

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

СОНЯЧНІ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІ НА ОСНОВІ НЕОРГАНІЧНИХ

СПОЛУК

(тема)

Виконав:
здобувач 2 року навчання
групи ЕППМ-23-1

Михайличенко С.Л.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Електронні прилади

та пристрої

(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Галат О.Б.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____

(підпис) (прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Електронні прилади та системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Михайличенко Сергію Леонідовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджена наказом по університету від 06.12.2024 р. № 1283Ст

Тема: Сонячні фотоперетворювачі на основі неорганічних сполук

1. Історія появи сонячних фотоперетворювачів .
2. Вихідні дані до роботи
 - 3.1 Матеріали активних шарів: не органічні напівпровідники, полімерних.
 - 3.2 Переваги та недоліки не органічних та органічних фотоперетворювачів.
 - 3.3 Електричні параметри: сонячних фотоперетворювачів .
4. Розрахунки характеристик та параметрів фотоперетворювача.
5. Сонячні трекери та параметри фотоперетворювача.
 - 5.1. Провести аналіз сучасних технологій (трекерів, гібридних інверторів, акумуляторних батарей.)

5.2. Дослідити фізичні та електричні властивостей, що використовуються у сонячних батареях трекерах актуальність зеленого тарифу та акумуляторних батареях

5.3. Акумуляторні батареї підвищення їхньої ефективності та стійкості до впливу навколишнього середовища та експлуатації.

6. Перелік матеріалу із зазначенням в таблицях, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди:

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	09.12.2024	
2	Огляд інформаційних джерел	12.12.2024	
3	Аналіз інформаційних джерел	14.12.2024	
4	Розглядання методу, конструкції та форми СЕ	17.12.2024	
5	Пояснювальна записка	19.12.2024	
6	Підготовка презентації	21.12.2024	
7	Рецензування, нормо контроль	24.12.2024	
8	Здача роботи на кафедру	05.01.2025	

Дата видачі завдання 09.12.2024 р.

Здобувач _____

(підпис)

Керівник роботи _____ доцент Галат О.Б.

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить : 62 сторінки, 38 рисунків, 15 таблиць, 2 додатки, 16 використаних джерел.

АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ТРЕКЕР, ГІБРИДНИЙ ІНВЕРТОР, ЗЕЛЕНИЙ ТАРИФ, АКУМУЛЯТОР ДЛЯ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Об'єкт дослідження: процес виробництва електроенергії з сонячної енергії, прилади для електростанцій, обґрунтування зеленого тарифу.

Методи дослідження: аналітичні та статистичні методи дослідження.

В роботі зроблено огляд найбільш поширених типів та конструкцій сонячних елементів, трекерів, акумуляторних батарей та проаналізовано їх переваги та недоліки, розглянуто та виконано порівняльний аналіз найбільш поширених матеріалів, що використовують для використання. Виконано моделювання сонячного фотоперетворювача, розраховані характеристики.

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

Мета роботи – знайти та обґрунтувати напрямки поліпшення характеристик та параметрів сонячних фотоперетворювачів, дослідити їх характеристики, зробити вибір структур та конструкцій акумуляторів, інверторів, виконати розрахунок використання зеленого тарифу.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 62 pages, 38 figures, 2 appendix, 16 used sources.

ALTERNATIVE ENERGY SOURCE, SOLAR BATTERY, ENERGY SAVING, TRACKER, HYBRID INVERTER, GREEN TARIFF, BATTERY FOR SOLAR SYSTEM

Object of research: process of electricity production from solar energy, devices for power plants, justification of green tariff.

Research methods: analytical and statistical research methods.

The work reviews the most common types and designs of solar cells, trackers, batteries and analyzes their advantages and disadvantages, considers and performs a comparative analysis of the most common materials used for use. Modeling of a solar photoconverter was performed, characteristics were calculated.

As a result of the work, results were obtained that can be used in the design of solar cells and solar battery orientation systems.

The purpose of the work is to find and substantiate ways to improve the characteristics and parameters of solar photovoltaic cells, to study their characteristics, to select structures and designs of batteries and inverters, and to calculate the use of the green tariff.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	8
ВСТУП	9
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІ	9
1.1 Історія створення сонячних фотоперетворювачів.....	9
1.2 Як працює сонячний фотоперетворювач.....	13
1.3 Технології багатошарових сонячних фотоперетворювачів.....	15
1.4 Переваги сонячних фотоперетворювачів	17
1.5 Недоліки, що притаманні сонячним фотоперетворювачам.....	17
2 РІЗНОВИДИ СОНЯЧНИХ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	19
2.1 Фотоперетворювачі з монокристалічного кремнію.....	19
2.2 Тонкоплівкові фотоперетворювачі.....	21
2.3 Сонячні батареї з аморфного кремнію.....	25
2.4 Арсенід-галієві сонячні батареї	26
2.5 Сонячні батареї на основі телуриду кадмію.....	28
2.6 Сонячні батареї на основі CIGS.....	29
3 ГІБРИДНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ.....	31
3.1 Переваги сонячної електростанції.....	31
3.2 Продуктивність роботи сонячної станції за умовами зеленого тарифу....	33
3.3 Розрахунок окупаємості електростанцій з зеленим тарифом.	34
4 РОЗРАХУНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧА	36
5 СОНЯЧНІ ТРЕКЕРИ.....	42
5.1 Принцип роботи сонячного трекера.....	42
5.2 Розрахунки енергосистем з сонячними трекерами.....	45
6. РІЗНОВИДИ БЛОКІВ АКБ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	49
6.1 AGM GEL Li-ion LiFePO ₄ технологія.....	49
6.2 Переваги Gel акумуляторів	51
6.3 Li-ion акумулятори.....	51

6.4 LiFePO ₄ акумулятори	53
6.5 Позитивні риси акумулятора на основі LiFePO ₄	56
6.6 Недоліки літій-залізо-фосфатних акумуляторів	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	60
ДОДАТОК А.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б	Ошибка! Закладка не определена.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- АС** – змінний струм
- AGM** – Absorbent Glass Mat технологія акумулятора.
- ABP** – автоматичне реле вибору
- CIGS** – напівпровідник, який складається з таких елементів як галій, мідь, індій та селен
- CPS** – кібер-фізична система (Cyber-physical system)
- CPV** – фотоелектричні концентратори (Concentrator Photovoltaics)
- CSP** – концентрована сонячна енергія (Concentrated solar power)
- CE** – сонячний елемент
- CVD** – хімічного відкладення з газової фази (chemical vapor deposition)
- PWP** – Power Width Modulation
- EHTL** – Контактний шар (Electron and Hole Transport Layers)
- IGBT** – Insulated Gate Bipolar Transistor
- LiFePO₄** – акумулятори - Літій-залізофосфатна батарея
- MPPT** – Maximum Power Point Tracking
- SPI – Serial Print Interface**
- PL** – Шар захисту (Protective Layers)
- PVD** – відкладення з пари (physical vapor deposition);
- V** – фотоелектрики (Photovoltaics)
- АКБ** – акумуляторна батарея
- ЦОС** – цифрова обробка сигналів
- ТЕС** – теплова електростанція
- ПК** – кишеньковий персональний комп'ютер
- ККД** – коефіцієнт корисної дії
- ЛЕП** – лінія електропередачі
- НП** – напівпровідник р-п перехід – область дотику двох НП з різними типами провідностей.

ВСТУП

Альтернативне джерело енергії – це варіант отримання енергії з відновлюваних, тобто невичерпних енергетичних ресурсів. Ідея отримання такої енергії є у використанні ресурсів, що постійно відновлюються. Наприклад це дерева, які час від часу дають семна, що засіюють вільні площі, проростають та дають нові дерева. Приливи на морі відбуваються регулярно, оскільки Місяць рухається навколо Землі. Тепло надр Землі має дуже велику потужність, яка буде генеруватись багато мільйонів років практично без особливих змін.

На сьогодні найбільш розповсюдженою та вигідною альтернативою традиційним джерелам пального можна рахувати вітрові та сонячні електростанції.

Вітрові електростанції на сьогодні досить складні, коштовні та складні за обслуговуванням системи. На відміну від них сонячні батареї з комплектом відповідного обладнання увійшли у побутове споживання більше 10 років тому.

Завдяки поступовому зниженні вартості таких систем вони переходять у категорію загальнодоступних. Термін експлуатації сонячних електростанцій на сьогодні досягає 20...25 років, що дає можливість казати про досить високу надійність та придатність до роботи в умовах маленьких населених пунктів, де обслуговування повинно бути мінімальним.

Важливим є і те, що сонячні електростанції користуються підтримкою держави та можуть використовувати пільги так званого «зеленого тарифу». Це означає, що затрати на придбання сонячної електростанції за умови її тривалої експлуатації можуть частково або повністю бути відшкодовані. Але для цього треба ретельно порахувати всі втрати та варіанти їх компенсації, вибрати найбільш оптимальний варіант.

У даній роботі були поставлені такі завдання:

– розробка, комп’ютерне моделювання структур багат шарових сонячних елементів з метою збільшення їх ефективності та забезпечення тривалої роботи в умовах дії агресивних факторів навколишнього середовища;

– експериментальне (комп’ютерний варіант) та практичне дослідження запропонованих зразків сонячних фотоперетворювачів, інших елементів електростанції, порівняння параметрів та характеристик з відповідними приладами, що наявні.

Отримані результати можливо використати для рекомендацій як покупцям, так і виробникам сонячних панелей, устаткування. Це дасть можливість створювати більш ефективні та зручні у експлуатації сонячні електростанції.

Мета роботи – знайти та обґрунтувати напрямки поліпшення характеристик та параметрів сонячних фотоперетворювачів, дослідити їх характеристики, зробити вибір структур та конструкцій акумуляторів, інверторів, виконати розрахунок використання зеленого тарифу.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІ

1.1 Історія створення сонячних фотоперетворювачів

Як ми всі знаємо, та як це що історично створювалось, що всі сонячні фотоперетворювачі – це прогрес у житті та розвитку суспільства. Людство намагалось використати всю енергію Сонця та заставити працювати цю енергію на себе. У світі почали з'явилися сонячні колектори – це сонячні електростанції, в яких струм вироблявся від температури нагріву у сто градусів під час сонячного освітлення (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Сонячна термальна електростанція в іспанському місті Севілья

Зародження таких сонячних елементів датується 19 століттям, але технологія і виробництво сонячних елементів розвивалися дуже швидко і стрімко [1]. Перші кроки можна побачити в 1839 році, коли Антуан-Сезар Беккерель представив хімічний перетворювач, який генерував електричний струм під впливом

сонця. Ефективність цього сонячного елемента була дуже низькою - лише 1,5%. Іншими словами, лише 1% сонячної енергії можна було перетворити на електричний струм.

1873 року Віллоубі Сміт перевіряв чутливість селену до сонця, а через три роки Адамс і Дей довели, що селен виробляє енергію під впливом сонячного світла.

Минуло ще два роки, і в 1880 році Чарльз Фріц винайшов позолочений селен - відкриття, яке лягло в основу сонячних елементів з ефективністю 2%. Однак Фріц пішов іншим шляхом і здійснив революцію в галузі сонячних елементів, винайшовши свій власний. Він скористався можливістю протестувати і використати цю безкоштовну сонячну енергію і передбачив, що його сонячні елементи незабаром замінять всі існуючі електростанції. Однак так не сталося.

Історія говорить нам, що всі дослідження, проведені в галузі альтернативних джерел в 20-му столітті, відкрили і надали вченим такі необхідні знання. Якщо зазирнути в історію, то перший кремнієвий сонячний елемент був винайдений і застосований Гордоном Пірсоном, Дерілом Чапіном і Келом Фуллером у 1954 році. Пізніше їх ефективність була збільшена до 14%. Сонячні елементи спочатку використовувалися для живлення віддалених районів, міст і систем зв'язку.

Сонячні батареї успішно випробовувалися протягом багатьох років. Сонячна енергія стала більш важливою і корисною для споживачів у всьому світі, ніж будь-яке традиційне джерело енергії, і ці ефективні показники стимулювали процес вдосконалення. На сьогоднішній день кількість встановлених фотоелектричних систем є найбільшою у світі у порівнянні з іншими. Всі ці зусилля були спрямовані на забезпечення електроенергією віддалених і важкодоступних районів, де її важко отримати енергію. Наразі ці сонячні панелі використовуються лише для генерації від 4% до 6% від загального обсягу електроенергії, але прогрес не зупиняється.

1.2 Як працює сонячний фотоперетворювач

У цьому підрозділі ми розглянемо, що основним і базовим типом сонячного елемента є багатошаровий сонячний елемент, виготовлений з шарів різних напівпровідникових матеріалів. Кожен шар має своє застосування в процесі поглинання і передачі фотонів, підвищуючи ефективність використання сонячної енергії в різних сферах застосування по всьому світу.

В даний час існує кілька типів багатошарових сонячних елементів, включаючи органічно-неорганічні сонячні елементи, тонкоплівкові сонячні елементи, гібридні сонячні елементи і проникаючі сонячні елементи. Як відомо, всі ці типи мають свої переваги та обмеження, які визначають їх застосовність до різних фактів нашого життя та різних застосувань у світі. На рисунку (рис. 1.2) показана структура і основа одного з варіантів неорганічного плівкового сонячного елемента.

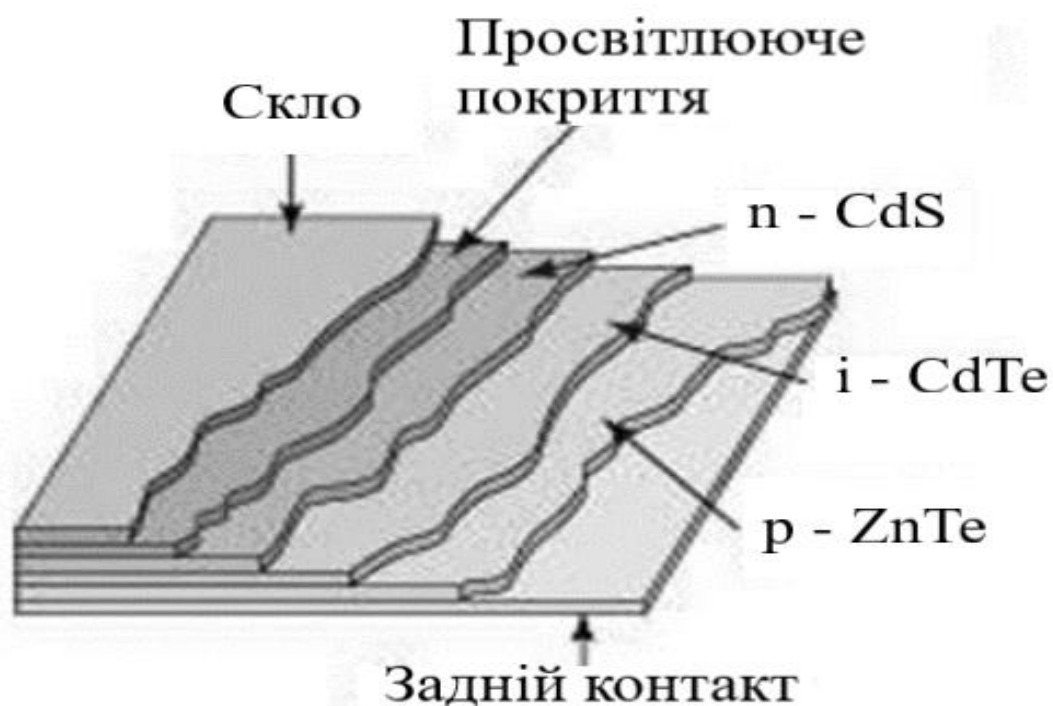


Рисунок 1.2 – Структура неорганічного плівкового елемента

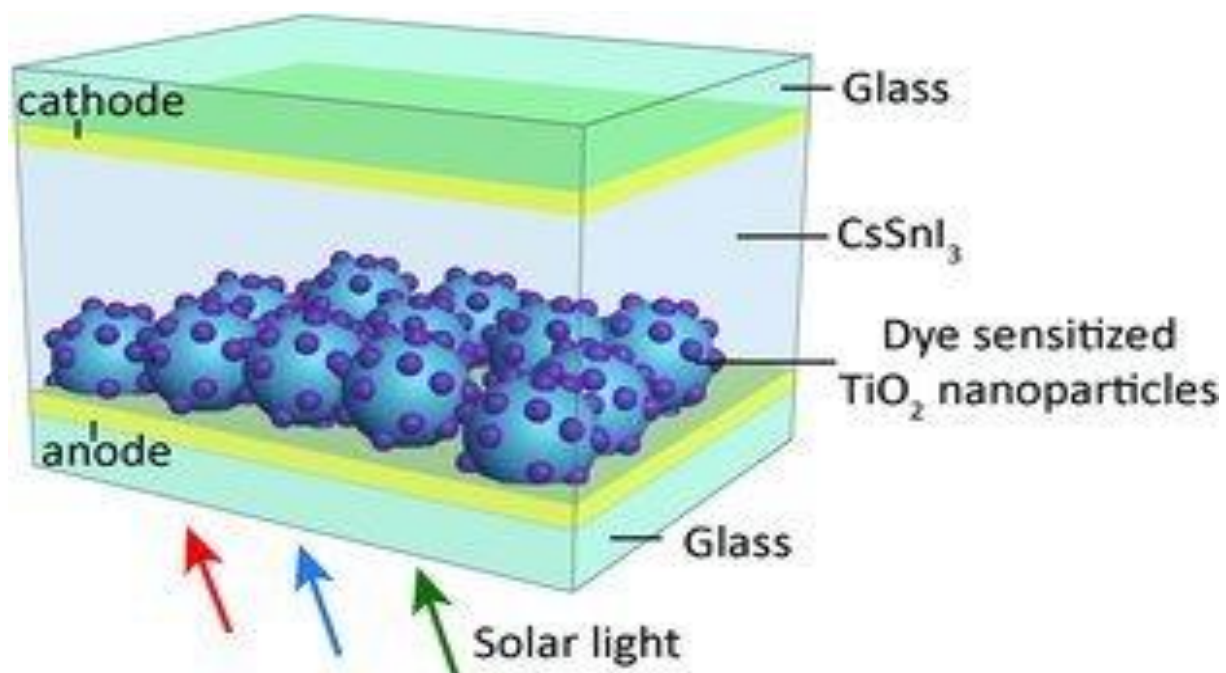


Рисунок 1.3 – Структура органічно-неорганічного гібридного сонячного елемента

Зважаючи у світі на значні досягнення у виготовленні цих багатошарових сонячних фотоперетворювачів, ще й досі існують і основні недоліки, що гальмують цей розвиток та використання. У світі до цих випадків можна порівняти погану ефективність під впливом зовнішніх факторів, та дуже великі витрати виробництва та ще існують проблеми у виготовленні таких сонячних елементів.

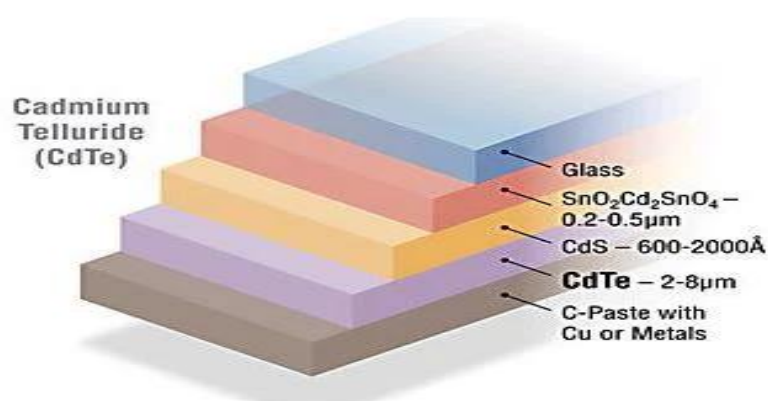


Рисунок 1.4 – Структура перовскітного сонячного елемента

В даний час дослідження в цій сфері вдосконалюються завдяки важливим випробуванням і досягненням в цій галузі для всіх багат шарових сонячних елементів [1]. Дослідники дуже активно і цілеспрямовано працюють над новою програмою визначення характеристик всіх компонентів, щоб поліпшити і оптимізувати структурні параметри з метою підвищення ефективності і стабільної роботи всіх цих сонячних елементів.

Цей огляд дозволяє нам порівняти і підтвердити поточний стан всіх цих багат шарових сонячних елементів, а також розглянути всі їх основні переваги і недоліки. Як видно з поточної технології в цій галузі, дослідження показують великі і необмежені перспективи для цього розвитку і потенціал для вдосконалення і розвитку. У своїх розділах я буду обговорювати всі ці деталі розробки та дослідження різних багат шарових сонячних елементів. Для подальшого вдосконалення я проаналізую всі особливості і всі можливості цих структур (рис. 1.1, 1.2, 1.3 і 1.4), розглянувши їх використання в сучасних енергетичних системах по всьому світу.

1.3 Технології багат шарових сонячних фотоперетворювачів

Сонячні багат шарові елементи є першою у світі передовою технологією. У цьому розділі я включу всі основні проблеми, що виникають в процесі виробництва багат шарових сонячних елементів, і обговорюю можливі шляхи їх вирішення.

За моїми спостереженнями, наступні основні проблеми пов'язані з нестабільністю різних вихідних параметрів всіх багат шарових сонячних елементів під впливом різних природних факторів, таких як вологість, температура і освітленість. Ця проблема часто викликана зміною властивостей матеріалу, невідповідними умовами експлуатації і, найголовніше, деградацією.



Рисунок 1.5 – Один з етапів технології сонячних елементів

Виробництво різноманітних багатошарових сонячних елементів великої площі (рис. 1.5) є дуже складним завданням через високі вимоги до стабільності та ефективності.

Елементи з великою площею вимагають значних заходів з контролю якості, а їх виробництво є дуже складним.

Всі мої дослідження щодо вибору матеріалу для кожного шару сонячного елемента в багатошаровій структурі вимагають глибокого знання всіх матеріалів та їх властивостей. Дивлячись на всі ці висновки, всі багатошарові сонячні елементи є перспективним напрямком досліджень для нас.

Нові методи синтезу всіх цих матеріалів, вдосконалення і практичне застосування технологій виготовлення і залучення нанотехнологій в цей процес допоможуть вирішити всі ці проблеми і забезпечити ефективний розвиток всіх багатошарових сонячних елементів в світі.

1.4 Переваги сонячних фотоперетворювачів

Головною перевагою цих сонячних панелей є їх конструктивне виконання та відсутність усіх рухомих частин. Всі ці сонячні панелі не потребують жодних ресурсів. Споживачам не потрібно турбуватися про підтримку цього джерела в робочому стані.

Сонячні панелі, які ми розглядаємо, не мають механічного зносу. Крім того, вони не потребують складного і кваліфікованого обслуговування. Вони невибагливі, прості в установці і вимагають мінімального обслуговування під час використання, єдине, що може пошкодити робочу поверхню - це погодні умови, такі як сніг і пил.

Ці сонячні пристрої можна використовувати щонайменше 15 років. Вчені довели, що технологія і матеріали сонячних панелей повністю відповідають екологічним нормам і є безпечними без викидів у навколишнє середовище. Енергія, вироблена сонячними батареями, дозволяє заощаджувати кошти, що ми хотіли б взяти до уваги та проаналізувати. На відміну від усіх традиційних джерел енергії, цей вид є теоретично досконалим.

Сьогодні альтернативні джерела енергії стають все дешевшими і дешевшими в отриманні, а традиційні джерела серйозно б'ють по кишенях споживачів.

1.5 Недоліки, що притаманні сонячним фотоперетворювачам

Всі ці сонячні батареї, які виробляють енергію для робочого збудження атомів певного енергетичного числа фотонів, в одних в своїй частотній смузі перетворення дуже просунуте, а в другій частотній смузі - марне.

У цьому прикладі ефективність ККД (коефіцієнт корисної дії) є низькою. Крім того, цей процес збільшує нагрівання цього типу матеріалу і всієї фотоеле-

ктричної перетворювальної головки, оскільки спостерігається, що енергія, захоплена всіма цими фотонами, використовується квантовим способом і завжди перевищує цей поточний рівень.

Найголовніше, що в цьому випадку ефективність фотоелектричного пристрою можна підвищити, зробивши захисне скло більш холодним матеріалом. Ускладнює цей процес порівняння і висновок, що просте скло дуже добре поглинає сонячну ультрафіолетову частину цієї енергії, а в деяких типах фотоелектричних елементів цей конкретний розподіл енергії інфрачервоних фотонів дуже малий і не постійний. Висока чутливість до сонячного затемнення є часто спостережуваним недоліком. Навіть досить тонкий шар пилу або бруду на поверхні цих сонячних елементів з безпечного скла може погіршити засвоєння значної частини сонячного світла і значно уповільнити процес виробництва енергії. У цьому місті існують процедури, які вимагають періодичного або повного очищення поверхонь сонячних панелей, встановлених горизонтально або вертикально на майданчику, наприклад, після снігопаду або після бруду.

Зазвичай ефективність напівпровідникових елементів, з яких складаються всі сучасні сонячні панелі, знижується і протікає, оскільки вони з часом деградують і значно втрачають свої властивості.

Ми бачимо, що ККД таких сонячних панелей не дуже високий, а ефективність набагато нижча. При високих температурах цей процес можна проаналізувати як прискорення і прискорення деградації. В даний час сучасні фотоелектричні пристрої мають рішення, які можуть підтримувати свою ефективність протягом багатьох років. В середньому, за період 15 років ефективність майже всіх типів сонячних елементів знижується на 15%.

Це робить більш важливим видалення бруду, як правило, з часом.

РІЗНОВИДИ СОНЯЧНИХ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

2.1 Фотоперетворювачі з монокристалічного кремнію

Розглянемо фотоперетворювачі які складаються з монокристалічного кремнію і виробляються таким процесом як литтям цих кристалів кремнію та саме головне що вони вимагають дуже високої технологічної чистоти. Цей спосіб веде за собою що розплав твердне з контактом в якому забезпечує температуру цього кристала. Після такого охолодження лиття поступово застигає у наступній формі . Вона виконується у циліндричної формі і має такий розмір що монокристал дорівнює діаметра від 12 см до 25 см, і довжина досягає до 2500 мм. Такий одержаний фрагмент нарізується не великими фрагментами товщиною від 190 мкм до 320 мкм.

Всі ці елементи мають високу ефективність ККД у порівнянні з другими елементами, та виготовлені другими способами, ефективність у таких елементів досягає 18%, завдяки положенню атомів цього монокристалу, який дозволяє і проваджує велику рухливості електронів. Як ми могли спостерігати кремній сповнює сітку з металевих електродів. Таким чином ці монокристалічні модулі які приєднані в алюмінієву раму та закриті защічним склом стають такими кольорами як - синій та чорним. Сонячні елементи які ми получили дуже довговічні термін їх служби досягає до 35 років та вони дуже прості в установці, так як не мають ні яких рухомих частин. Такі сонячні батареї дуже добре застосовувати, де погано працює звичайне енергопостачання та є велика кількість сонячних часів. Можна побачити що застосування сонячних батарей: на дахах будинків для отримання електрики споживачів, підзарядка приладів, ліхтарів для освітлення, забезпечення електрикою судах, автомобілях т.д дуже потрібно людству.

Проаналізувавши те що сонячні перетворювачі з монокристалічних елементів є більш ефективні. Їх ККД, в діапазоні від 17% до 22%.

Та ККД сонячної батареї трохи нижче, ніж окремого її елемента так як є витікання струму від елемента до кінцевого результату (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Використання монокристалічного кремнію у сонячній батареї

Можна побачити що альтернативою монокристалічного кремнію є полікристалічний кремній (рис. 2.2). Ці кристали ще агрегатні, вони мають різну форму та орієнтацію. Цей елемент, в порівнянні з темними монокристалами, дуже відрізняється синім кольором. У таких елементах не на багато низька собівартість.



Рисунок 2.2 – Сонячна батарея на основі полікристалічного кремнію

2.2 Тонкоплівкові фотоперетворювачі

Тонкоплівкові сонячні елементи можна розділити на типи [3] відповідно до їх застосування та кількості електроенергії, яку вони генерують. Тонкоплівкові сонячні елементи - це малопотужні сонячні елементи, які використовуються для заряджання мобільних телефонів, КПК (портативних інформаційних пристроїв) та інших невеликих електронних пристроїв.

Тонкоплівкові сонячні елементи займають невелику площу і не є дорогими. Універсальна тонкоплівкової фотоелектрика підходить для дуже широкого кола споживачів і різних умов. По-перше, такі сонячні панелі представляють інтерес. Тонкоплівкові, монокристалічні та полікристалічні фотоперетворювачі сонячних елементів.

Розглянемо тонкоплівкові елементи. Тонкоплівкові фотоелементи мають великі перспективи стати лідерами в найближчі роки завдяки своїй дуже доступній ринковій ціні. Тонкоплівкові елементи дуже легкі і гнучкі, тому їх можна використовувати на різних поверхнях, в тому числі і на автомобільних. Таким чином, основою для гнучких елементів є полімерні плівки, алюміній, аморфний кремній, телурид кадмію та інші напівпровідники, які використовуються у виробництві широкого спектру пристроїв для людства, включаючи зручні сонячні панелі, мобільні телефони, ноутбуки, планшетні комп'ютери та інші гаджети Їх використовують (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Тонкоплівкова гнучка батарея

Перші сонячні елементи були виготовлені шляхом нанесення аморфного кремнію на підкладки, з ефективністю від 5% до 7%, а термін служби таких плівок був коротким. Подальший поступовий розвиток технології призвів до незначного збільшення ефективності до 9% і трохи більшого терміну служби, але ефект був незначним.

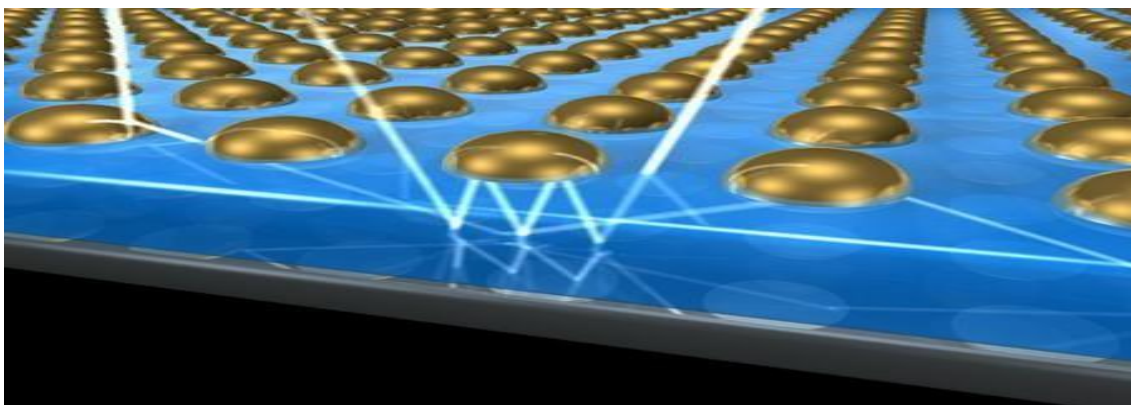


Рисунок 2.4 – Структура тонкоплівкової батареї з відбивачами

Селенід міді, індію та телурид кадмію були використані в таких елементах і сприяли розробці цих гнучких сонячних елементів і невеликих сонячних пристроїв з ефективністю 15%. Щоб було легше зрозуміти, давайте детально проаналізуємо процес виробництва цих тонко плівкових елементів. Проаналізувавши це, можна сказати, що телурид кадмію, світло поглинаючий матеріал, був досліджений і ретельно вивчений в 1960-х роках, коли необхідно було вибрати найкращий варіант для використання в космосі.

Телурид кадмію і досі залишається чи не найперспективнішим елементом для сонячних батарей. Однак проблеми токсичності та екологічності кадмію залишаються невирішеними протягом певного часу. Через де який час в результаті наукових досліджень було виявлено та встановлено, що небезпека мінімальна, рівень речовини кадмію, є безпечним.

При проведенні досліджень ККД склав 12%, вартість одного вата, витрата вийшла на третину дешевше, ніж у кремнієвих фотоперетворювачів.

Тому селенід міді індію є перспективним матеріалом. Оскільки більшість індію в даний час використовується для виготовлення екранів для телевізорів і мобільних телефонів, індій замінюється в індустрії сонячних елементів на галій, який також є світлозахисним матеріалом.

Ефективність плівкових елементів на основі галію вже досягла 17%. Втім, вже деякий час виробляються і полімерні сонячні панелі. У таких батареях світло поглинають матеріали, що містять органічні напівпровідники (наприклад, сажу фрелон, фталоціанін міді). Товщина таких батарей становить 100 нм, але їхня ефективність не перевищує 6-7%. У той же час, їх виробництво є простим, низьким, доступним, легким і повністю екологічно чистим. Тому ці полімерні панелі дуже популярні там, де важлива екологічність і механічна стійкість. По-перше, важливо відзначити високу ефективність цих модулів.

Навіть при розсіяному світлі, до 16%, вони забезпечують більшу потужність протягом року. Давайте розглянемо переваги та недоліки. З точки зору виробничих витрат вони дуже вигідні. Однак для фотоелектричних систем потужністю понад 5 кВт тонкоплівкові елементи показують найвищу ефективність, але мають той недолік, що необхідна площа втричі більша.

Таким чином, тонкоплівкові модулі набувають значних переваг. У похмури місяці ці тонкоплівкові елементи працюють ефективніше і виробляють більше енергії. Райони з більш спекотним кліматом вважаються більш ефективними для цих батарей, які також ефективно працюють при більш високих температурах і дають хороші результати.

Результати показують, що все ще є місце для їх використання в якості різноманітних інших рішень для фасадів і дахів. Прозорість становить до 30%, що також є вигідним для будівельників і дизайнерів різних проектів. Посилавсь на джерело знайдене в відкритому доступі[1] в 2006 році американська компанія Solyndra запропонувала розміщувати батареї в прозорій формі.

Циліндрична прозора конструкція дозволяє поглинати більше світла, і цей набір з 30 циліндрів, кожен розміром 1 метр на 2 метри, є високоефективним.

Цей досвід сприяє високій ефективності цього рішення: поглинуті промені працюють і додають на 20% більше енергії, залишаючись непоміченими. Крім того, циліндричний набір не вибагливий до умов експлуатації і стійкий до широкого спектру умов і сильного вітру з поривами до 65 м/с. Як відомо, велика кількість сонячних елементів, що виробляються сьогодні, мають лише один рп-перехід, і фотони з енергією, меншою за ширину цієї зони, просто не використовуються для генерації електроенергії. Вчені використали цей метод, щоб подолати це неприйнятне обмеження. Вони розробили багатошаровий складний каскадний пристрій, де кожен шар мав власну заборонену зону, і кожен шар також мав власний рп-перехід з власним значенням енергії, що поглинається фотонами.

Помірне легування в Японії дозволило досягти ефективності 19,7% (індій, селен і мідь), що зробило розпилення напівпровідників більш ефективним. Ця перспектива дала Японії можливість виготовляти сонячні продукти у вигляді тканин, на основі яких планувалося розпочати виробництво одягу та автомобільних тентів. Витрати на генерацію електроенергії значно зменшуються порівняно з кристалічними кремнієвими елементами. В результаті за допомогою тонких плівок і плівок вдалося досягти ефективності в 23%. У той же час швейцарські вчені досягли ефективності 20,6% на полімерній основі з використанням індію, міді, селену і галію. Цей рекорд був досягнутий з елементами на тонких полімерних плівках.

2.3 Сонячні батареї з аморфного кремнію

Хочеться перевернути увагу на аморфні сонячні елементи які володіють своєю відмінністю від монокристалічних та полікристалічних. Моя основа полягає в тому, що прямий промінь світла, який щойно виходить від сонця, аморфним батареям не дуже потрібен. Спостерігав на цей вид вони відмінно генерують розсіяне світло, навіть яке виходить від сонця закритими хмарами. Конструктивною перевагою їх є гнучкості, при виробництві на них легко наносяться різні напівпровідникові елементи (Рис. 2.5).

Як ми бачимо ці сонячні фотоперетворювачі, за основу яких входить аморфний кремній, є проривом технологічного вдосконалення та дуже легкий у виготовленні цих сонячних елементів. Можна зробити аналіз якщо порівнювати їх з класичними на основі кристалів, то ці технології їх виготовлення мають дуже суттєві зміни. Аморфний кремній це така речовина, яка може прийняти будь-яку форму. Відповідно що це забезпечує зниження виробничих процесів та не велику ціну.



Рисунок 2.5 – Сонячна батарея на базі аморфного кремнію

На цьому прикладі роздивимось сонячні батареї, які володіють великою здатністю до поглинання «поганого» світала, тобто це означає – розсіяного потоку. Так що ми маємо те що вони можуть використовуватися та застосовуються в таких регіонах, де спостерігається більш похмура погода та маленький світовий день. При використанні на високих температурах вони теж дуже добре показують свою продуктивність. Такі панелі з арсеніду галію і до сьогоднішнього часу їх перевершують другі види.

Аморфні сонячні елементи мають унікальну властивість бути аморфними [3] і пропонують наступні перспективні переваги.

Аморфні сонячні елементи практичні в дощових і хмарних умовах і забезпечують від 11% до 19% більше енергії. Вони дуже малі за розміром порівняно з іншими типами і зовні дуже схожі на тонке скло, тому їх можна легко приховати або замаскувати, і вони можуть бути придатні для військового застосування. І це вважається слабким місцем, яке сьогодні неможливо виправити. Воно добре витримує часткове затінення і втрачає менше енергії, ніж інші. Вони також мають перевагу в тому, що генерують менше тепла при високих температурах і не втрачають продуктивності при переробці великої кількості сонячної енергії.

Однак ефективність кристалічних сонячних елементів швидко знижується при нагріванні, і вони швидко втрачають потужність.[16]

2.4 Арсенід-галієві сонячні батареї

Сонячні елементи з арсеніду галію були виготовлені з використанням тонких плівок арсеніду галію (рис. 2.6). Для виробництва потрібна комбінація миш'яку та галію. Вони були розроблені як варіант звичайних кремнієвих елементів. Арсенід галію, що використовується в сонячних елементах, є напівпровідником. Він має ті ж властивості, що і кремній. Його головна перевага - продуктивність. Ефективність сонячних елементів на основі арсеніду галію набагато вища.

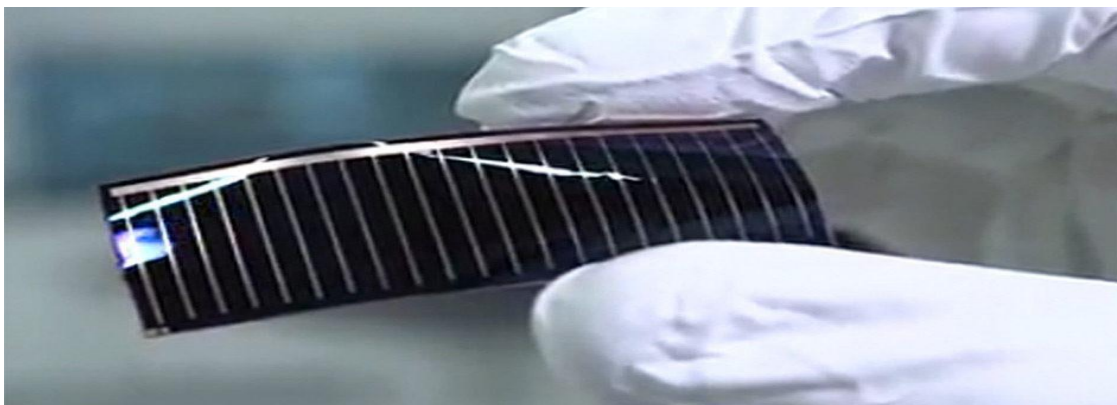


Рисунок 2.6 – Арсенід-галієва тонка сонячна батарея

Як елемент SPI, арсенід галію, стійкий до радіації. Підходить для використання в усіх напрямках, але висока вартість виробництва є недоліком використання цієї панелі. Працює при високих температурах. Не потребує великих обсягів охолодження. Сонячні елементи з арсеніду галію мають значні переваги. Непівпровідники арсеніду галію забезпечують дуже ефективні результати з шарами всього в кілька мікрон і високим коефіцієнтом поглинання сонячної енергії. Завдяки тонкому покриттю можна значно зменшити площу, не впливаючи на ефективність самого елемента. Процес виробництва панелей з арсеніду галію базується на додаванні різних сполуки. Цей процес значно знижує виробничі витрати і дозволяє розширювати сонячну батарею відповідно до зміни параметрів. У деяких ситуаціях можна навіть виробляти багатошарові елементи або змінювати склад шарів. Цей процес можна зробити більш точним, керуючи гіпергенними носіями заряду. Кремнієві елементи не мають такої функції. На сучасному етапі можна виготовити структуру, що складається з трьох шарів. Кожен шар поглинає тільки відповідне сонячне світло. Кількість поглинутих променів виявляється набагато вищою, ніж в інших структурах.

Одношарова батарея не може поглинати багато сонячного світла. Виготовлення всіх таких конструкцій є дуже дорогим як з точки зору грошей, так і з точки зору продажу.

2.5 Сонячні батареї на основі телуриду кадмію CdTe

Сонячні елементи з телуриду кадмію (CdTe) [4] виготовляються за плівковою технологією [3]. Напівпровідниковий матеріал наноситься тонкими шарами в кілька сотень мікрометрів. Ефективність таких елементів на основі телуриду кадмію не дуже висока, близько 10%. Останнім часом, коли ціна на сонячні батареї різко впала завдяки китайським заводам, First Solar інвестувала в дорогу технологію. Вона витрачає 5% своїх продажів на науку. Її відзначені нагородами кремнієві елементи з кристалічною структурою збільшили продажі приблизно на 25% у сфері досліджень і на 15% у всьому світі.

За даними First Solar, компанія може досягти 24% ефективності в реальних умовах протягом двох років і 19% протягом трьох років. Телурид кадмію особливо добре зарекомендував себе в жарких і вологих регіонах південного сходу США і Південної Азії, де в найближчому майбутньому очікується зростання купівельної спроможності. Завдяки технології осадження з парової фази компанії First Solar, ці тонкі панелі легко виготовляти, і від моменту виробництва скла до виходу на ринок проходить лише три години, порівняно з трьома днями для кремнієвих елементів [16] (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Сонячні батареї на основі телуриду кадмію

2.6 Сонячні батареї на основі сполуки CIGS

Напівпровідникові сполуки CIGS - це матеріали, що складаються з міді, індію, галію та селену (Cu (In, Ga) Se_2). Цей тип сонячних елементів, як і панелі телуриду кадмію, виготовляється за плівковою технологією і тому є високоефективним, з коефіцієнтом корисної дії до 21% (рис. 2.8).

Слід розуміти, що ефективність цих сонячних панелей не впливає безпосередньо на виробництво енергії електростанцією. [16] У своїй науковій роботі я вказував що потужність сонячної електростанції можна спрогнозувати, використовуючи різні типи сонячних панелей, причому більш ефективні сонячні елементи потребують менше місця для встановлення.

Наприклад, сонячні панелі на основі монокристалічного кремнію потребують сім квадратних метрів площі для генерації одного кіловата електроенергії, тоді як панелі з аморфного кремнію складає 24 квадратних метри.

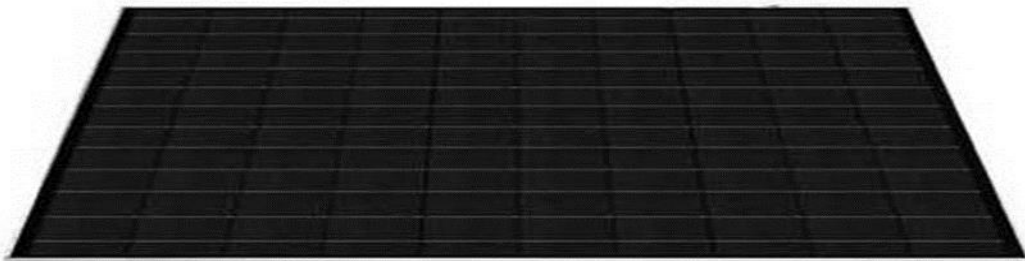


Рисунок 2.8 – Сонячна батарея на базі CIGS

Звичайно, цей приклад не є вичерпним. Загальна площа сонячної панелі безперечно впливає на вихідну потужність фотоелектричної панелі.

Ці параметри сонячної панелі були визначені за стандартних умов випробувань при постійній інтенсивності сонячного випромінювання 2000 Вт/м^2 і робочій температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура $25 \text{ }^\circ\text{C}$ також не є дуже поширеною. Іншими

словами, в цьому прикладі йдеться про температуру всередині сонячної панелі, а не про температуру повітря.

Зменшення потужності при підвищенні температури поводитьсь по-різному від типу сонячного елемента. Вихід кремнієвих сонячних елементів зменшується від 0,53% до 0,67% на кожен 1°C вище номінальної температури, в той час як сонячні елементи з телуриду кадмію зменшуються лише на 0,27%.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця ККД сонячних елементів різних типів

Тип сонячних елементів	ККД, %
Монокристал	16-21
Полікристал	11-17
З аморфного кремнію	4-7
Арсенід-галієві	33-39
На основі телуриду кадмію	11-13
На основі CIGS	14-21

З цієї таблиці видно, що монокристали є більш доступними, але арсенід-галієві є більш продуктивним.

Коли я писав свою наукову роботу [14], я посилався саме на цю таблицю.

3 ГІБРИДНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ

3.1 Переваги сонячної електростанції

Перевагами сонячних електростанцій є екологічно чисте довкілля, відсутність шуму під час роботи та висока потужність виробництва енергії. До недоліків можна віднести пряму залежність від погоди. Механіка роботи сонячної електростанції відбувається в наступній послідовності. Сонячне світло потрапляє на сонячні панелі і шляхом перетворення перетворюється в електрику. Автономна електростанція (рис. 3.1).



Рисунок. 3.1 – Склад автономної електростанції

Згенерований струм зберігається в акумуляторі, а мережевий інвертор подає постійний струм на вхід гібридного інвертора для заряджання акумуляторної батареї [8]. Надлишок енергії повертається в мережу змінного струму відповідно до ситуації споживача.

Такі проекти вимагають встановлення необхідної кількості сонячних панелей для забезпечення кількості електроенергії [16], необхідної для заряджання та споживання акумуляторних батарей. Змішане електропостачання. У цьому випадку батареї розряджаються, а потім живляться від зовнішньої мережі змінного струму. Інвертор заряджає батареї.

Сонячні панелі підключаються до мережевого інвертора постійного змінного струму; до входу гібридного інвертора підключаються як мережа змінного струму, так і акумуляторна батарея. Виходи інвертора сонячних панелей і гібридного інвертора з'єднані через розподільний щит; одночасне використання двох інверторів дає наступні переваги: електростанція може працювати за відсутності змінного струму від зовнішньої мережі, а користувач має доступ до трьох режимів роботи.

Резервне живлення. Схема налаштована таким чином, що акумуляторна батарея може розряджатися тільки в разі тривалої відсутності напруги в зовнішній мережі.

Фотоелектричні установки широко використовуються в домогосподарствах.

Зелені тарифи - це спеціальні тарифи на купівлю самостійно виробленої електроенергії з альтернативних джерел. Продавати електроенергію за зеленим тарифом можна лише в тому випадку, якщо загальна потужність установки не перевищує 100 кВт. Ціна за кіловат електроенергії встановлюється на рівні тарифу для споживача і фіксується тарифом. Ефективність, розмір і місцевий рівень сонячного світла визначають кількість електроенергії, необхідної для комфортного використання сонячного модуля.

3.2 Продуктивність роботи сонячної станції за умовами зеленого тарифу

Основні переваги приватних електростанцій полягають у тому, що вони дозволяють будинкам працювати автономно і відмовлятися від використання електроенергії з мережі.

Вони також можуть продавати цю електроенергію на умовах «зеленого тарифу». Зелені тарифи - це спеціальні тарифи, які дозволяють продавати різницю в електроенергії за ціною, встановленою владою. Це форма роботи електростанції за зеленим тарифом. Існують етапи підключення та важливі умови.

Зелені тарифи починають діяти лише після підключення електростанції до електромережі або підписання договору на продаж електроенергії. Зелені тарифи застосовуються лише до електростанцій, які були введені в експлуатацію та підключені до електромережі. Зелений тариф укладається з отриманням ліцензії на виробництво електроенергії.

Для укладення «зеленого» тарифу необхідно зібрати наступні документи - документи, що представляють інтереси виробника електроенергії; -структура власності виробника електроенергії, встановлена потужність електростанції та характеристики електростанції; розрахунки тарифу на електроенергію за встановленою формою; договори, звіти про витрати та пояснювальні записки до розрахунків; довідка про балансову вартість основних фондів на дату подання заяви.

3.3 Розрахунок окупності електростанцій з зеленим тарифом

Генерація електроенергії сонячної станції: 10800 кВт/рік, при ідеальних умовах(рис. 3.2).

Використання електроенергії споживачем: 300 кВт•год/місяць, або 3600 кВт•год/рік.

Різниця між генерацією і споживанням : 10800 кВт•год – 3600 кВт•год = 7200 кВт•год.

Сплата по зеленому тарифу за рік : 7200 кВт•год• 4.79 грн/кВт•год = 34488 грн = \$830.

Зекономлено електроенергії (за рік): 4800 кВт•год = 22000 грн = \$530.

Прибуток: З зеленим тарифом \$830 + Економія на сплаті електроенергії \$530= \$1360/рік.

Придбання та введення в експлуатацію СЕС 10 кВт: \$7000 – \$10000.

Окупність СЕС: \$8000/\$1360 = 5,5-6 років при ідеальних умовах.



Рисунок 3.2 – Генерація електроенергії в умовах сонячного регіону

Загальна частка електроенергії, що використовується для власного споживання, становить 38% електроенергії, виробленої цією електростанцією [8], і термін її окупності постійно зростає.

Цей підрозділ присвячений важливому питанню автономних фотоелектричних електростанцій без додаткових джерел живлення, які можуть задовольнити потреби приватних побутових споживачів.

Розрахувати реальні економічні витрати на автономні сонячні електростанції з акумуляторним живленням. Проаналізувати перспективи проекту та розглянути можливі ризики і способи їх подолання.

Наша мета в цьому секторі - не отримання прибутку, а забезпечення стабільного постачання електроенергії споживачам у разі воєнного стану або аварійних відключень електроенергії.

Ця станція підвищить комфорт приватних будинків. На мою думку, цей проект є перспективним і вирішує багато проблем, які зараз дуже потрібні.

За моїми розрахунками, термін окупності цієї сонячної електростанції не дуже перспективний і вимагає значних заощаджень та зайву площу.

4 РОЗРАХУНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧА

Спочатку виконуємо моделювання фотоперетворювача на основі CIGS.

Зазвичай типова структура включає: шар підкладки (скло), на яку осаджено тонкий (100 нм) шар молібдену Mo, далі наносимо порівняно широкий (1000 нм) шар CuInGaSe_2 (CIGS) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28406026/>, після цього осаджуємо порівняно тонкий шар CdS (50 нм). Верхній шар – контакт виконуємо на основі прозорого оксиду цинку ZnO (100 нм). На рисунках 4.1-4.2 наведено розрахунок структури та матеріалів робочої частини фотоперетворювача[5] за допомоги програми OghmaNano.

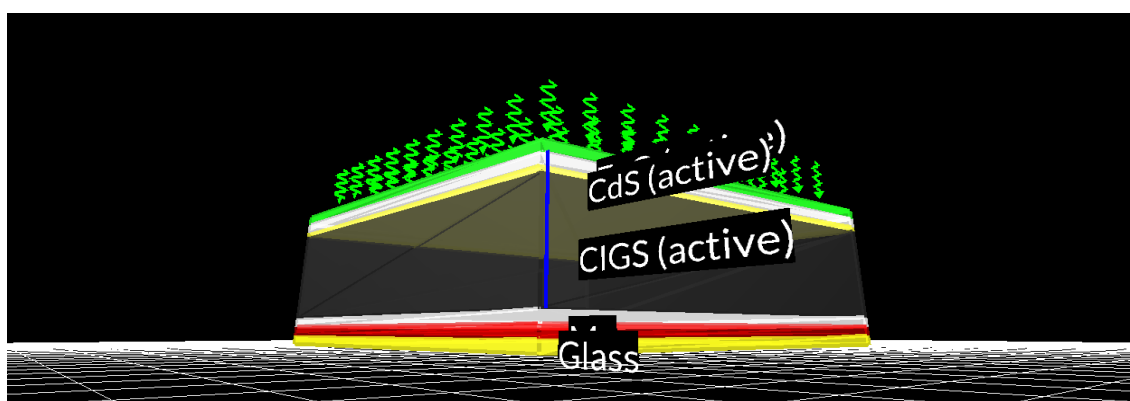


Рисунок 4.1 – Вікно програми з побудовою фотоперетворювача

Назва шару	Товщина	Оптичний матеріал	Тип шару	Зирішіть оптичну проблему	Зирішіть теплову проблему	ID
ZnO	1.00e-07 м	oxides/ZnO/zno	Active	Yes - n/k	Yes	ida8...
CdS	5.00e-08 м	inorganic/cds	Active	Yes - n/k	Yes	id03...
CIGS	1.00e-06 м	inorganic/cigs	Active	Yes - n/k	Yes	id7b...
Mo	1.00e-07 м	generic/1e6	Other	Yes - n/k	Yes	id4f...
Glass	1.00e-07 м	oxides/glass	Other	Yes - n/k	Yes	ide7...

Рисунок 4.2 – Вікно програми зі структурою та матеріалами активних шарів

Після виконання моделювання та розрахунку характеристик і параметрів запропонованої структури отримуємо файл вихідних даних.

Найважливішою є вольт амперна характеристика (ВАХ), (Рис). 4.3

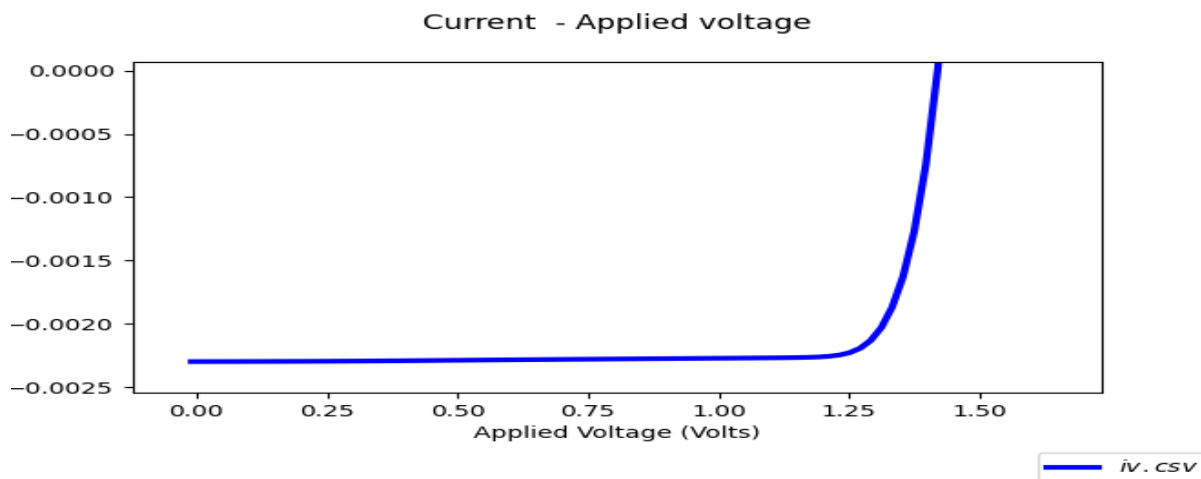


Рисунок 4.3 – Вольтамперна характеристика фотоперетворювача на основі CuInGaSe_2

Залежність щільності струму від напруги фотоперетворювача на основі CuInGaSe_2 представлена на (Рис. 4.4).

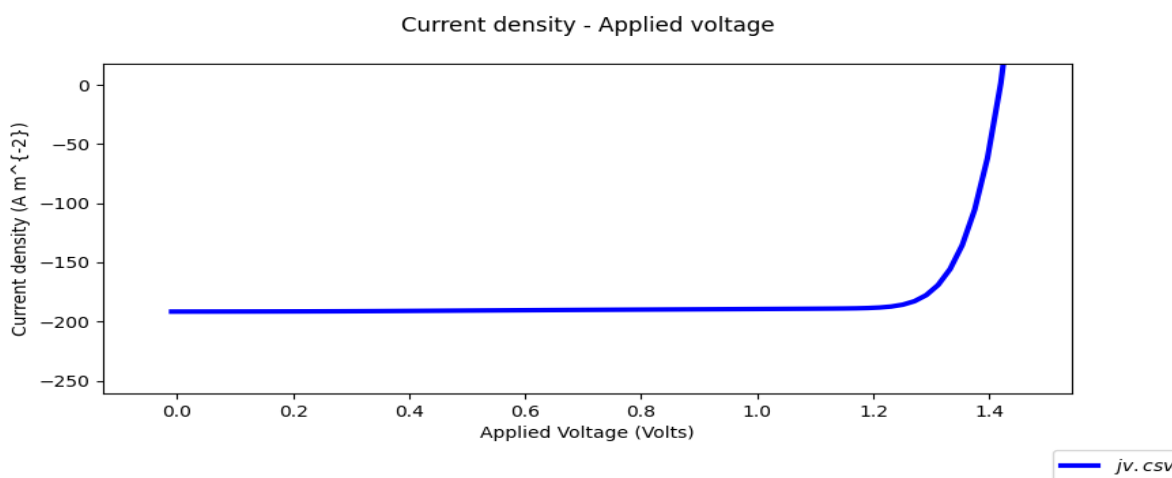


Рисунок 4.4 – Залежність щільності струму від напруги фотоперетворювача на основі CuInGaSe_2

Нижче наведені вихідні параметри запропонованої структури на основі CuInGaSe_2 .

V_{oc} (холостого ходу) = 1,419465 В.

Максимальна потужність $P = 232,4228 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$.

Ємність пристрою $C = 1,016306 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$.

Напруга максимальної потужності $V = 1,27 \text{ В}$.

ККД = 23,24%.

Вільні дірки при V_{oc} , $1,1352 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

Вільні електрони при $V_{oc} = 1,856691 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$.

Середня рухливість носіїв $\mu(\text{при } P_{\max}) = 8,74 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Для порівняння мною було виконано моделювання структури фотоперетворювача на основі полікристалічного кремнію (Рис 4.5).

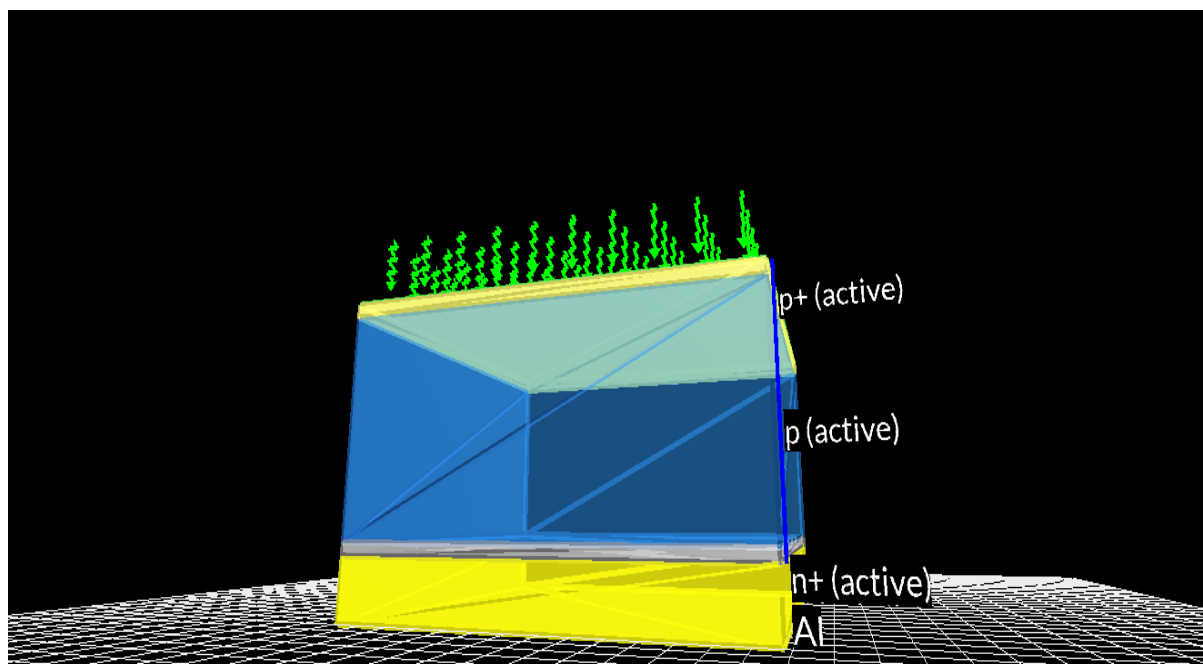


Рисунок 4.5 – Моделювання структури на основі полікристалічного кремнію

Назва шару	Товщина	Оптичний матеріал	Тип шару	Зирішіть оптичну проблему	Зирішіть теплову проблему	ID
air	1.00e-07 м	generic/air	Contact	Yes - n/k	Yes	id1c...
p+	1.00e-06 м	inorganic/si	Active	Yes - n/k	Yes	idd8...
p	1.80e-05 м	inorganic/si	Active	Yes - n/k	Yes	id31...
n+	1.00e-06 м	inorganic/si	Active	Yes - n/k	Yes	id2a...
Al	5.00e-06 м	metal/Al/std	Contact	Yes - n/k	Yes	id09...

Рисунок 4.6 – Вікно програми зі структурою та матеріалами активних шарів

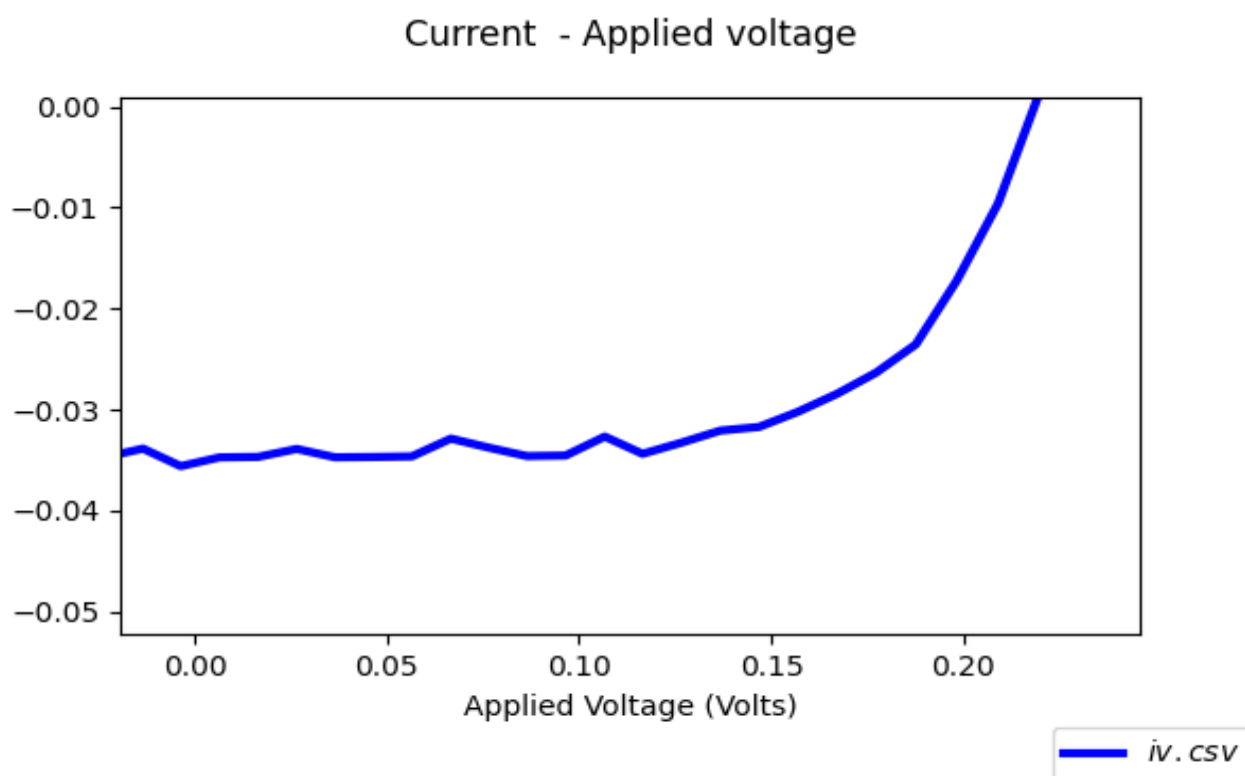


Рисунок 4.7 – Вихідна вольт-амперна характеристика

Нижче наведені вихідні електричні параметри розрахованої структури сонячного фотоперетворювача, взяті з вихідного файлу програми.

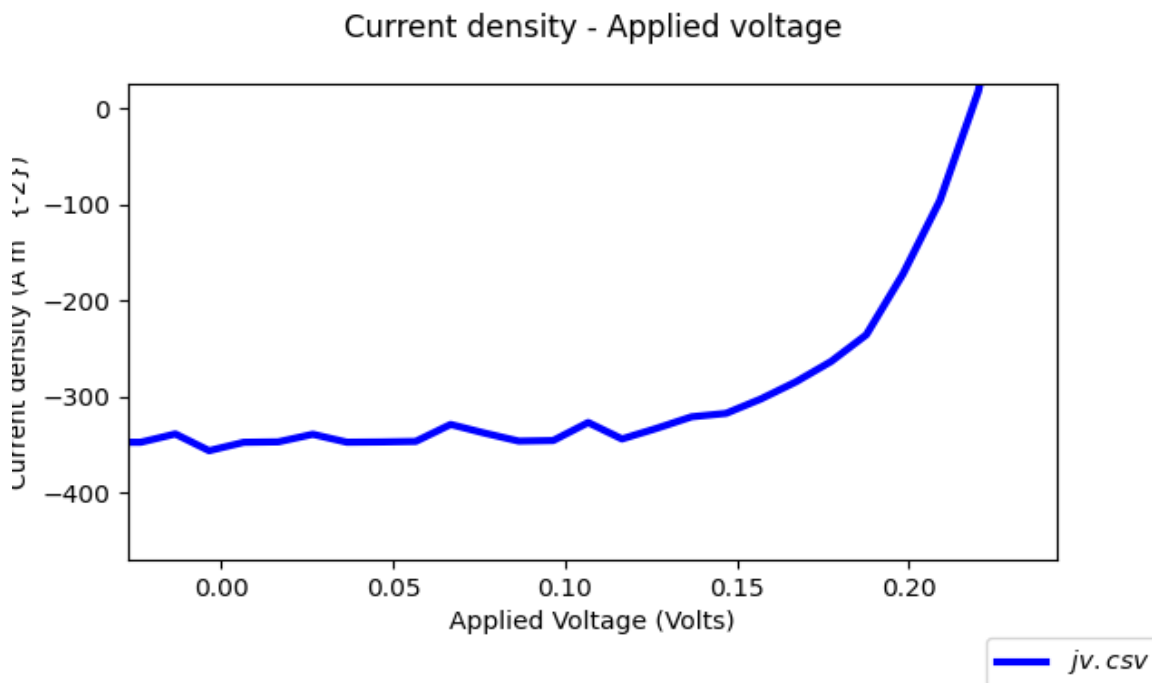


Рисунок 4.8 – Залежність щільності струму від напруги

Щільність струму при максимальній потужності $-2,843453e+0,2 \text{ A m}^{-2}$.

Напруга при максимальній потужності $1,671565e-0,1 \text{ V}$.

Коефіцієнт заповнення $6,165501e-0,1 \text{ a.u.}$

Ефективність перетворення потужності (PCE) $4,753018e+0,0 \text{ Percent}$.

Максимальна потужність $4,753018e+0,1 \text{ W m}^{-2}$.

V_{oc} $2,184911e-0,1 \text{ V}$.

J_{sc} $-3,528315e+0,2 \text{ A m}^{-2}$.

Вільні електрони при V_{oc} $5,001421e+22 \text{ m}^{-3}$.

Вільні отвори на V_{oc} $5,900531e+22 \text{ m}^{-3}$.

Середня рухливість при P_{max} $5,015000e+0,3 \text{ m}^2 \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Середня рухливість при V_{oc} $5,015000e+0,3 \text{ m}^2 \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Рухливість дірок при P_{max} $1,000000e+0,4 \text{ m}^2 \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Рухливість електронів при P_{max} $3,000000e+0,1 \text{ m}^2 \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Ємність приладу $4,869803e-10 \text{ F}$.

Виконані мною розрахунки свідчать про досить високу ефективність неорганічних сонячних фотоперетворювачів, проте технологія та структура шарів потребують подальшого вивчення та вдосконалювання [8,9].

На основі проведених досліджень визначаються оптимальні комбінації матеріалів для кожного шару фотоперетворювача.[16]

Ці комбінації враховують вимоги до оптичних та електричних властивостей кожного шару, а також забезпечують ефективну взаємодію між шарами. Після аналізу та моделювання різних комбінацій [5] матеріалів вибираються оптимальні комбінації для кожного шару фотоперетворювача і вони використовуються для подальшого застосування у них.

СОНЯЧНІ ТРЕКЕРИ

5.1 Принцип роботи сонячного трекера

Само поняття сонячного трекера має такий сенс – це система MPPT (Maximum Power Point Tracking), призначена для орієнтації робочих поверхонь пристроїв, що генерують електроенергію або зберігають теплову енергію [12]. Для досягнення максимальної ефективності важливо, щоб площина DSP цієї системи була правильно зорієнтована відносно супутника (рис. 5.1). Основним завданням нашої системи стеження є зменшення кута падіння сонячних променів на поверхню сонячних панелей (CPV-концентратори, фото модулі, CSP-системи, параболічні рефлектори тощо).



Рисунок 5.1 – Побудова батареї з сонячним трекером

Сонячні трекари складаються з:

- опорної нерухомої частини і рухомої частини, причому рухома частина має дві осі обертання (рис. 5.2);
- системи орієнтації, що складається з виконавчих пристроїв і управління цими пристроями;
- блискавкозахисту, захисту від перевантажень, попередження про град, сніг і негоду системи безпеки, в тому числі метеостанції;
- порівнюючи дані з метеостанції, система розміщує трекаер в такому положенні, щоб несприятливі фактори не впливали на систему під час несприятливих погодних умов, головним з яких є захист панелі від руйнування;
- система управління та інтерфейс трекаера, призначений для конфігурації та обслуговування системи;
- навігаційна система трекаера необхідна для визначення географічного розташування системи та висоти над рівнем моря. широта або довгота на рівні моря та місцезнаходження трекаера вводяться споживачем під час встановлення фотоелектричної системи. інверторів може бути один або декілька;
- інвертори встановлюються в захищеному корпусі або в приміщенні. підключення інверторів в системі може бути різним.

Використання повного трекаера [16] не завжди є економічно вигідним, і багато з цих компонентів трекаера не підходять на практиці, оскільки це залежить від типу, призначення та різних інших факторів навколишнього середовища.



Рисунок 5.2 – Сонячний трекер з мотопідвісом

Ці конструкції систем орієнтації сонячних панелей використовуються в пристроях орієнтації супутникової навігації та пристроях стеження, які називаються підвісками для мотопідвіс (рис. 5.2).

Споживач просто прикріплює сонячну панель [14] до робочої площі, мотопідвіс і спостерігає за рівнем сигналу, що надходить від датчика сонячної панелі, в той час як електронний блок точно орієнтує антену на сонце.

Підвіс призначений для відстеження супутників на геосинхронній орбіті і при обертанні не тільки обертає батарею, але й нахиляє її так, щоб вона була спрямована точно до сонця. Сигнал для обертання генерується двома фотодіодами на сонячній панелі, з кутом дуги 30 градусів між ними (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 – Сонячна батарея з системою орієнтації

5.2 Розрахунки енергосистем з сонячними трекерами

Приведені результати, розраховують різницю використання сонячної енергії для сонячних панелей, розташованих на корпусі трекера з енергосистемою, які відносяться: сонячні трекери-системи для орієнтації на сонця сонячних батарей (табл.5.1). Всі кути нахилу сонця походять від місця та розташування сонячної батареї. Маємо розрахунки цих втрат цієї фіксованої системи, розташованої в м. Харків Україна. Розрахунок втрат цієї енергосистеми [15] на сонячних батареях (м. Харків) враховує тільки кути нахилу сонця до сонячній батареї (табл. 5.2) .

Для розрахунку взяті наступні дані:

- 55° ПШ та 46° СД;
- рік – 365 днів, 8761 годин;
- кількість світлих годин на рік 4513,83.

Таблиця 5.1 – Розрахунок руху сонця з північного сходу та північного заходу

Кути	Години	% Годин
Години зі сходу з північного сходу	435,17	4,97%
Дні у році сходу з північного сходу	189	50,51%
Години у році заходу з північного заходу	439	5,00%
Дні у році заходу з північного заходу	189	50,51%

Разом годин на рік – 879,17 це (9,97%).

Таблиця 5.2 – Розрахунок втрат руху сонця зі сходу на захід

Кут сонячних променів	Втрати у зоні	Довжина 2-х зон (градусів)	% зони у році	% втрат
Зона	20	60,00	33,33	33,33
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

Таблиця 5.3 – Втрати енергії сонячних панелей в залежності від кута нахилу сонця до панелі

Кут сонячних променів	Втрати у (%)
Мертва зона – більш ніж 51°	100
Зона від 47° до 50°	39,5
Зона від 41° до 45°	22,5
Зона від 36° до 40°	17,5
Зона від 31° до 35°	13,5
Зона від 26° до 30°	7,5
Зона від 21° до 25°	7,8
Зона від 16° до 20°	3,7
Зона від 10° до 15°	2,
Зона від 5° до 10°	0,9
Зона від 0° до 5°	0,2

Таблиця 5.4 – Розрахунок втрат по зонам руху сонця зі сходу на захід

Кут сонячних променів	Втрати цих зон	Довжина 2-х зон	% у році	% втрат
Зона від 35° до 40	16,6	10,00	5,58	0,93
Зона від 30° до 36°	12,3	10,00	5,58	0,68
Зона від 25° до 32°	9,2	10,00	5,58	0,52
Зона від 20° до 28°	6,7	10,00	5,58	0,37
Зона від 15° до 2°	4,3	10,00	5,58	0,25
Зона від 10° до 15°	2,4	10,00	5,58	0,15
Зона від 5° до 10°	0,8	10,00	5,58	0,07
Зона від 0° до 5°	0,2	10,00	5,58	0,02
Усього				50,77

Висновки втрат по зонам руху сонця показані у таблицях: 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.

Розрахунок втрат по зонам руху сонця зі сходу на захід складає 52,87%.

Таблиця 5.5 – Розрахунок втрат по зеніту за рік

Кут сонячних променів	Втрати зон	Довжина зон (градусів)	% зон у році	% втрат
Зона від 32° до 35°	11,5	10,00	5,56	0,69
Зона від 26° до 30°	9,4	10,00	5,56	0,53
Зона від 21° до 25°	6,4	10,00	5,56	0,38
Зона від 16° до 20°	4,2	10,00	5,56	0,26
Зона від 11° до 15°	2,5	10,00	5,56	0,14
Зона від 6° до 10°	0,9	10,00	5,56	0,05
Зона від 1° до 5°	0,2	10,00	5,56	0,01
Зона від 43° до 50°	38,5	5,00	2,78	1,07
Зона від 41° до 45°	23,5	5,00	2,78	0,65
Зона від 33° до 40°	16,5	5,00	2,78	0,46
Мертва зона – більш ніж 52°	100,0	5,00	2,78	2,78
Усього				7,02

Фіксована система стоїть під кутом 53° до горизонту. Виходячи з цього, припускається велика зенітна втрата. Зональна зенітна доріжка Сонця розділена на зони від 1° до 92° . Разом: річні втрати відносно кута нахилу Сонця для фіксованої системи на 52° пн.ш. і 45° пд.ш. становлять $67,77\%$. Ці втрати залежать від кута нахилу сонця, в той час як в системі стеження за сонцем завжди спрямоване на сонячні панелі, тому втрат не відбувається.

Іншими словами, такий висновок обумовлений вищою енергією, виробленою цією системою генерації. Та порівняно зі стаціонарною системою генерації з такою ж кількістю сонячних панелей і використанням пристрою стеження, за розрахованої величини втрат [16].

Розрахунки показують, що ефективність використання сонячних трекерів зростає зі збільшенням широти.

У цьому прикладі видно, що для побудови сонячної фотоелектричної системи з використанням сонячного трекера потрібно придбати менше панелей і додаткових інверторів у порівнянні з фіксованою системою. Оскільки цей розрахунок не враховує розсіяне сонячне випромінювання, для стаціонарних систем існує надбавка від 6% до 14% .

У різні пори календарного року цей параметр суттєво змінюється. Взимку виробництво значно збільшується за рахунок відбитої від снігу сонячної радіації, яка в сонячні дні становить понад 7% .

З урахуванням розсіяної та відбитої сонячної радіації ефективність використання трекерів на фотоелектричних станціях становить щорічний приріст виробництва $55,84\%$.

РІЗНОВИДИ БЛОКІВ АКБ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

6.1 AGM ,GEL ,Li-ion ,LiFePO4 технологія

Основним елементом системи резервного живлення є акумуляторна батарея. Від правильного вибору типу і ємності батареї залежить тривалість і надійність автономної роботи, а також кількість циклів заряду і розряду.

Акумулятори AGM з рідким електролітом вразливі до повного розряду, мають короткий термін служби через дуже малу кількість циклів заряду і небезпечні тим, що протікають під час використання. [15].

У різних типах систем використовуються акумулятори, виготовлені за технологіями AGM, GEL, Li-ion та LiFePO4 AGM (Absorbed Glass Mat) - це технологія виробництва свинцево-кислотних акумуляторів. Вона характеризується використанням абсорбуючого електроліту замість рідкого електроліту.

AGM це матеріал зі скловолокна, який діє як резервуар для електроліту і сепаратор, електрично розділяючи позитивну і негативну частини пластини.

AGM це батареї виготовляються у вигляді спіралі або плоскої форми. Перевагами є стійкість до вібрацій. Перевагами є стійкість до вібрацій, можливість встановлення майже горизонтально, велика кількість циклів заряду і розряду, а також швидша зарядка порівняно з

GEL акумуляторами.

Недоліками є більші габарити і вага, а також менша кількість циклів заряду

GEL-технологія - замість електроліту заливається спеціальний гель, який після використання стає твердим.

Таблиця 6.1 – Властивості AGM та GEL акумуляторів.

Застосунок	AGM	GEL
Циклічний ресурс	Близько 300 циклів	Близько 600 циклів
Перегрів	Може викликати порушення цілісності.	Не критичний
Повне розрядження	Максимальна величина розряду не більше 32%.	Із – за в'язкого електроліту підвищена стійкість до повного розрядження.
Саморозряд	Інтенсивніше ніж у GEL акумуляторах.	Величина саморозряду невелика.
Пусковий і максимальний струм	Хороший пусковий струм.	Через великий внутрішній опір величина пускового струму мала.
Зарядження	Збільшення напруги зарядження призводить до здуття батареї, та спалаху.	Збільшення напруги зарядження призводить до здуття батареї.

В якості резервного живлення треба використовувати АКБ виготовлені GEL технологією [9] . Вони більш стійкі до розряду, та положення АКБ таблиця (6.2).

Таблиця 6.2 – Положення АКБ AGM та GEL

Коротке замикання	Менш чутливі .	Більш чутливі.
Експлуатація AGM та GEL	будь-якому положенні, окрім «вверх дном».	будь-якому положенні, окрім «вверх дном», дрібне пошкодження цілісності конструкції не викликає витік електроліту.

Основним робочим елементом сонячної електростанції є акумулятор. Правильний вибір типу залежить від ряду факторів і вимагає уваги .

6.2 Переваги Gel акумуляторів

Переваги Gel акумуляторів:

- не потребують обслуговування;
- відсутні випари електроліту;
- робота у будь-якому положенні без проливу електроліту;
- тривалий строк служби 3-5 років;
- стійкість до глибоких розрядів.

Недоліки Gel акумуляторів:

- висока ціна;
- чутливі до перезарядів.

Акумулятори (літійові акумулятори) є більш технологічно розвиненими в порівнянні, AMG, або GEL.

6.3 Li-ion акумулятори

Літій-іонні акумулятори (літійові батареї) є технологічно досконалішими і продуктивнішими, ніж акумулятори AMG і GEL. Літій-іонні батареї дуже легкі за розміром і вагою і можуть зберігати величезну кількість енергії. Завдяки максимальному співвідношенню ємності до розміру, літійові батареї вигідні для виробництва потужних акумуляторів з малою вагою і невеликими габаритами [10]. Цей тип акумуляторів використовується в системах з високим енергоспоживанням, де потрібен тривалий час автономної роботи та висока потужність (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Літійовий акумулятор у розрізі

Ці батареї дуже вибагливі і потребують уваги та контролю. Одним з найважливіших компонентів літій-іонної батареї є контролер BMS, який керує процесом заряду і розряду, балансує струм у всіх елементах і вимірює температуру, напругу і опір [16]. Плата BMS (рис. 6.2) також розподіляє і балансує струм між компонентами батареї.

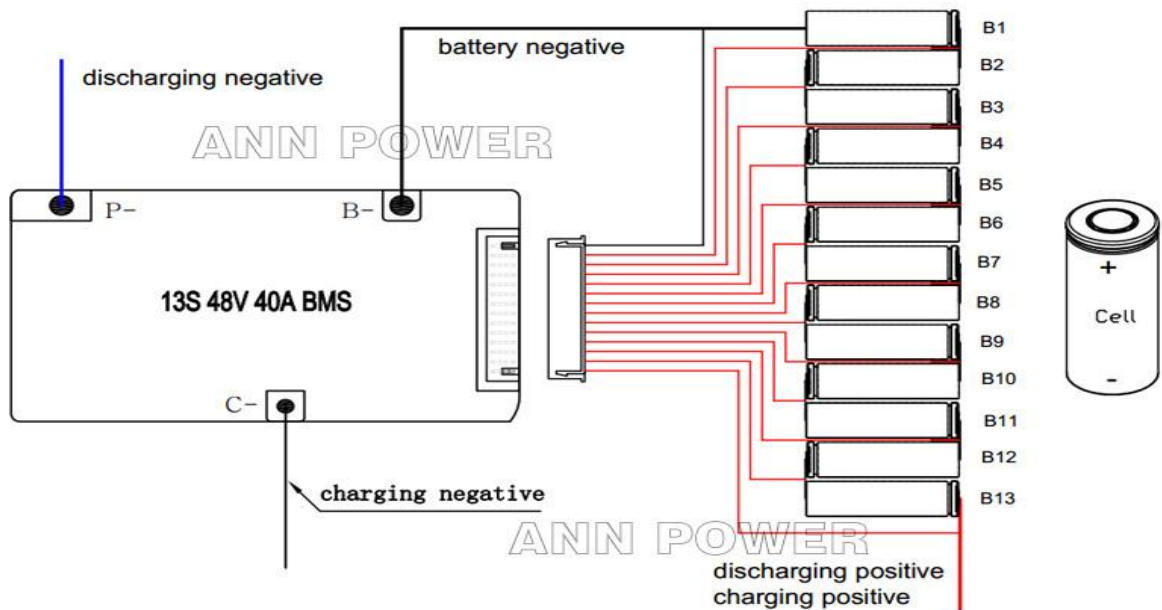


Рисунок. 6.2 – Схема підключення BMS плати до акумуляторів

Недоліки Li-ion акумулятора:

Висока ціна;

Чутливі до перезарядів та перегрівів, та вибухонебезпечні.

Літійові акумулятори є більш технологічно розвиненими в порівнянні AMG, або GEL.

Заряд та розряд проваджується BMS платою (Рис 6.2).

6.4 LiFePO₄ акумулятори

Літій-залізо фосфатна акумулятори відноситься до літій-іонної яка використовує літій-залізо фосфат ,цей матеріал позитивного електрода. Катодні матеріали цих акумуляторів включають оксид літій-кобальту, манганіт літію, нікла літію, та літій-залізо фосфат. У них оксид літій-кобальту є катодні матеріали, використовується в багатьох літій іонних акумуляторів (Рис. 6.3).

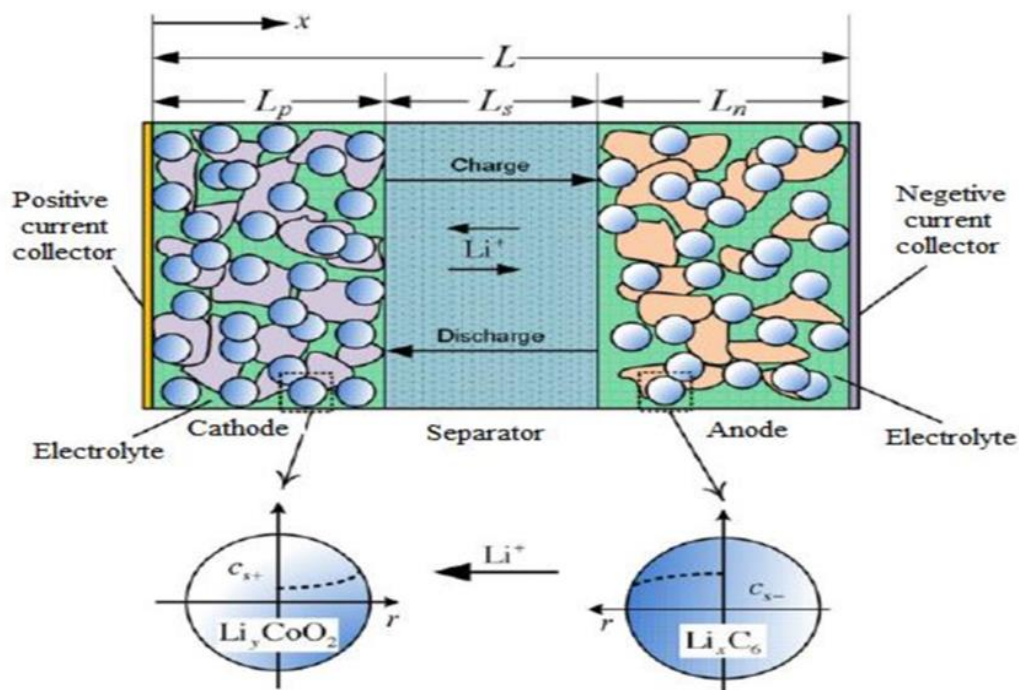


Рисунок 6.3 – LiFePO₄ акумулятор

У цій батареї використовуються катоди LiFePO₄, кожен з яких з'єднаний з позитивним електродом батареї та алюмінієвою фольгою. Іон літію Li може проходити крізь неї, але не електрон e⁻. Права сторона виготовлена з вуглецю (графіту). Анод і електрод батареї з'єднані з мідною фольгою. Між верхнім і нижнім кінцями батареї знаходиться електроліт, а сама батарея запаяна в металевий корпус. Коли батарея LiFePO₄ заряджається, іони літію з позитивного електрода рухаються до негативного електрода через полімерний сепаратор, а під час процесу розряду іони літію з негативного електрода рухаються до позитивного електрода через сепаратор.

Ці батареї названі на честь іонів літію, які рухаються під час заряджання та розряджання; нормальна напруга батареї LiFePO₄ становить 3,2 В, з кінцевою напругою заряджання 3,65 В і кінцевою напругою розряджання 2,8 В. Якість і майстерність всіх матеріалів катода, анода і електроліту, що використовуються виробниками, впливають на їх продуктивність. Давайте подивимося на ємність акумулятора однієї і тієї ж моделі. Вона варіюється в широких межах (від 1% до

20%). Літій-залізо-фосфатні акумулятори різних виробників ілюструють відмінності в різних параметрах продукту. Це такі характеристики батареї, як внутрішній опір, швидкість саморозряду і температура заряду/розряду. Літійові залізо-фосфатні акумулятори різної ємності можна розділити на малі - до 2 мА/год, середні - до десятків мА/год і великі - до сотень мА/год. Ці параметри залежать від типу батареї. Акумулятори використовувалися для випробувань на пере розряд до 2,8 В.

Ці випробування: батарея ємністю 280 А-год від EVE (рис. 6.4) заряджається зі швидкістю заряду 0,5 С і розряджається зі швидкістю розряду 1,0 С, поки напруга батареї не досягне 2,8 В. Потім батареї розділяють на дві групи, одну з яких зберігають 8 днів, а іншу - 31 день, і в кінці періоду зберігання батареї повністю заряджають зі швидкістю заряду 0,5 С і розряджають зі швидкістю 10 С. Потім порівнюються різниці у зберіганні напруги.



Рисунок 6.4 – Акумулятор ємністю 280 Ah виробництва фірми EVE

Результати тесту для акумулятора ємністю 280 А-год від виробника EVE: після 8 днів зберігання при напрузі 2,8 В, відсутність витоків, хороша продуктивність і 100-відсоткова ємність; після 31 дня зберігання, відсутність витоків, дуже хороша продуктивність і 99-відсоткова ємність; після 31 дня зберігання, зарядка і розрядка акумулятора відповідає циклам циклів, що відповідає 0,003 циклу заряду/розряду акумулятора. Ємність становить 100%.

Цей тест показує, що літій-залізо-фосфатні акумулятори можна розряджати до дуже низької напруги (навіть до 2,5 В) і зберігати протягом певного періоду часу без розрядження або пошкодження акумулятора. Характеристики цього тесту вказують на те, що це не стосується інших типів літій-іонних акумуляторів.

6.5 Позитивні риси акумулятора на основі LiFePO₄

Літій-залізо-фосфатні акумулятори - це літій-іонні акумулятори, які використовують літій-залізо-фосфат як матеріал позитивного електрода. Літій-залізо-фосфатні батареї мають термін служби понад 8000 циклів, досягаючи 9000 циклів при стандартному заряді (5 годин). У той час як AGM- і GEL-батареї тієї ж ємності мають термін служби від одного до трьох років, літій-залізо-фосфатні батареї, що використовуються в тих же умовах, мають термін служби від семи до дев'яти років. З точки зору співвідношення між продуктивністю і ціною, це теоретично більш ніж в чотири рази довше, ніж AGM і GEL.

Швидка зарядка і розрядка можлива при струмі 2С. За допомогою зарядного пристрою акумулятор можна повністю зарядити за 30 хвилин, а пусковий струм може досягати 2С, але AGM і GEL акумулятори не мають таких характеристик і поступаються їм. Тепло, що виділяється фосфатом заліза, досягає 350-500°C, тоді як літій-манганіт і літій-кобальт - лише близько 190°C. Це в діапазоні робочих температур (-0°C, -75°C).

При розробці експериментів із зарядки були зроблені великі заряди, кілька разів використовувалася напруга саморозряду і були зафіксовані вибухи. Таким чином, безпека зарядки була значно підвищена в порівнянні з літій-кобальт-оксидними акумуляторами з рідким електролітом.

Ємність батареї швидко падає навіть нижче номінального значення, а це означає, що батарея завжди повністю заряджена, а не розряджена. Це явище називається ефектом пам'яті; це така ж пам'ять, як у Ni-MH і Ni-Cd акумуляторів, але літій-залізо-фосфатні акумулятори не мають цієї переваги. Незалежно від стану батареї, її можна використовувати в будь-який час, не розряджаючи перед зарядкою. Літій-залізо-фосфатні акумулятори не містять важких металів або рідких металів (для Ni-H акумуляторів потрібні рідкі метали), нетоксичні (сертифіковані), не забруднюють навколишнє середовище, відповідають європейським нормам і мають сертифікат «Абсолютно зелена батарея» (Absolute Green Battery).

6.6 Недоліки літій-залізо-фосфатних акумуляторів

Важливіше те, чи є в матеріалі фундаментальний дефект. У процесі виробництва літій-залізо-фосфату оксид заліза може бути відновлений до заліза. Елементарне залізо може викликати дуже незначні короткі замикання в батареях і є найбільш забороненою речовиною в батареях. Це основна причина, чому Китай не використовує цей матеріал у позитивних електродах літій-іонних акумуляторів. Літій-залізо-фосфат має такі недоліки, як низька щільність розряду і низька щільність енергії. Доктор Дон Хілленбранд, науковець з Центру систем зберігання енергії Національної лабораторії, описав це як кошмар, коли говорив про низькотемпературні характеристики цих батарей. Його дослідження випробувань літій-іонних залізо-фосфатних акумуляторів показало, що вони добре працюють при низьких температурах.

Зважаючи на те, що хімічні елементи Li, Fe і P є доступними, а вартість не маленька, та вартість продукту з літій-залізо фосфату ще не є низькою. Якщо вилучити витрати на дослідження та розробки, то технологічна вартість матеріалу буде вища. Витрати на розробку батареї підвищать вартість одиниці енергії.

Співвідношення продуктивність чи ціна теоретично більш ніж у 4,5 рази вище, ніж у AGM або GEL батарей, тавони не мають такої переваги. Однак літій-залізо-фосфатні акумулятори наразі є ефективними у наш час.

ВИСНОВКИ

У роботі було проаналізовано наявні фотоелектричні перетворювачі енергії на основі неорганічних сполук та визначено переваги та недоліки використання фотоелектричних електростанцій на основі фотоелектричних перетворювачів.

Описані умови роботи автономних електростанцій за «зеленим тарифом».

Проаналізовано ряд дій для підключення фотоелектричних електростанцій та окупність інвестицій. Порівнюються характеристики фотоелектричних пристроїв на основі неорганічних сполук - полікристалічних і монокристалічних сонячних елементів. Монокристалічні сонячні елементи були порівняні і обрані, оскільки вони є на сьогодні більш ефективними і краще працюють в різних умовах.

Проведено розрахунки характеристик і параметрів сонячних елементів на основі неорганічних сполук та обрано перспективні сонячні елементи у 2024 році.

Представлена доповідь на міжнародній конференції на тему «Критерії вибору сонячних батарей» [16].

Розраховано економію від встановлення автономної сонячної електростанції з акумуляторами, трекерами та сонячними панелями. Проект не має на меті отримання прибутку від СЕС, а покликаний забезпечити безперебійне постачання електроенергії споживачам під час військових дій, віялових відключень та аварійних відключень електроенергії. Станції підвищать комфорт проживання в будинках цивільного населення.

Мій процес роботи є перспективним і вирішує низку дуже актуальних проблем. Альтернативне енергопостачання в Україні зараз дуже важливе, оскільки планові та аварійні відключення електроенергії є частими. Сонячні електростанції наразі є вирішенням цієї проблеми для більшості споживачів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Hasnain SMA SH, Elani UA. Solar energy education.
URL: <https://habr.com/ru/companies/ua-hosting/articles/393007> (дата звернення 30.11.2024).
2. Galat A. B. Simulation of an Optimal Design for (P)-a-Si:H/(N)-c-Si Photovoltaic Converters Using the Analytical Model // Telecommunications and Radio Engineering. 2015., No. 13 Vol. 74. P. 1215–1223.
3. Білюк А. А., Семчук О. Ю., Гаврилюк О. О. Фізико-хімічні властивості та застосування провідного органічного полімеру полі-3,4 етилендіоксітіофен-полістирол сульфонату // Поверхня. 2015., вип. 11 Т. 26. С. 414-435.
4. Huang L. M., Chen C. H., Wen T. C. Development and characterization of flexible electrochromic devices based on polyaniline and poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrene sulfonic acid) // Electrochimica Acta . 2006 . V. 51, No 26. P. 5858–5863.
- Sharma, N.; Gupta, S.K.; Negi, C.M. Майбутнє фотоелектричних технологій на основі CdTe URL: <https://energystorage.com.ua/novosti/budushhee-fotoelektricheskikh-tehnologij-na-osnove-tellurida-kadmiya/> (дата звернення 30.11.2024).
5. Галат О. Б., Бойко Б. Ю., Слюсаренко О. А. ПОГЛИНАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТОНКОПЛІВКОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ // XXI Міжнародна науково-технічна конференція «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи», 17-18 травня 2022 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. С. 29.
6. Бойко Б.Ю. АКТИВНИЙ ШАР ТАНДЕМНОГО СОНЯЧНОГО ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧА / XXVII Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 1. Харків: ХНУРЕ. 2023. С.41–42.

7. Galat A.B. Calculation of the absorbing capacity of a solar $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ photovoltaic converter // Telecommunications and Radio Engineering, Volume 77, Issue 1, 2018, Pages 61–67.

8. Huang L. M., Chen C. H., Wen T. C. Development and characterization of flexible electrochromic devices based on polyaniline and poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrene sulfonic acid) // Electrochimica Acta . 2006 . V. 51, No 26. P. 5858–5863.

9. Акумулятори до сонячної електростанції. URL: <https://voltmarket.ua/ua/luchshie-akkumulyatory-dlya-solnechnykh-batarei> (дата звернення 31.11.2024).

10. Вибір акумуляторних батарей. URL: <https://prel.prom.ua/a257262-vibir-akumulyatornoyi-batareyi.html> (дата звернення 31.11.2024).

11. Энергия солнца с приборами та контролерами та гібридними інверторами. URL: <https://m.habr.com/ru/amp/post/454024> (дата звернення 01.12.2024).

12. Бізнес журнал MIND URL: <https://mind.ua/openmind/20203968-nadshvidkij-start-chomuvidnovlyuvana-generaciya-stala-viprobuivanniam-dlya-ekonomiki-ukrayini> (дата звернення 30.11.2024).

13. Сайт компанії Енерготрейд, стаття «Практичні поради щодо встановлення сонячних станції» URL: <https://energotrade.su/blog/sovety-po-vyboru.htm> (дата звернення 12.12.2024)

14. Сайт Avenston, стаття «Як вибрати надійний сонячний модуль?» URL: <https://avenston.com/articles/howto-choose-solar-modules>. (дата звернення 12.22024).

15. Електронний журнал Екотехніка, стаття «Вибір обладнання для сонячної станції» URL: <https://ecotechnica.com.ua/stati/3803-oborudovanie-dlya-solnechnojelektrostantsii-kak-vybrat-invertor-akkumulyator-kontroller-i-paneli-dlyaavtonomnogo-doma.html> (дата звернення 12.22024).

16. Михайличенко С. Л. Критерії вибору сонячних батарей // Актуальні питання розвитку галузей науки: збірник наукових праць з матеріалами IV Міжнародної наукової конференції, м. Київ, 15 листопада, 2024 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп, 2024. С. 355 – 359. ISBN 978-617-8440-21-3 DOI 10.62731/mcnd-15.11.2024