують дорожче. На сьогоднішній день розробники шукають варіанти здешевлення конструкції і вихідних матеріалів.

На початковому етапі використання двосторонні сонячні панелі збільшували продуктивність тільки на 10%. Відбувалося це за рахунок відбиття світла від землі і напрямки його на нижню частину батареї. Підвищити ефективність панелей взялися вчені з Дослідницького інституту сонячної енергії Сінгапуру. Вони співпрацювали з фахівцями Національного університету Сінгапуру і Міжнародного дослідницького центру сонячної енергії Konstanz в Німеччині.

Розробники втілили в життя інноваційні панелі з використанням двостороннього модуля, які працюють набагато довше звичайних. Крім того, зросла і вироблення енергії. Система поглинає світло лицьовій і тильній сторонами. Ефективність таких елементів досягає значень, які вище від 22% до 30% , ніж при стандартній виробленні енергії від односторонніх панелей. Панель покрита подвійним ізолюючим склом, завдяки чому термін експлуатації батарей зростає до 30 років (рис. 4.2).

Структура прозорою двосторонньої сонячної панелі:

- високою проникної здатності загартоване листове скло;
- лист поліетиленвінілбутіраль (PVB);
- двосторонні сонячні осередки;
- лист поліетиленвінілбутіраль (PVB);
- високою проникної здатності загартоване листове скло;
- спеціальна вбудована в каркас трьохдіодна клемна коробка.

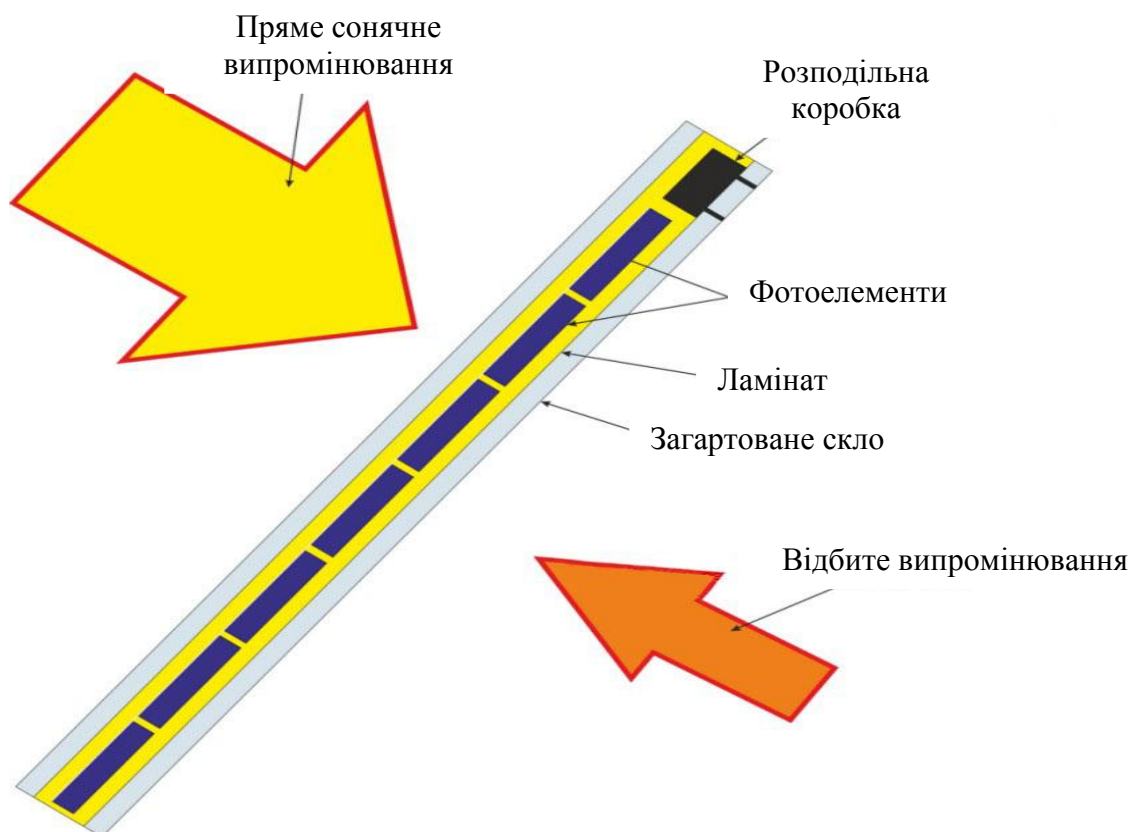


Рисунок 4.2 - Конструкція двосторонньої сонячної батареї

4.2 Особливості експлуатації та монтажу

Деякі фотоелектричні системи спроектовані таким чином, що застосування таких сонячних панелей може принести відчутну вигоду (рис. 4.3).

Іноді за конструктивними причинами сонячні батареї встановлюються у горизонтальному положенні, наприклад, у вигляді огорожі. У такому випадку використання двосторонніх сонячних елементів може підвищити ефективність вироблення енергії до 50% (рис. 4.4).

Збільшення вироблення електроенергії відбувається за рахунок:

- відображення частини сонячної енергії на лицьову та тильну сторони батареї;
- потрапляння прямих сонячних променів на обидві сторони панелі в різний час дня.

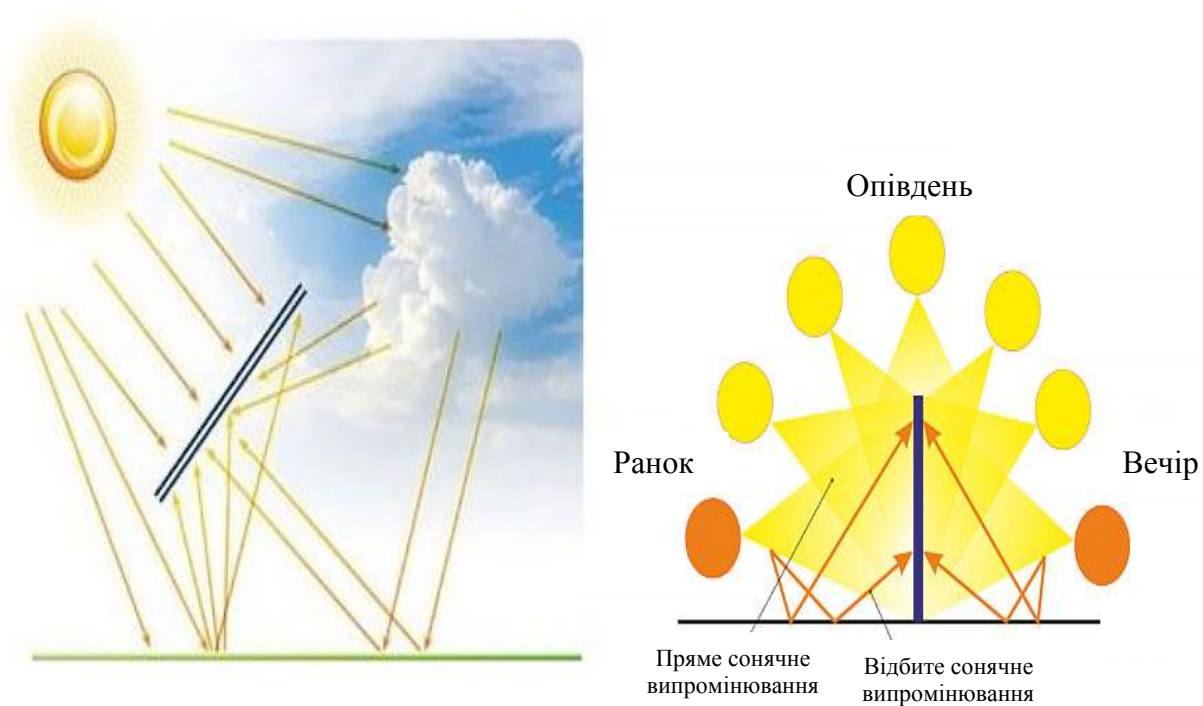


Рисунок 4.3 - Поглинання енергії при похилому та вертикальному монтажі

Таке застосування двосторонніх сонячних батарей є найбільш ефективним.



Рисунок 4.4 - Використання двосторонніх сонячних панелей в якості балконного огороження

Двосторонні сонячні панелі так само можуть бути застосовані в якості фасаду будівлі. Завдяки прозорій структурі частина енергії, яка потрапляє в приміщення може відобразитися на тильну сторону сонячної батареї. Так само внутрішнє освітлення, потрапляючи на панель в темний час доби, може перетворюватися в фотоелектричної системі. Даний варіант застосування двосторонніх сонячних панелей менш ефективний і здатний досягти збільшення у виробленні електроенергії до 25%. Це метод можна застосовувати до великих торгових центрів з фасадною частиною орієнтованою на південь (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 - Варіант фасадного використання двосторонніх сонячних панелей

Застосування двосторонніх сонячних батарей в побутовому секторі при класичному монтажі є малоефективним. При монтажі на похилу покрівлю відображення енергії на тильну сторону практично немає. При установці таких панелей на плоский дах можна підняти їх ефективність від 10% до 30% пофарбувавши дах в білий колір. Так само двосторонні сонячні батареї в схемі фотоелектричної установки ускладнюють роботу інвертора.

Застосування двосторонніх сонячних панелей в північних районах з різко континентальним кліматом (багато сонячних днів взимку) показало їх високу ефективність в таких погодних умовах. Дуже високі показники отримали виробники при випробуванні двосторонніх сонячних батарей в умовах високогір'я, на льодовиках.

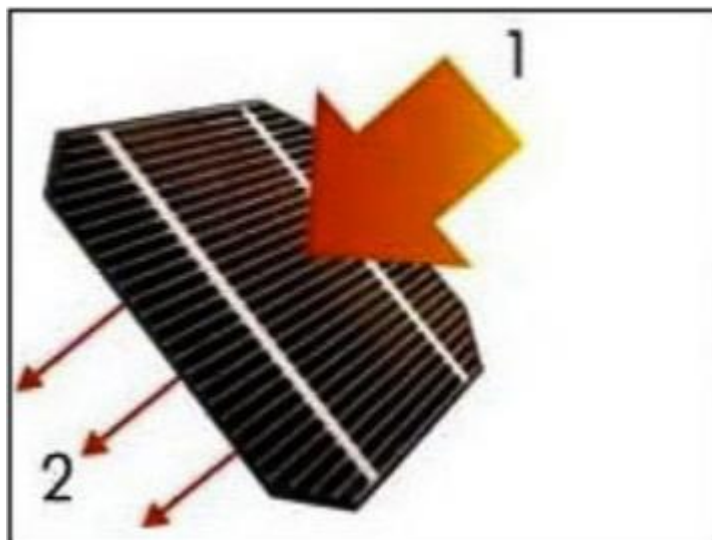
Сонячні елементи можуть бути встановлені на протишумових бар'єрах, розташованих уздовж доріг і залізничних колій (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 - Двосторонні сонячні батареї, встановлені на протишумових бар'єрах

За рахунок вертикального положення таких бар'єрів установка сонячних батарей на них вимагає менше місця, ніж звична установка їх у напрямку на південь, при якій, крім того, необхідно мати у своєму розпорядженні конструкцію під певним кутом.

У разі, коли двосторонні сонячні елементи встановлені вертикально, вони повинні бути спрямовані з півночі на південь (рис. 4.7). Якщо вони розташовані таким чином, то вони будуть виробляти майже таку ж енергію, як при установці в південному напрямку.



1-сонячне світло

2-інфрачервоні промені

Рисунок 4.7 - Проникність двостороннього фотоелемента для ІЧ-променів

За час використання двосторонніх сонячних панелей у космосі було доведено, що двосторонні сонячні елементи поглинають менше інфрачервоних променів, що веде до зниження робочих температур і, як наслідок, до кращого функціонування сонячного елемента. Було зафіксовано збільшення ефективності на 10-30% в порівнянні з односторонніми сонячними елементами.

4.3 Дослідження компанії Next2Sun

Сонячні панелі - «зелений» джерело енергії, який займає багато місця. Земель, «яких не шкода», і де можна сміливо розміщувати сонячні панелі, обмежена кількість, а відводити родючі ґрунти або інші землі сільського

господарства для отримання, нехай і «зеленої», енергії не всі вважають правильним.

Є пропозиції розміщувати сонячні панелі на висоті до 5 метрів від землі, щоб під ними можна було б щось вирощувати або випасати худобу, але великі масиви панелей, що покривають тінню все, що під ними - теж не завжди ефективне рішення. «Примирити сільське господарство і сонячну енергетику» зголосилася компанія з Німеччини Next2Sun. Вона пропонує встановлювати двосторонні сонячні панелі з орієнтацією «схід - захід». Компанія розробила систему кріплення і встановила 28-кіловатний експериментальну сонячну електростанцію в Мерциг в Саарланді. Для розробників важливо те, що профіль вироблення електроенергії значно змінюється: замість яскраво вираженого піку опівдні у сонячних електростанцій з орієнтацією на південь, у новій електростанції яскраво виражені піки припадають на ранок і другу половину дня (рис. 4.8).

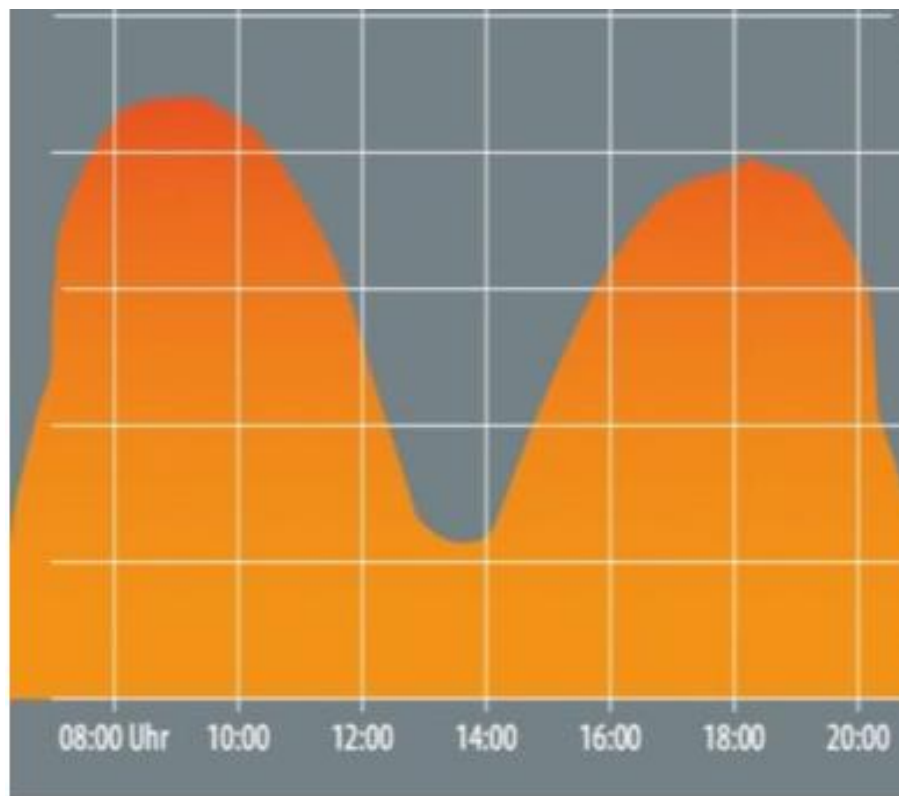


Рисунок 4.8 – Графік продуктивності сонячних панелей протягом дня

«Це дозволяє нам отримувати більш високі доходи на ринку електроенергії, оскільки ми подаємо електроенергію в мережу не тоді, коли працюють всі інші сонячні електростанції», - зазначають представники Next2Sun. Тим самим доходи від прямого продажу сонячної електроенергії підвищуються від 5% до 15% в порівнянні з електростанціями південній орієнтації.

Поки що важко оцінити, чи дійсно це призведе до підвищення рентабельності. Варто враховувати, що у вертикальних станцій зовсім інша питома вироблення, інші витрати на оренду землі, на опорну конструкцію і розведення кабелю. Можливо, можуть зменшитися і витрати на підключення до мережі, кажуть в компанії, оскільки мережа не перевантажується, як при роботі сонячних електростанцій всіх інших типів.

Next2Sun розробила власний інструмент для розрахунку вироблення і відкалібрувати його на своєму експериментальному об'єкті. За словами засновників компанії, в 2016 році виробіток склала близько 1030 кВт / год на кіловат-пік на рік, тобто близько 110% від вироблення сонячної електростанції з тією ж потужністю на тому ж місці з орієнтацією на південь. При цьому зазначена потужність двосторонніх сонячних батарей (28 кВт / год) відноситься до чистої потужності їх в сторону. У той же час більш висока продуктивність вимагає і більш високих витрат. Так, опорна конструкція повинна глибше йти в землю і для її монтажу потрібно більше матеріалів, оскільки вона повинна витримувати більш важкі вітрові навантаження (на експериментальному об'єкті опорні конструкції йдуть на 2 метри під землю).

Відстань між рядами також має бути більше, ніж для станцій з південною орієнтацією (що зажадає оренди майже вдвічі більших площ), по-перше, через ефектів затінення, по-друге, для того, щоб можна було використовувати проміжню відстань між ними. Це збільшує і довжину кабелю. Для сонячної електростанції потужністю 2 МВт, без вартості сонячних батарей, витрати на підключення не перевищать 500 євро за кіловат-пік, кажуть в компанії Next2Sun. Вартість опорної конструкції виросте при

цьому на 50 євро в порівнянні з опорною конструкцією класичної станції. Рентабельність вертикальної сонячної станції сильно залежить і від сонячних батарей - не кожна двостороння сонячна батарея є повноцінною двосторонньою. Ефективність зворотнього боку в порівнянні з передньою стороною батареї часто менше (оптимальні показник 90% від ефективності, що впливає і на ціну батарей).

У компанії говорять, що при вартості сонячних батарей в 350 євро за кВт-пік, може бути досягнута прибутковість власного капіталу від 4% до 5%. Але те, що двосторонні сонячні батареї на 20% дорожче, ніж односторонні, призводить до того, що вертикальна електростанція з орієнтацією Схід-Захід і класична сонячна електростанція з орієнтацією на південь, з точки зору прибутковості, приблизно однакові.

4.4 Дослідження компанії Longi Solar

Китайський виробник сонячних елементів Longi Solar представив результати піврічного тестування енергетичного блоку, побудованого спільно з німецьким інститутом TÜV Rheinland. У звіті говориться про можливість збільшення отримання електроенергії на рівні 20% за рахунок двосторонніх монокристалічних модулів з пасивувати емітером заднього контакту (PERC) і сонячних елементів n-типу.

Експериментальний майданчик з вісьмома модулями був встановлений у вересні минулого року в Ченнаї, на південному сході Індії, і на цьому тижні Longi Solar відзвітувала о результатах перших шести місяців тестування.

Інсталяція складається з двох панелей, в кожній з яких поєднані модулі чотирьох типів: односторонній і двосторонній PERC виробництва Longi, а також безрамкові двосторонні модулі n-type і з полікристалічного чорного кремнію (виробник невідомий). Модулі змонтовані на стійці з нахилом в 15 градусів і розташовані на висоті одного метра від землі, на якій під двосторонніми моделями насипаний білий щебінь. Стійки укомплектовані

приладами для вимірювання випромінювання - піранометра; один укріплений на зовнішній стороні і три на зворотній для вимірювання світіння на висоті 1 м, 1.2 м та 1.4 м (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 – Інсталяція сонячних панелей

Звіт показує, що обидва двосторонніх продукту по продуктивності перевершили односторонні: показник ефективності модуля PERC на 19.21% вище, а двостороннього n-type на 20.12% вище, ніж у односторонніх модулів PERC. У той же час, односторонній PERC виявився продуктивніше одностороннього блоку з полікристалічного чорного кремнію на 3.05% за рахунок кращого температурного коефіцієнта і низького випромінювання.

Більш високу продуктивність модуля n-type фахівці Longi Solar пояснюють безрамковий типом його конструкції, тоді як двосторонній PERC має рамку, яка створює побічна затінення на задній стороні. На цій підставі Longi заявляє, що продуктивність двох продуктів в рівних умовах була б однакова, але рамка буде збережена, так як вона забезпечує довший термін

служби продукту, і зазначає, що двосторонній PERC p-type зараз вже коштує дешевше, ніж модулі n-type (рис. 4.10).

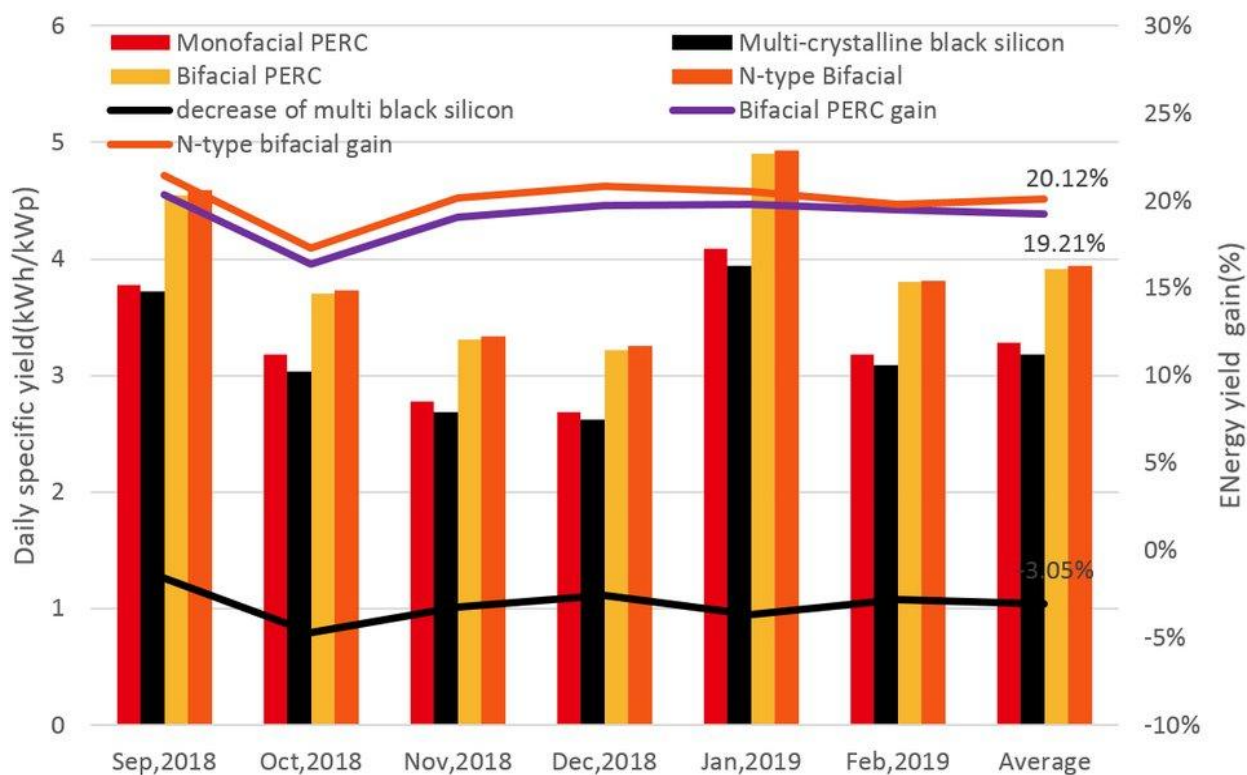


Рисунок 4.10 – Графік продуктивності сонячних панелей різних типів протягом шести місяців

Дані з місяця тестування також показали більш високу продуктивність двосторонніх панелей у дні з більш розсіяним сонячним світлом. Наступний графік ілюструє співвідношення світла з заднього боку опромінення, збільшення вироблення енергії і розсіяного сонячного світла протягом двох тижнів у вересні 2018 року.

Ця інформація стане досить затребуваною, оскільки розробники моделей прибутковості енергетичних проектів давно шукали спосіб підтвердження існуючих і створення нових моделей, здатних точно розрахувати вигоди установки двосторонніх сонячних модулів (рис. 4.11).

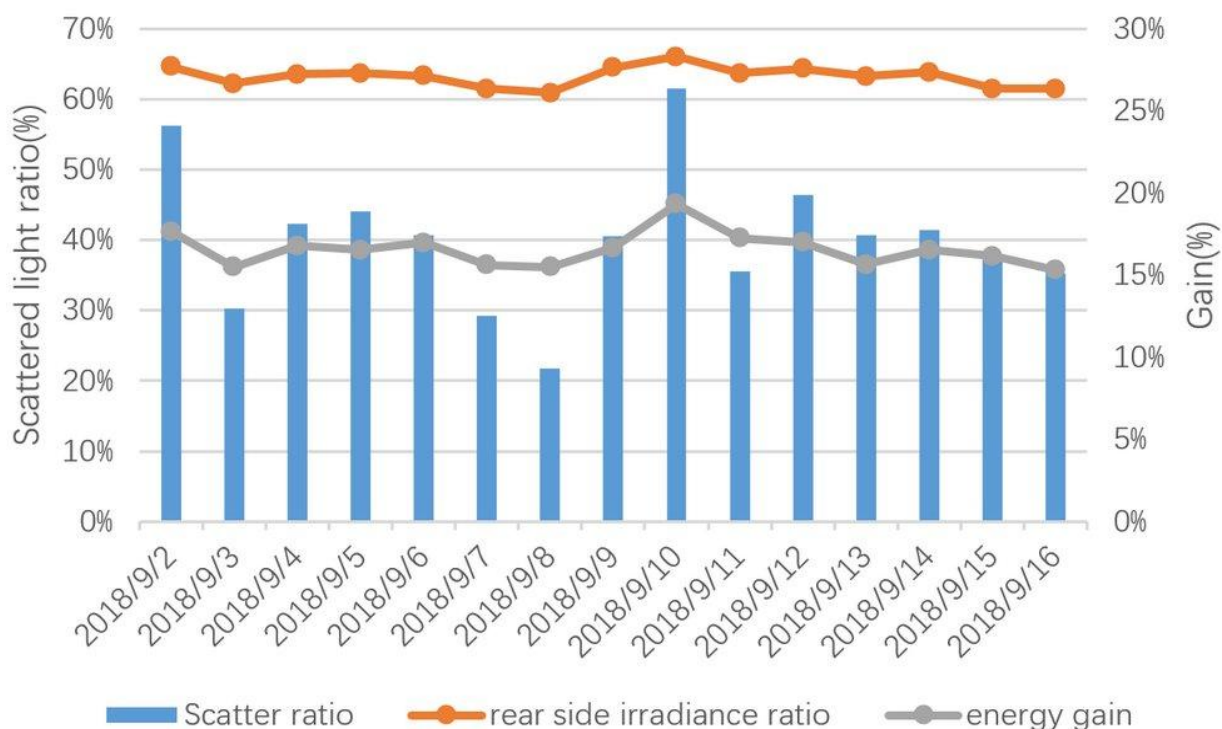


Рисунок 4.11 – Графік співвідношення світла з заднього боку опромінення, збільшення вироблення енергії і розсіяного сонячного світла протягом двох тижнів у вересні 2018 року

Розробка і застосування двосторонніх сонячних елементів почалися ще в ХХ столітті, однак, є ряд перешкод, які стоять на шляху тотального поширення таких систем. Зокрема, одна з проблем – висока собівартість двосторонніх сонячних батарей. При великих масштабах необхідно активно працювати над здешевленням технологій і вдосконаленням відбиваючого механізму.

Але, не дивлячись на усі недоліки двосторонні сонячні панелі є набагато ефективнішими ніж їх односторонні аналоги та заслуговують до себе найбільшої уваги. Коли ціни на такі сонячні батареї знизяться в рази, вони швидко стануть одним з найпопулярніших способів генерації відновлюваної енергії.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі проаналізовані полікристалічні, монокристалічні та інші типи сонячних колекторів. З'ясовано переваги і недоліки зазначених типів сонячних фотоперетворювачів.

Виконано порівняльну характеристику для деяких типів сонячних панелей та способів поліпшення їх продуктивності за такими критеріями: ефективність, середня продуктивність, співвідношення ціна-якість.

Запропоновано варіант спрощеної конструкції системи орієнтації сонячних батарей.

Розраховано втрати фіксованої енергосистеми на сонячних батареях, та проаналізовано за рахунок чого вони взагалі виникають. Зроблено висновок що ефективності використання трекера в системах, виконано оцінку приросту вироблення електроенергії за умови використання трекера (на 57,84% у рік для наведеного випадку).

Визначено переваги та недоліки деяких напрямків поліпшення продуктивності сонячних батарей. Проаналізовані дослідження провідних компаній у розробках та виготовленню сонячних панелей. Результати доводять, що найбільш ефективними та перспективними на даний час є двосторонні сонячні панелі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мхитарян М.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – К.: Наукова думка, 2000. – 420 с.
2. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатом-издат, 1991. – 208 с.
3. Рей Д., Макмайл Д. Солнечные панели. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
4. Справочник по проектированию и монтажу солнечных панелей. Проектная документация компании Buderus. – ВВТ: Thermotechnik, 2005. – 142 с.
5. Системы солнечного электроснабжения / Аvezов Р.Р и др.; под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
6. Большаков В.И., Данишевский В.В., Кушнеров Е.А. Солнечные панели и их установка// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. Трудов. – Днепропетровск: ПГАСиА. – 2010. – Вып.53. – С.85-99.
7. Внутренние устройства освещения (справочник проектировщика). Ч. 1. Освещение / Богословский В.Н., Крупнов Б.А., Сканава А.Н. и др.; под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
8. Хрусталеv Д.А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.
9. Шуткин О.И. Проблемы использования солнца // М.: Независимая газета. – 11 окт. 2011. URL: http://www.ng.ru/energy/2011-10-11/9_sun_energy.html
10. Анастасьева А.А. Потенциал солнечной энергетики // URL: <http://eypok.ru/book/export/html/59> (дата звернення: 15.11.2019).