

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНОГО  
ОЧИЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕНЕРГОМОДУЛІВ СТАНЦІЇ  
АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ»**

на здобуття освітнього ступеня магістра  
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
(код, найменування спеціальності)  
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології  
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання  
на відповідне джерело*

\_\_\_\_\_ (підпис)

Анастасія КАЗНАЧЕСВА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав: Казначесва Анастасія Василівна  
здобувач вищої освіти  
група ІСДМ-61

Керівник: Каміла СТОРЧАК  
науковий ступінь, д. т. н., професор  
вчене звання

Рецензент: Ольга ЗІНЧЕНКО  
науковий ступінь, д. т. н., доцент  
вчене звання

Київ 2023

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут інформаційних технологій**

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедру ІІЗАС

\_\_\_\_\_ Каміла СТОРЧАК

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

\_\_\_\_\_ Казначеева Анастасія Василівна

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження технології розумного очищення сонячних енергомодулів станції автономного живлення.

керівник кваліфікаційної роботи Каміла СТОРЧАК, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «19» 10.2023р. №145

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «29» грудня 2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, дослідження в галузі сонячної енергетики, технічна документація сонячних енергомодулів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Дослідження принципу розумного очищення сонячних панелей у станціях живлення

Аналіз можливості використання систем розумної очистки сонячних енергомодулів на станціях автономного живлення  
Експериментальне впровадження системи розумного очищення сонячних енергомодулів

5. Перелік графічного матеріалу: *презентація*

1. Використання IoT-технологій для автоматичного очищення сонячних панелей
2. Технічні особливості інтеграції IoT-систем у станції автономного живлення
3. Дослідження ефективності систем очищення для підтримки продуктивності сонячних енергомодулів
4. Концепція комплексної системи автоматичного очищення панелей

6. Дата видачі завдання «19» жовтня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	19.10-05.11.23	Виконано
2	Вивчення матеріалів для аналізу використання інформаційних технологій для бізнес-процесів на підприємствах України	05.11-12.11.23	Виконано
3	Дослідження використання IoT-технологій для автоматичного очищення сонячних панелей	13.11-19.11.23	Виконано
4	Аналіз особливостей інтеграції IoT-систем у станції автономного живлення	20.11-25.11.23	Виконано
5	Дослідження ефективності систем очищення для підтримки продуктивності сонячних енергомодулів	27.11-03.12.23	Виконано
6	Розробка комплексної системи автоматичного очищення панелей	04.12-10.12.23	Виконано
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	11.12-20.12.23	Виконано
8	Розробка демонстраційних матеріалів	21.12-29.12.23	Виконано

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Казначесва Анастасія Василівна

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Каміла СТОРЧАК

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)





## РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 86 стор., 58 рис., 36 джерел.

*Мета роботи* – дослідження технології розумного очищення сонячних енергомодулів станції автономного живлення. Вирішення задач інтеграції системи очищення у системи сонячної енергетики.

*Об'єктом дослідження* є сонячні енергомодулі та системи автономного живлення, які використовуються для генерації електроенергії з сонячного випромінювання.

*Предмет дослідження* – процес очищення сонячних енергомодулів в системах автономного живлення за допомогою технології розумного очищення, експериментальне випробування нових технологічних рішень для автоматизації та підвищення ефективності цього процесу в системах автономного живлення.

*Короткий зміст роботи:* робота присвячена дослідженню технології розумного очищення сонячних енергомодулів станції автономного живлення. У першому розділі проведено теоретичний огляд сучасних сонячних енергостанцій, їхні особливості та проблеми забруднення поверхні сонячних панелей. Увага приділена аналізу існуючих методів боротьби з цією проблемою. Другий розділ присвячений аналізу систем очищення сонячних панелей. Третій розділ присвячений розробці та експериментальному дослідженню системи розумного очищення. Представлено концепцію системи, проведено експерименти та здійснено порівняння результатів з існуючими методами очищення.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СОНЯЧНІ ЕНЕРГОМОДУЛІ, АВТОНОМНЕ ЖИВЛЕННЯ, РОЗУМНА ОЧИСТКА, СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЧИЩЕННЯ.

## **ABSTRACT**

The text part of the qualification work for obtaining the master's degree: 86 pages, 58 figures, 36 sources.

The purpose of the work is to research the technology of smart cleaning of solar energy modules of an autonomous power station. Solving the problems of integration of the purification system into the solar energy system.

The object of research is solar energy modules and autonomous power systems, which are used to generate electricity from solar radiation.

The subject of the study is the process of cleaning solar power modules in autonomous power systems using smart cleaning technology, experimental testing of new technological solutions for automation and increasing the efficiency of this process in autonomous power systems.

Brief content of the work: the work is devoted to researching the technology of intelligent cleaning of solar energy modules of an autonomous power station. In the first chapter, a theoretical overview of modern solar power plants, their features and problems of surface contamination of solar panels was conducted. Attention is paid to the analysis of existing methods of combating this problem. The second chapter is devoted to the analysis of solar panel cleaning systems. The third chapter is devoted to the development and experimental research of the smart cleaning system. The concept of the system is presented, experiments are carried out and the results are compared with existing cleaning methods.

**KEY WORDS: SOLAR ENERGY MODULES, AUTONOMOUS POWER SUPPLY, SMART CLEANING, SOLAR ENERGY, CLEANING AUTOMATION.**

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП.....</b>	<b>10</b>
<b>1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ СТАНЦІЙ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ НА СОНЯЧНИХ ЕНЕРГОМОДУЛЯХ.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Роль сонячної енергетики у сучасній промисловості.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Ключові аспекти сонячних енергомодулів у енергоустановках .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3. Технічні особливості використання сонячних енергомодулів.....</b>	<b>27</b>
<b>2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....</b>	<b>34</b>
<b>2.1. Аналіз ефективності застосування механічних систем очистки сонячних панелей.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2. Аналіз ефективності застосування водяних систем очистки сонячних панелей.....</b>	<b>35</b>
<b>2.3. Аналіз ефективності застосування ультразвукових систем очистки сонячних панелей.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4. Аналіз ефективності застосування поворотних систем очистки сонячних панелей.....</b>	<b>38</b>
<b>2.5. Загальний порівняльний аналіз ефективності методів автоматичного очищення сонячних панелей.....</b>	<b>39</b>



<b>3. РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕНЕРГОМОДУЛІВ.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1. Ключові засади системи розумного очищення панелей.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. Технічні особливості апаратного забезпечення системи.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3. Особливості розробки та інтеграції програмного забезпечення.....</b>	<b>56</b>
<b>4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1. Оцінка якості очищення сонячних модулів.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2. Прогнозування енергозатратності системи очищення.....</b>	<b>67</b>
<b>4.3 Аналіз переваг та недоліків комплексної системи очистки сонячних панелей.....</b>	<b>69</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>72</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>73</b>
<b>ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....</b>	<b>77</b>

## ВСТУП

*Актуальність теми:* в сучасному світі використання сонячних енергомодулів для автономного живлення набуває все більшої популярності. Однак вирішення проблем, пов'язаних із забрудненням поверхні сонячних панелей, може значно покращити ефективність цієї технології. Дослідження розумного очищення сонячних енергомодулів станції автономного живлення стає ключовим напрямком в розвитку сучасних сонячних систем.

*Мета дослідження* полягає в вивченні та впровадженні технологій, спрямованих на розумне очищення сонячних енергомодулів, з метою покращення їх продуктивності та тривалості служби.

*Завдання дослідження* включають:

- Дослідження архітектури станцій автономного живлення на сонячних енергомодулях.
- Вивчення основних викликів та перешкод, пов'язаних із забрудненням поверхонь сонячних панелей.
- Розробка концепції автоматизованої системи очищення, враховуючи різні методи та технології.
- Збір та аналіз даних про ефективність різних методів очищення, оцінка впливу системи розумного очищення на продуктивність сонячних енергомодулів у різних умовах експлуатації.

*Об'єктом дослідження* є сонячні енергомодулі та системи автономного живлення, які використовуються для генерації електроенергії з сонячного випромінювання.

*Предмет дослідження* – процес очищення сонячних енергомодулів в системах автономного живлення за допомогою технології розумного очищення, експериментальне випробування нових технологічних рішень

для автоматизації та підвищення ефективності цього процесу в системах автономного живлення.

Для виконання поставлених завдань використовуються такі *методи дослідження*:

- Аналіз літератури та ресурсів: Проведення огляду наукових робіт, публікацій, веб-ресурсів та статей, що стосуються сонячної енергетики, технологічних методів очищення сонячних панелей та Інтернету речей.

- Експертні опитування та інтерв'ю: Залучення експертів у галузі очищення сонячних панелей, бізнес-аналітиків та фахівців зі специфіки конкретної сфери для збору відгуків, порад та рекомендацій щодо впровадження технологічних рішень.

- Кейс-стаді: Дослідження та аналіз успішних випадків впровадження технологій для очищення сонячних панелей у промислових масштабах для визначення кращих практик та використання їх у власній розробці.

- Проектування та прототипування: Створення прототипів системи, тестування їх ефективності та функціональності.

- Тестування у реальних умовах: Впровадження прототипу комплексної системи очищення для збору даних та оцінки його роботи в реальному середовищі.

- Аналіз даних та висновки: Обробка та аналіз отриманих даних з метою оцінки ефективності та досягнення мети підвищення ефективності роботи сонячних панелей шляхом їх оптимального очищення.

*Апробація результатів магістерської роботи:* Казначеева А. В. «Альтернативна сонячна енергетика в системах безперебійного живлення». Тези доповіді на Всеукраїнській Науково-технічній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT». – Київ, 13 квітня 2023 р.

*Публікації:* Казначеева А. В. «Автоматизація очищення сонячних панелей на промислових та побутових сонячних станціях автономного живлення». Стаття у загальногалузевому науково-виробничому журналі «Зв'язок», м. Київ - №1, 2024. – С.267-288.

*Науковою новизною* є впровадження технології розумного очищення сонячних енергомодулів у станціях автономного живлення, яка базується на комбінації інноваційних методів та використанні сучасних технологій.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ СТАНЦІЙ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ НА СОНЯЧНИХ ЕНЕРГОМОДУЛЯХ

## 1.1 Роль сонячної енергетики у сучасній промисловості

Сонячна енергія, яка надходить на Землю, перевищує об'єм енергії, заключеного в усіх світових запасах нафти, газу, вугілля та інших енергетичних ресурсів. Використання лише дуже невеликої частки цієї енергії, а саме 0,0125%, може задовольнити поточні потреби у світовій енергії, а використання 0,5% вже повністю задовольнило б майбутні потреби. Використання сонячної енергії має значні переваги, такі як відсутність викидів тепла в атмосферу під час роботи сонячних установок, відсутність теплового ефекту та негативного впливу на якість повітря. Однак важливим недоліком є залежність від атмосферних умов, часу доби та року. Прогноз розвитку сонячної енергетики 2023-2027 року, представлений Європейською асоціацією сонячної енергетики SolarPower Europe у Global Market Outlook 2023-2027, вказує на перспективи росту галузі у світі.

На рис. 1.4 показано прогноз SolarPower Europe відносно зростання ринку сонячної енергетики у країнах Європи до 2027 року [1].

З графіка можна зробити висновок, що на думку експертів ринок сонячної енергетики збільшиться майже вдвічі у порівнянні з сьогоднішньою ситуацією.

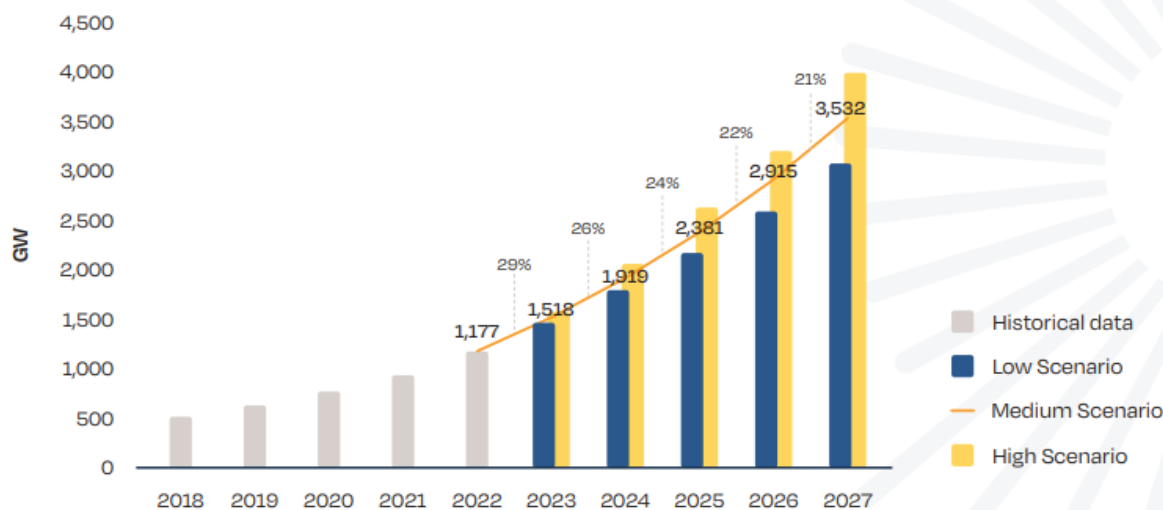


Рисунок 1.1 – Прогноз зростання ринку сонячної енергетики [1]

В останні роки відзначається зростання кількості постачальників сонячних систем, які надають підприємствам та галузям можливість використовувати сонячну енергію. Встановлення промислових сонячних енергосистем виявляється ефективним рішенням для забезпечення енергетичних потреб та представляє собою перспективну альтернативу традиційним джерелам енергії.

Сучасні сонячні енергетичні системи знаходять широке застосування в ключових промислових галузях. Ринок пропонує різноманітні ресурси та постачальників сонячної енергії, що дозволяє підприємствам забезпечувати стійке енергопостачання.

У розгляді вартості промислових сонячних енергосистем виявляється, що середні тарифи на сонячну електроенергію в порівнянні з традиційними джерелами є більш доступними. Таким чином, використання альтернативних джерел енергії сприяє зменшенню витрат та сприяє отриманню податкових пільг.

Аналізуючи сучасний стан ринку сонячних енергетичних систем, можна зазначити, що їхнє використання не лише сприяє економії ресурсів, але й сприяє сталому розвитку та дотриманню принципів екологічної ефективності у промисловості [2].

Сонячна енергетика в останні десятиліття виборола своє місце серед ключових джерел електроенергії, що визначається як важливий вирішальний фактор в глобальних зусиллях спрямованих на перехід до стійкого та екологічно чистого виробництва енергії. З технічної точки зору, сонячна енергетика є не тільки обіцяним вирішенням енергетичних викликів, а й ключовим компонентом енергетичної трансформації.

Однією з ключових переваг сонячної енергетики є її відновлюваність та безперервність. Сонячні панелі здатні генерувати електроенергію навіть за хмарного дня, завдяки фотовольтаїчним елементам, які перетворюють сонячне випромінювання безпосередньо в електричний струм. Це забезпечує постійний потік електроенергії, що робить сонячну енергетику досить надійною в порівнянні із залежністю від певних умов, яка характерна для інших джерел, таких як вітроенергетика або гідроенергетика.

З технічного погляду, фотовольтаїчні технології, в основі яких лежить явище фотоелектричного ефекту, стали доскональними та ефективними з точки зору конвертації сонячної енергії в електроенергію. Розвиток наноматеріалів та тонкоплівкових технологій дозволяє створювати високоефективні сонячні панелі, які можуть бути легко інтегровані у різноманітні простори, включаючи стіни будівель, покрівлі та навіть вбудовані в електроніку. Це дозволяє оптимізувати використання земель та ресурсів для електрогенерації.

Крім того, технології сонячної енергетики динамічно розвиваються у напрямку збільшення ефективності та зниження вартості виробництва.

Використання інноваційних матеріалів, вдосконалення конструкцій сонячних елементів та застосування передових методів виробництва сприяють зростанню конкурентоспроможності сонячної енергетики в порівнянні з традиційними джерелами енергії.

З точки зору інженерії, розробка та вдосконалення систем зберігання енергії є важливою складовою успішного впровадження сонячної енергетики. Технології акумуляції, такі як літій-іонні батареї та системи зберігання на основі водню, дозволяють компенсувати варіації у виробництві сонячної енергії та забезпечують надійний доступ до електроенергії навіть у відсутність сонячного випромінювання.

Сонячна енергетика визначається не лише як ключовий джерело відновлюваної енергії, але і як технічно ефективно та технологічно прогресивне рішення для задоволення енергетичних потреб сучасної промисловості. Впровадження та вдосконалення сонячних технологій висвітлюють перспективи розвитку енергетичного сектору, сприяючи реалізації стійких та екологічно чистих енергетичних систем.

Серед альтернативних джерел енергії, які можна використовувати в промислових енергетичних системах, сонячна енергія може запропонувати практичні, функціональні та економічні рішення.

Вибір технології відновлюваної енергії, яка може бути використана в промислових і лабораторних виробничих процесах, в основному залежить від типу енергії, відновлюваного джерела енергії та потенціалу, а також можливостей фізичної/технічної інфраструктури.

Загальна енергія, що накопичується у світових запасах вугілля, нафти та природного газу, дорівнює енергії сонячного світла протягом 30 днів.



Сонце використовується для виробництва світла, тепла та енергії на сільськогосподарських полях. Сонячна енергія; Підходящим альтернативним джерелом енергії для його роботи можуть бути освітлення електричних парканів, крапельний полив та пристрої їх автоматизації.

Із середньою кількістю сонячних годин 2609 на рік, Україна є країною, яка проводить близько 30% року на сонці. Сонячна енергія – це екологічно чисте джерело енергії, яке надходить від сонця та не має витрат на експлуатацію.

У нашому світі, який уже весь день піддається впливу сонячних променів, порівняно з енергією, отриманою з викопного палива, немає забруднення та втрати.

Сонячна енергія відіграє важливу роль у сільському господарстві та тваринництві, а також у промисловості. Іригація є однією з найефективніших сфер використання сонячної енергії, і враховуючи, що колодязі та інші водні ресурси розташовані в сільській місцевості далеко від міських центрів, попит у цій сфері зростає з кожним днем через високу вартість електроенергії.

Найважливішою перевагою сонячних водонасосних систем є простота використання та довговічність.

Панелі сонячної енергії збирають пряме сонячне світло та використовують ці промені для виробництва тепла або електроенергії.

Джерелом цієї енергії є реакції термоядерного синтезу, які відбуваються під час перетворення водню в гелій на поверхні Сонця.

Інтенсивність сонячної енергії поза атмосферою Землі приблизно постійна і становить  $1370 \text{ Вт/м}^2$ , але коливається від 0 до  $1100 \text{ Вт/м}^2$  на Землі.

Найбільшою характеристикою енергії, що досягає Землі від Сонця, є те, що вона безмежна.

Сонячна енергія оцінюється у формі світла, тепла та електрики.

Фотоелектричні (PV) системи перетворюють сонячну енергію безпосередньо в електрику і можуть бути встановлені на дахах будівель, приладах і навіть автомобілях.

Для нагріву води використовуються сонячні теплові колектори, які широко використовуються в нашій країні.

Сонячна енергія є важливою енергетичною альтернативою в країнах, які отримують багато сонця, наприклад в Україні.

Ця технологія особливо корисна для автономного виробництва електроенергії в сільській місцевості.

Найбільшим недоліком цієї технології є те, що її неможливо виробляти вночі.

Через те, що енергетичні запаси Землі будуть вичерпані за короткий час, ціни на паливо зростають з кожним днем. У 2025 році, за оцінками, ціна бареля мазуту становитиме близько 60 доларів.

Сонячні батареї – єдине невичерпне джерело енергії, яке не виробляє диму, чадного газу та радіації.

Сонячна енергетика також пропонує альтернативні системні рішення для різних типів застосувань з низькими експлуатаційними витратами.

Сонячна енергетика не залежить від іноземних держав, економічні та політичні кризи не впливають на сонячну енергетику. [3]

На рис. 1.2 показано 20 найкращих світових сонячних фотоелектричних установок за країнами, а на рис. 1.3 - глобальні сонячні фотоелектричні установки за регіонами.

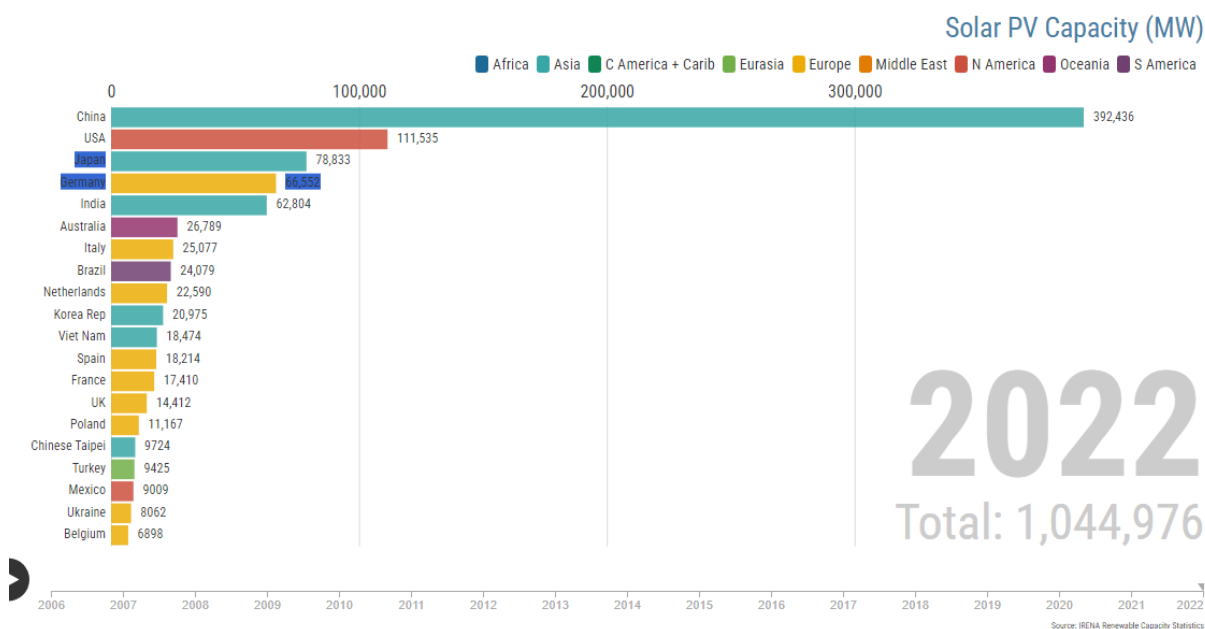


Рисунок 1.2 – 20 найкращих світових сонячних фотоелектричних установок за країнами

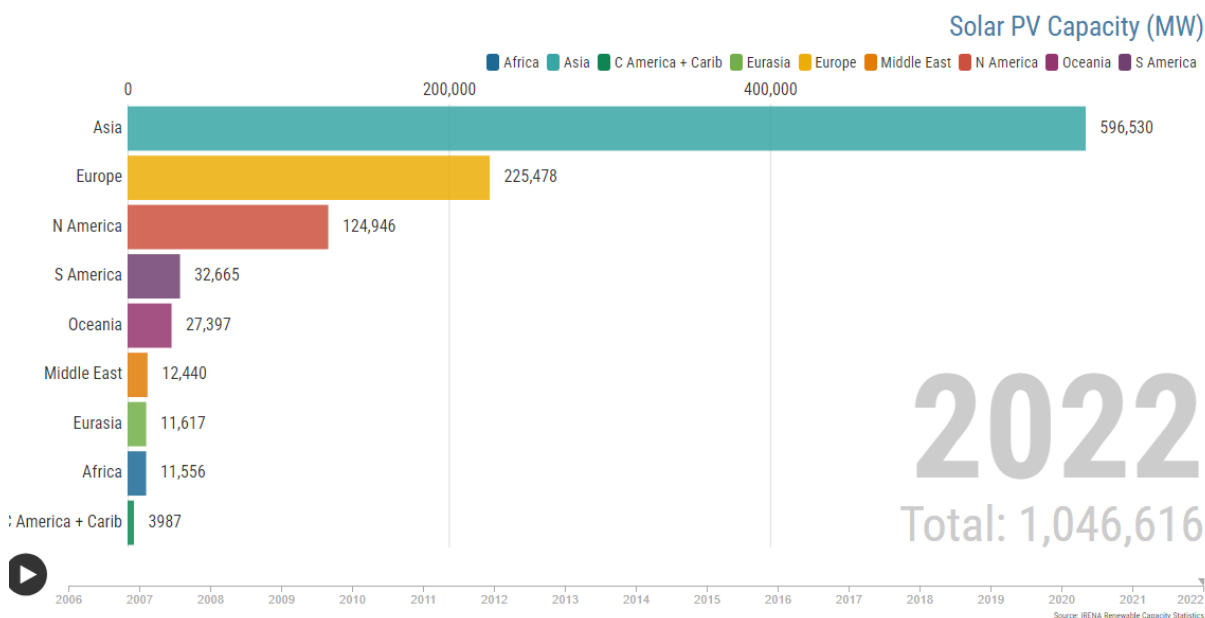


Рисунок 1.3 – Глобальні сонячні фотоелектричні установки за регіонами

## 1.2 Ключові аспекти використання сонячних енергомодулів у енергоустановках

Сонячні панелі представляють собою фотовольтаїчні пристрої, призначені для перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію (рис. 1.1). Основним компонентом сонячної панелі є фотоелементи, які зазвичай виготовляються з напівпровідникових матеріалів, таких як кристали кремнію. Фотоелементи є основними клітинами, які здійснюють перетворення світлової енергії на електричний струм.



Рисунок 1.2 – Сонячна панель

Принцип роботи сонячних панелей базується на фотоелектричному ефекті, що виникає при взаємодії світлового випромінювання з напівпровідниковою структурою фотоелемента.

Основні етапи цього процесу можна описати наступним чином:

1. Поглиблення світлового випромінювання: Сонячна панель вбирає фотони світлового випромінювання, особливо в області видимого та близького інфрачервоного спектру.

2. Вироблення електрон-діркових пар: фотони, поглинуті напівпровідниковим матеріалом, спричиняють звільнення електронів від атомів, внаслідок чого утворюються електрон-діркові пари.

3. Рух електронів: утворені електрони рухаються в напрямках, які створюють потенціал для генерації електричного струму.

4. Створення постійного електричного струму: електрони направляються до внутрішньої структури сонячного елемента, де їх збирають електроди, створюючи постійний електричний струм.

5. Вивід електричного струму: електричний струм може бути виведений через електричні контакти сонячної панелі та використаний для живлення електричних пристроїв чи зберігатися в системі зберігання енергії.

Принцип фотоелектричного ефекту схематично показано на рис. 1.2.

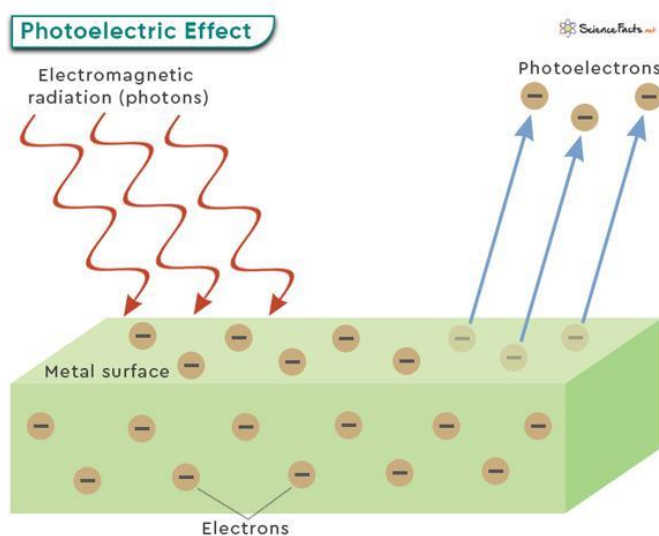


Рисунок 1.3 – Фотоелектричний ефект

Такий процес дозволяє сонячним панелям конвертувати сонячну енергію в електричну, що робить їх ефективним та екологічно чистим джерелом енергії.

Станція автономного живлення на сонячних енергомодулях - це комплексна система, яка використовує сонячні енергомодулі для генерації

електроенергії та забезпечення електричного живлення віддалених чи незалежних від електричних мереж об'єктів (рис. 1.3). Такі станції зазвичай використовуються в сільських районах, віддалених місцевостях, а також для забезпечення роботи окремих об'єктів, таких як світлофори, сигнальні маяки або вуличні камери.

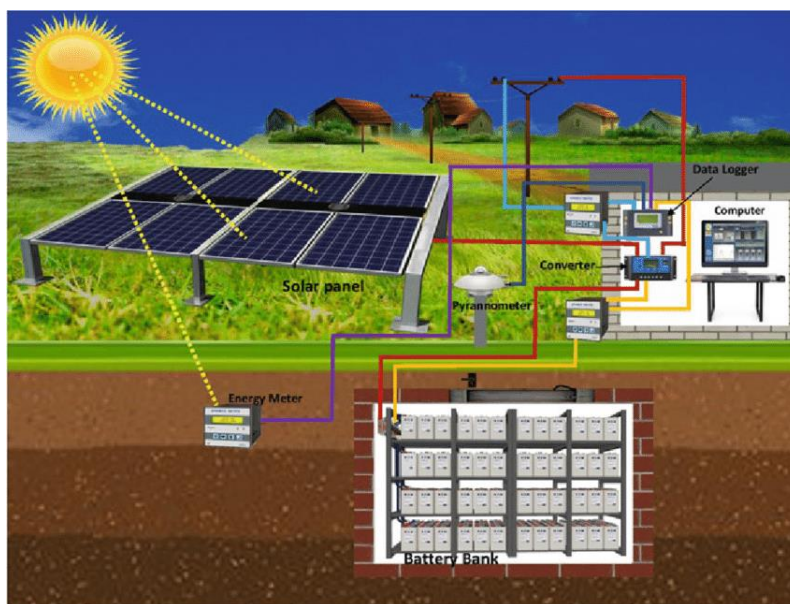


Рисунок 1.4 – Станція автономного живлення на сонячних енергомодулях

Основні компоненти станції автономного живлення на сонячних енергомодулях включають:

- Сонячні енергомодулі (фотоелементи): встановлені на спеціальних конструкціях для збору сонячного випромінювання і генерації електроенергії.
- Система зберігання енергії: Акумулятори або інші пристрої для зберігання виробленої енергії для використання в періоди недостатньої сонячної активності, наприклад, вночі або в хмарну погоду.
- Інвертор: пристрій для перетворення постійного струму, генерованого сонячними енергомодулями, в змінний струм, який може бути використаний для живлення побутових та електричних пристроїв.

- Система управління та контролю: автоматизована система, яка відстежує ефективність генерації енергії, керує зберіганням енергії та регулює роботу системи в цілому.

- Електричні комунікації та розподільча система: мережа проводів та розеток, яка дозволяє розподіляти електроенергію для підключених об'єктів.

- Конструкція та кріплення: інфраструктура для встановлення сонячних енергомодулів та інших компонентів, забезпечення їхньої стійкості та ефективної роботи.

Станції автономного живлення на сонячних енергомодулях дозволяють забезпечувати електричне живлення в зонах, де відсутні традиційні електричні мережі, або там, де встановлення таких мереж є непрактичним чи дорогим.

Використання сонячних енергомодулів у енергоустановках має ряд переваг, які визначають їхню привабливість та ефективність:

- Відновлювана та низькоемісійна енергія: сонячні енергомодулі генерують електроенергію з використанням сонячного випромінювання, що є відновлюваною та чистою енергією, сприяючи зменшенню викидів парникових газів.

- Економічна вигода та низькі операційні витрати: одноразові витрати на встановлення сонячної енергосистеми компенсуються низькими операційними витратами, оскільки сонячні панелі мають обмежену потребу в обслуговуванні та майже нульові витрати на паливо.

- Децентралізоване виробництво: сонячні енергосистеми дозволяють створювати децентралізовані джерела енергії, що сприяє гнучкості та зменшує ризик виникнення збоїв.

- Збереження енергії: застосування систем зберігання енергії, таких як акумулятори, дозволяє забезпечити постійний доступ до електроенергії навіть у відсутність сонячної радіації.

- Низький ризик від змін клімату: у порівнянні з традиційними джерелами енергії, сонячні енергомодулі менше вразливі до коливань цін на паливо та інших змін в енергетичному секторі.

- Автономність: в сонячних енергосистемах може бути реалізована автономність, що дозволяє ефективно використовувати їх у віддалених та важкодоступних областях без необхідності великої інфраструктури.

- Технологічний розвиток та інновації: швидкий технологічний розвиток у галузі сонячних технологій призводить до новаторських рішень, покращень у конверсії енергії та зменшення витрат.

- Сприяння сталому розвитку: використання сонячних енергомодулів сприяє сталому розвитку, зменшує залежність від вичерпних джерел та покращує екологічні показники.

Отже, сонячні енергомодулі відіграють ключову роль у роботі станції автономного живлення, забезпечуючи стійке та екологічно чисте джерело енергії через генерацію електроенергії з сонячного випромінювання.

Сучасний енергетичний ландшафт вимагає технологічно продуктивних та довірених джерел відновлювальної енергії. Серед них, сонячна енергетика виходить на передній план, і вибір відповідних сонячних панелей визначається різноманітністю технічних параметрів та характеристик.

Сонячні панелі можна класифікувати за технологією виготовлення та типом матеріалу, який вони використовують для перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію.



Основні три типи сонячних панелей: монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові:

1. Монокристалічні сонячні панелі. Вони виготовляються з одного кристала кремнію та мають високий коефіцієнт ефективності, що робить їх ефективними при обмеженому просторі.

2. Полікристалічні сонячні панелі. Тут використовуються кристали, які складаються з численних кристалічних структур. Хоча їх коефіцієнт ефективності менший, вони мають більш доступні вартісні показники та демонструють хорошу продуктивність в умовах меншої сонячної інтенсивності.

3. Тонкоплівкові сонячні панелі. Вони виготовлені з тонких шарів fotocутливих матеріалів, таких як аморфний кремній чи кадмієво-теллуридний склерен. Цей тип панелей дозволяє гнучкість та легше використання у вбудованих системах.

Монокристалічні панелі зазвичай потребують менше простору для того ж обсягу енергії, в той час як полікристалічні можуть бути вигідними у великих просторах.

Тонкоплівкові панелі зазвичай є більш доступними, але менш ефективними. Вибір повинен враховувати баланс між фінансами та продуктивністю.

У зоні з високим рівнем сонячної інтенсивності монокристалічні панелі можуть бути більш вигідним вибором, тоді як у менш сонячних областях полікристалічні можуть бути прийнятнішими.

Деякі типи панелей можуть мати більш привабливий зовнішній вигляд, що може бути важливим фактором для певних застосувань, таких як вбудовані системи.

Вибір сонячних панелей є складним завданням, що вимагає уважного розгляду різноманітних факторів. Класифікація та врахування технічних особливостей кожного типу панелей, а також врахування вимог конкретного застосування, дозволяють здійснити інформований та ефективний вибір. Врахування розмаїття кліматичних, економічних та естетичних факторів є ключовим для досягнення оптимальних результатів в галузі сонячної енергетики.

У табл. 1.1 надано порівняльний огляд технічних характеристик трьох основних типів сонячних панелей. Монокристалічні панелі відзначаються високим коефіцієнтом ефективності та довговічністю, але вони є вартісними та потребують обмеженого простору. Полікристалічні панелі є менш вартісними, але менш ефективними, а тонкоплівкові панелі мають низьку вартість і високу гнучкість, але меншу ефективність та довговічність.

Таблиця 1.1 – Порівняльний огляд технічних характеристик різних видів сонячних панелей

Характеристики Типи панелей	Тонкоплівочні	Монокристалічні	Полкристалічні
ККД, %	12	25	20
Вартість	найдешевша	найдорожчі	менша за моно
Термін служби, років	<2	20	20
Вага	найлегші	найважчі	менші за моно-
Потреба в площі для системи 10 кВт, м <sup>2</sup>	85	70	183
Кут сонячного випромінювання, градусів	-	90	-
Найбільш доцільно використовувати	домогосподарства	Домогосподарства або промислові трекерні	Промислові стаціонарні

### 1.3 Технічні особливості використання сонячних енергомодулів

В сучасному світі, коли питання сталості джерел енергії та екологічної безпеки стають надзвичайно актуальними, використання сонячних енергомодулів у станціях автономного живлення представляє собою обіцяну та стійку альтернативу. Академічний розгляд технічних аспектів цього процесу виявляє визначені особливості, що сприяють оптимізації та підвищенню ефективності сонячних енергетичних систем.

Першочергово, важливим аспектом є правильне розташування та орієнтація сонячних енергомодулів. Географічне положення станції визначає оптимальний кут нахилу та орієнтацію модулів для максимального збору сонячного випромінювання. Точне врахування цих параметрів є важливим для забезпечення ефективного функціонування системи.

Другим ключовим аспектом є вибір сонячних енергомодулів на основі їхньої максимальної потужності та виходових характеристик (рис. 1.5). Оптимальна вибірка модулів дозволяє враховувати вимоги станції та максимізувати ефективність енергетичного виробництва.

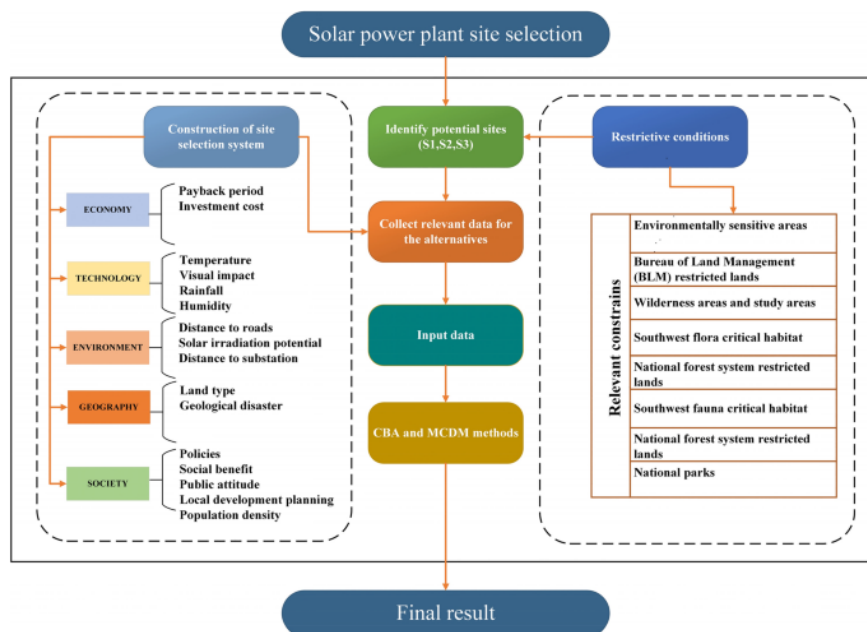


Рисунок 1.5 – Схема вибору сонячних панелей

Основні технічні характеристики сонячних панелей представлені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики сонячних панелей

<b>Параметр</b>	<b>Значення</b>
Тип	Монокристалічні, полікристалічні, тонкі плівкові (аморфні, CIGS, CdTe)
Ефективність	Відсоток преобразованої сонячної енергії в електроенергію
Потужність	Максимальна електрична потужність, що генерується панеллю в стандартних умовах тестування (STC)
Напруга	Напруга на виході панелі при максимальній потужності
Струм	Струм на виході панелі при максимальній потужності
Робоча температура	Діапазон температур, при яких панель може працювати оптимально
Розміри	Розміри панелі в дюймах або сантиметрах

Забезпечення належного зарядного та контрольного обладнання – третій аспект, який вимагає уваги. Контролери заряду визначають ефективний потік енергії між енергомодулями та акумуляторами, щоб уникнути їхнього перезарядження чи недозаряду. Це важливо для збереження довговічності батарей та забезпечення стабільності системи. Схему взаємодії між всіма апаратними компонентами на сонячних станціях показано на рис. 1.6.

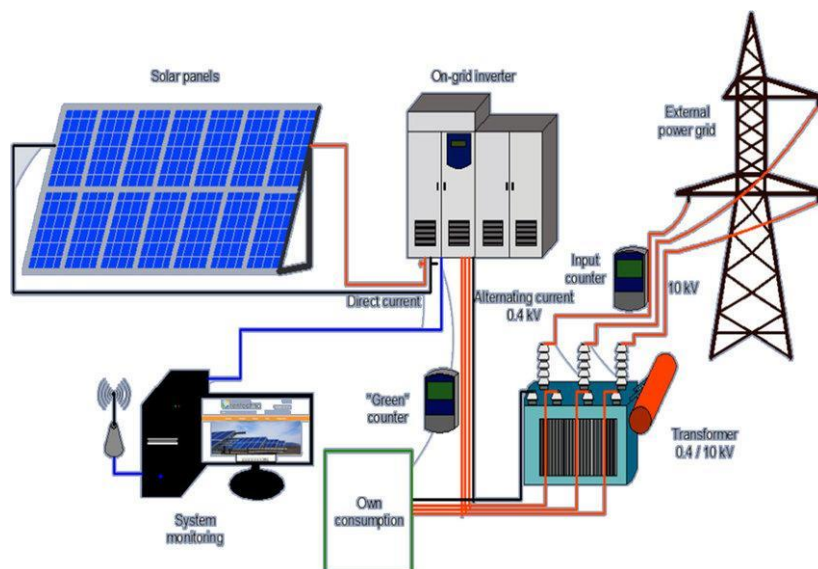


Рисунок 1.6 – Апаратні компоненти сонячних станцій

По-четверте, системи зберігання енергії визначаються як критичний елемент для станцій автономного живлення. Врахування періодів низької сонячної активності вимагає наявності ефективних акумуляторних батарей чи інших сховищ енергії для забезпечення стійкості живлення.

Моніторинг та управління, як п'ятий аспект, необхідні для ефективної експлуатації сонячної енергетичної системи. Системи реального часу дозволяють відслідковувати виробництво енергії, виявляти потенційні несправності та приймати оперативні рішення.

Шостий аспект, а саме стійкість до умов експлуатації, визначається належним захистом сонячних енергомодулів від атмосферних впливів, механічної дії та температурних коливань.

У завершення, ефективна інтеграція всіх цих технічних аспектів визначає успішність сонячної енергетичної системи у станціях автономного живлення. Врахування цих технічних особливостей стає ключем до створення стійких, продуктивних та екологічно безпечних сонячних енергетичних систем у сфері автономного живлення.

Виробництво сонячної енергії охоплює виробництво продуктів і матеріалів у всьому ланцюжку вартості сонячної енергії. Незважаючи на те, що існує певне концентроване сонячно-теплове виробництво, більшість сонячних виробництв у світі пов'язані з фотоелектричними системами. Ці системи складаються з фотоелектричних модулів, стелажів і електропроводки, силової електроніки та пристроїв моніторингу системи, які всі виготовлені.

Більшість комерційно доступних фотоелектричних модулів покладаються на кристалічний кремній як матеріал поглинача. Ці модулі мають кілька етапів виробництва, які зазвичай відбуваються окремо один від одного.

Виробництво полікремнію – полікремній – це дрібнозернистий кристалічний кремнієвий продукт високої чистоти, зазвичай у формі стрижнів або кульок залежно від методу виробництва. Полікремній зазвичай виготовляють за допомогою методів, які покладаються на високоактивні гази, синтезовані переважно з використанням металургійного кремнію (отриманого з кварцового піску), водню та хлору. В одному процесі, який називається процесом Сіменса, газ сполуки кремній-водень-хлор проходить через нагріту кремнієву нитку, розриваючи молекулярні зв'язки та осідаючи атом кремнію на нитці, яка зрештою перетворюється на великий U-подібний полікремнієвий стрижень. Атоми водню та хлору повторно використовуються в замкнутому циклі. Щоб нитка не забруднювала високочистий полімер, сама нитка також виготовлена з чистого кремнію. В іншому методі невеликі кремнієві кульки сидять на дні перевернутої конусоподібної посудини, куди закачується суміш кремнію та водню, змушуючи дрібні кульки плавати біля поверхні. Нагрівання посудини спричиняє розрив кремнієво-водневих зв'язків, у результаті чого атоми кремнію осідають на дрібних кульках, доки вони не стають занадто

важкими, щоб плавати та падають на дно посудини, де їх збирають, готові до використання.

Виробництво зливків і пластин . Щоб перетворити полікремній на пластини, полікремній поміщають у контейнер, який нагрівається, доки полікремній не утворить рідку масу. В одному процесі, який називається процесом Чохральського, великий циліндричний злиток монокристалічного кремнію вирощують шляхом торкання маленької кристалічної затравки до поверхні рідини та повільного витягування її вгору. В іншому процесі, який називається спрямованим затвердінням, рідку масу повільно охолоджують, поки вона не затвердіє знизу вгору, утворюючи великозернистий злиток мультикристалічного кремнію. Кремнієві злитки потім нарізають на дуже тонкі пластини за допомогою пилок з алмазним покриттям. Силіконова тирса, яка утворюється, називається пропилом. Хоча це менш поширене, виробництво пластини без різання можна здійснити шляхом витягування охолоджених шарів із ванни розплавленого кремнію або використанням газоподібних сполук кремнію для нанесення тонкого шару атомів кремнію на кристалічний шаблон у формі пластини.

Виготовлення клітин – кремнієві пластини потім виготовляються у фотоелектричні елементи. Першим кроком є хімічне текстурування поверхні пластини, яке усуває пошкодження пилом і збільшує кількість світла, що потрапляє на пластину, коли вона піддається впливу сонячного світла. Подальші процеси значно відрізняються залежно від архітектури пристрою. Більшість типів елементів вимагають, щоб пластини були піддані впливу газу, що містить електрично активну добавку, і покриття поверхні пластини шарами, які покращують продуктивність клітини. Трафаретний друк срібної металізації для електричних контактів також дуже поширений серед типів елементів.

Збірка модуля – на заводі зі складання модулів мідні стрічки, покриті припоєм, з'єднують срібні шини на передній поверхні однієї комірки з задньою поверхнею сусідньої комірки в процесі, відомому як з'єднання та натягування. Взаємопов'язаний набір комірок розташований лицьовою стороною вниз на аркуші скла, покритому листом полімерного інкапсулятора. Другий лист герметика поміщається поверх комірок лицьовою стороною вниз, а потім міцний полімерний нижній шар або інший шматок скла. Весь стос матеріалів ламінується в духовці, щоб зробити модуль водонепроникним, потім доповнюється алюмінієвою рамою, герметиком для країв і розподільною коробкою, в якій стрічки підключені до діодів, які запобігають будь-якому зворотному потоку електроенергії. Електричні кабелі від розподільної коробки передають струм, вироблений модулем, до сусіднього модуля або до силової електроніки системи.

Тонка плівка PV може стосуватися ряду різних поглинаючих матеріалів, найпоширенішим з яких є телурид кадмію ( $\text{CdTe}$ ). Тонкоплівкові фотоелектричні модулі зазвичай обробляються як єдине ціле від початку до кінця, де всі кроки відбуваються в одному об'єкті. Виробництво, як правило, починається з флоат-скла, покритого прозорим провідним шаром, на який наноситься матеріал фотоелектричного поглинача в процесі, що називається сублімацією на закритому просторі. Лазерне скрайбування використовується для нанесення візерунків клітинних смужок і формування шляху з'єднання між сусідніми клітинами. Накладаються мідні стрічки, зверху розміщується лист капсуля та другий лист скла, а стопка ламінується, щоб зробити її водонепроникною. Нарешті, до задньої частини модуля прикріплюється розподільна коробка. Там до мідних стрічок кріпляться електричні кабелі модуля, які проходять у розподільну коробку через отвори в задньому склі.



Опорні конструкції, побудовані для підтримки фотоелектричних модулів на даху або в полі, зазвичай називають стелажними системами. Виробництво фотоелектричних стелажних систем суттєво відрізняється залежно від місця встановлення. Наземні стелажі виготовлені зі сталі, яка, як правило, покрита або оцинкована для захисту від корозії та потребує бетонної основи. Великі наземні системи зазвичай використовують одноосьовий механізм відстеження, який допомагає сонячним панелям слідувати за сонцем, коли воно рухається зі сходу на захід. Для відстеження потрібні механічні частини, такі як двигуни та підшипники. Також можна використовувати стаціонарні стелажі (які називаються «фіксованим нахилом»). Покрівельний стелаж залежить від типу даху. Для плоских дахів, таких як у великих комерційних або промислових будівлях, використовуються сталеві стійки з фіксованим нахилом. Зазвичай він кріпиться до важких блоків, які сидять на даху. Для похилих житлових дахів стійки призначені для надійного кріплення до крокв і утримання модулів на кілька дюймів над дахом. Це дозволяє потоку повітря охолоджувати задню частину модулів, покращуючи їх продуктивність.

Силова електроніка для фотоелектричних модулів, включаючи оптимізатори потужності та інвертори, зібрана на електронних платах. Це апаратне забезпечення перетворює електроенергію постійного струму (DC), яку генерує сонячна панель, на електроенергію змінного струму (AC), яку використовує електрична мережа.

## 2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

### 2.1 Аналіз ефективності застосування механічних систем очистки сонячних панелей

Системи автоматичної очистки сонячних панелей розробляються та використовуються з метою забезпечення ефективної роботи сонячних електростанцій. Очищення сонячних панелей може бути важливим аспектом для забезпечення максимального збору сонячної енергії, оскільки забруднені або покриті шаром пилу панелі можуть значно знижувати їхню ефективність.

Механічні системи використовуються для механічного видалення забруднень з поверхні сонячних панелей. Це може включати встановлення механічних щіток або пирососів, які періодично рухаються по поверхні панелей. Цей процес спрямований на видалення пилу та інших частинок, що можуть негативно впливати на прозорість та ефективність панелей.

Переваги та недоліки механічних систем очищення представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Переваги та недоліки механічних систем очищення

Переваги	Недоліки
Ефективне видалення пилу та забруднень	Може вимагати додаткового енергоспоживання
Проста технологія	Можливість пошкодження поверхні панелей
Низькі витрати експлуатації	Потребує регулярного обслуговування

Приклад механічної системи очищення представлений на рис. 2.1.

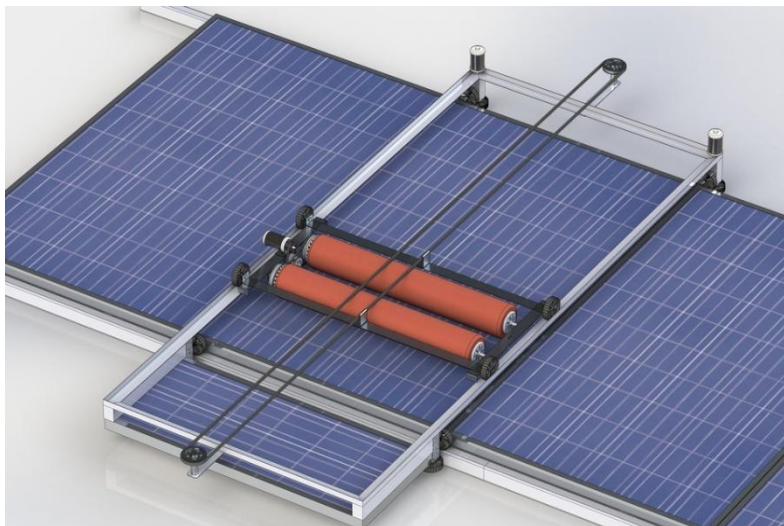


Рисунок 2.1 – Механічна система очищення сонячних панелей

## 2.2 Аналіз ефективності застосування водяних систем очистки сонячних панелей

Водяні системи базуються на розпиленні води або очищуючого розчину на поверхні сонячних панелей. Це зрошування дозволяє видалити або розчинити забруднення, покращуючи прозорість панелей і, відповідно, їхню ефективність в зборі сонячної енергії.

Системи зрошення забезпечують ефективне видалення забруднень внаслідок розпилення води або очищуючого розчину. Ефективність залежить від частоти та об'єму зрошення.

У табл. 2.2 наведено переваги та недоліки використання водяних систем очистки.

Таблиця 2.2 – Переваги і недоліки водяних систем очистки

Переваги	Недоліки
Забезпечує ефективне миття поверхні	Може вимагати значних об'ємів води

Можливість використання очищуючих розчинів	Залежність від доступу до водопостачання
Можливість автоматизації процесу	Вимагає додаткового обладнання та інфраструктури

На рис. 2.2 показано вигляд зрошувальної системи автоматичної очистки сонячних панелей.

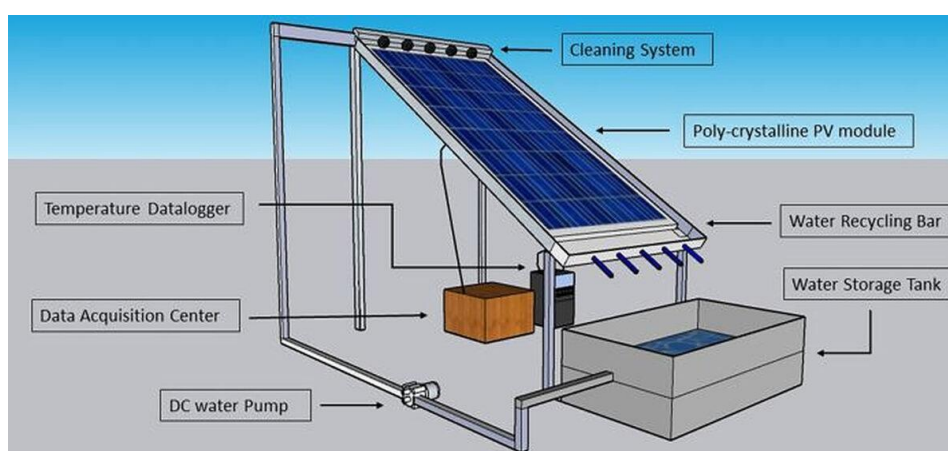


Рисунок 2.2 – Водяна система очистки сонячних панелей

### 2.3 Аналіз ефективності застосування ультразвукових систем очистки сонячних панелей

Ультразвукові системи використовують ультразвукові пристрої для генерації вібрацій на поверхні сонячних панелей. Ці вібрації призначені для відштовхування або розсіювання забруднень, зберігаючи поверхню панелей чистою і оптимізованою для прийому сонячного випромінювання.

Ультразвукові вібрації використовуються для відштовхування забруднень. Ефективність може залежати від типу забруднень та частоти вібрацій.

У табл. 2.3 наведено переваги та недоліки використання водяних систем очистки.

Таблиця 2.3 – Переваги і недоліки ультразвукових систем очистки

Переваги	Недоліки
Не вимагає контакту з поверхнею	Ефективність може бути обмеженою для твердих забруднень
Може відштовхувати пил та легкі забруднення	Вимагає точної настройки та керування
Можливість застосування для різних типів поверхонь	Може бути негативний вплив на цілісність та стабільність роботи сонячних панелей

На рис. 2.3 показано вигляд зрошувальної системи автоматичної очистки сонячних панелей.

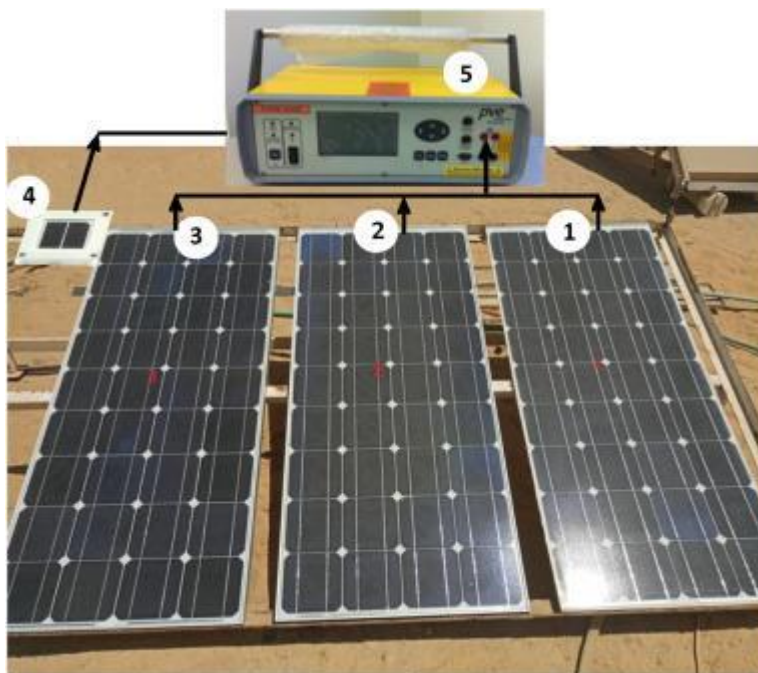


Рисунок 2.3 – Ультразвукова система очистки сонячних панелей

## 2.4 Аналіз ефективності застосування систем повороту панелей очистки сонячних панелей

Системи повороту панелей включають автоматичне нахилання сонячних панелей для оптимізації їхнього положення щодо сонячного випромінювання. Це дозволяє максимізувати збір сонячної енергії, змінюючи кут нахилу панелей під впливом опадів та забруднень.

Системи автоматичного нахилання спрямовані на оптимізацію ефективності генерації електроенергії шляхом зміни кута нахилу сонячних панелей. Це може поліпшити збір сонячної енергії, особливо в регіонах зі значними змінами положення сонця.

У табл. 2.4 наведено переваги та недоліки використання водяних систем очистки.

Таблиця 2.4 – Переваги і недоліки ультразвукових систем очистки

Переваги	Недоліки
Покращення ефективності виробництва	Додаткова механіка, яка може вимагати обслуговування
Автоматична адаптація до руху сонця	Вартість обладнання та встановлення
Можливість інтеграції з датчиками із напрямком сонця	Залежність від погодних умов

На рис. 2.4 показано вигляд зрошувальної системи автоматичної очистки сонячних панелей.

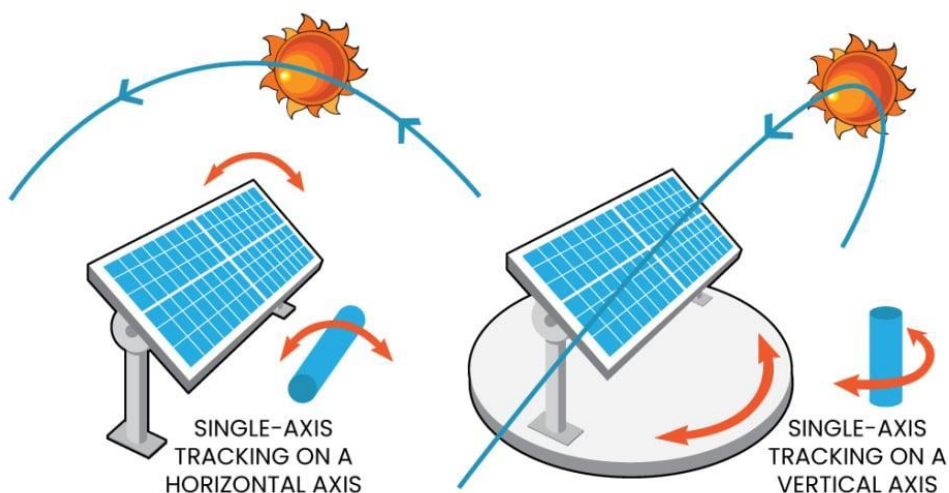


Рисунок 2.4 – Поворотна система очистки сонячних панелей

## **2.5 Загальний порівняльний аналіз ефективності методів автоматичного очищення сонячних панелей**

Кожна з розглянутих вище систем спрямована на підтримку максимальної ефективності сонячних панелей шляхом забезпечення їхньої чистоти та оптимального положення для збору сонячної енергії.

У табл. 2.5 показано порівняльну характеристику всіх типів систем автоматичного очищення сонячних панелей.

Таблиця 2.5 – Порівняння різних типів систем очищення панелей

Тип системи	Ефективність	Переваги	Недоліки
Механічні системи	Залежить від типу забруднень	- ефективно механічне видалення пилу та забруднень	- можливість пошкодження поверхні панелей
Водяні системи	Залежить від частоти зрошення	- забезпечує ефективно миття поверхні	- може вимагати значних об'ємів води, залежність від водопостачання
Ультразвукові системи	Залежить від частоти вібрацій	- не вимагає контакту з поверхнею	- ефективність обмежена для твердих забруднень
Системи повороту панелей	Залежить від точності налаштування та управління	- покращення ефективності виробництва	- додаткова механіка, вартість обладнання, залежність від погоди

Як видно з вищезазначеної таблиці, системи автоматичної очистки сонячних панелей представляють широкий спектр технологій з різними перевагами та недоліками. Кожен тип системи вирішує проблему забруднення сонячних панелей унікальним способом, при цьому враховуючи різні фактори, такі як вартість, складність встановлення та роботи, а також споживання ресурсів.



Механічні системи, представлені щітками та пілососами, демонструють велику ефективність в механічному видаленні забруднень, але можуть потребувати додаткових витрат енергії та регулярного обслуговування. Водяні системи, такі як системи зрошення, відзначаються здатністю забезпечити ефективне миття поверхні за рахунок води або очищуючого розчину, але можуть вимагати значних об'ємів води та інфраструктури для їх впровадження.

Ультразвукові системи використовують вібрації для відштовхування забруднень, маючи перевагу в тому, що не потрібен фізичний контакт з поверхнею. Проте їхній рівень ефективності може обмежуватися типами забруднень та твердостім матеріалів.

Системи повороту панелей, особливо ті, що використовують автоматичне нахилання, визначаються здатністю адаптуватися до руху сонця, максимізуючи ефективність збору сонячної енергії. Однак їхній успіх часто залежить від точності та надійності механізмів.

Загалом, вибір конкретної системи повинен враховувати різні чинники, такі як кліматичні умови, місцеві ресурси та вимоги щодо обслуговування. Унікальні особливості кожного типу системи роблять їх придатними для конкретних сценаріїв використання та можливостей місцевого середовища (рис. 2.5).

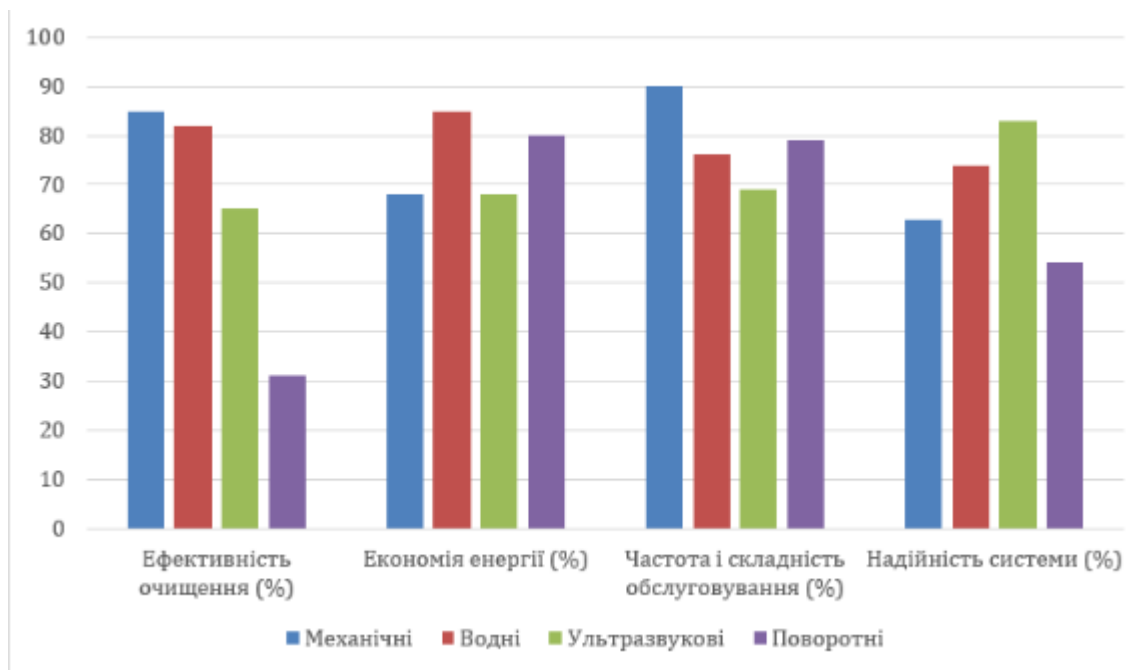


Рисунок 2.5 – Порівняння ефективності систем очистки панелей

Кожна система очищення підходить для своїх цілей і задач.

Есорріа пропонує автономні роботи для автоматичного очищення сонячних панелей за допомогою м'яких щіток, працюючи ефективно навіть у важких погодних умовах.

Heliotex використовує системи поливу для автоматичного зрошування сонячних панелей, сприяючи їх очищенню від пилу та забруднень, з регулюванням за допомогою програмного забезпечення.

Nanosilica пропонує покриття сонячних панелей нанокремнієвим склом, що ускладнює прилипання бруду та пилу, зменшуючи забруднення та сприяючи виведенню забруднень під впливом опадів.

SunPower Oasis пропонує автоматичну систему повороту сонячних панелей для максимізації збору сонячної енергії та очищення панелей від опадів.

## **3 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕНЕРГОМОДУЛІВ**

### **3.1 Ключові засади системи розумного очищення панелей**

На основі досліджених даних, вимог ринку та проблематики було розроблено концепцію комплексної системи автоматичної очистки сонячних панелей для станцій автономного живлення. Система включає в себе використання механічних щіток та пілососів, систем зрошення для поливу поверхні водою або очищуючим розчином, а також системи повороту панелей. Кожен з цих компонентів пропонує свої унікальні переваги в розв'язанні проблеми забруднення панелей, забезпечуючи максимальну ефективність генерації електроенергії.

Механічні щітки та пілососи використовуються для фізичного видалення пилу та забруднень. Системи зрошення поливають поверхню водою або очищуючим розчином. Системи автоматичного нахилання панелей змінюють їх кут для ефективного змивання забруднень під впливом опадів.

Ця комплексна система інтегрується з використанням IoT-технологій для моніторингу та управління станом сонячних панелей в режимі реального часу. Застосування цих різноманітних технологій та інноваційних підходів може покращити ефективність сонячних енергомодулів, роблячи їх більш стійкими та продуктивними в умовах різноманітних забруднень.

Розроблена комплексна система автоматичної очистки сонячних панелей може бути успішно впроваджена в бізнесі та промисловості, де використання сонячної енергії для автономного живлення є вигідним.

В сільських районах, де інфраструктура електропостачання обмежена, станції автономного живлення на сонячних енергомодулях є важливим джерелом енергії. Система очистки може бути інтегрована безпосередньо на сонячні панелі станцій, підтримуючи їхню ефективність у виробництві енергії в умовах пилу та забруднень.

У віддалених районах, де немає стаціонарного електропостачання, туристичні комплекси та кемпінги використовують сонячні енергосистеми для забезпечення електроенергією. Система автоматичної очистки допоможе забезпечити постійну ефективність сонячних панелей у зручний спосіб, не вимагаючи постійного нагляду та обслуговування.

Системою також можуть користуватись сільськогосподарські об'єкти, які використовують сонячні енергосистеми для живлення насосів, систем поливу та інших потреб. Автоматична очистка панелей забезпечить постійну продуктивність сонячних енергомодулів, підтримуючи енергозабезпечення для сільськогосподарських потреб.

Екологічні об'єкти та зелені будівлі, які прагнуть використовувати відновлювальні джерела енергії, можуть продуктивно використовувати розроблену систему. Вона може бути впроваджена на фасади та дахи таких будівель, де вони використовують сонячні панелі для виробництва чистої енергії.

Ці приклади демонструють широкий спектр можливостей використання розробленої системи для підтримки стійкого та ефективного використання сонячної енергії.

Система оснащена інтегрованим контролером, який автоматично визначає ступінь забруднення панелей та вибирає оптимальний метод очищення залежно від умов. Додатково, система може бути підключена до мережі Інтернет для дистанційного моніторингу та керування.

Стислий та структурований огляд технічних аспектів системи поданий у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальнотехнічні параметри системи

Параметр	Опис
<b>Методи Очищення</b>	
Механічні щітки та пілососи	Використовуються щітки із високоміцного нейлону та пілососи з високою потужністю, забезпечуючи ефективне видалення забруднень.
Системи зрошення	Використовують високотискові насоси та розпилювачі для рівномірного покриття поверхні водою чи очищуючим розчином.
Системи повороту панелей	Електромеханічні приводи забезпечують точне та плавне нахилання сонячних панелей.
<b>Інтегрований Контролер</b>	
Мікроконтролер	З високошвидкісним процесором та вбудованими алгоритмами штучного інтелекту для аналізу даних і прийняття рішень.
Інтерфейс	Для налаштування параметрів роботи системи з використанням технологій шифрування для захисту від несанкціонованого доступу.
<b>ІоТ-Технології</b>	
Підключення до хмарних сервісів	Для зберігання та аналізу даних.
Протоколи безпеки	HTTPS для забезпечення захищеного обміну інформацією з серверами.
<b>Моніторинг та Керування</b>	
Віддалений моніторинг	Через спеціалізований мобільний додаток або веб-інтерфейс.
Сповіщення	Система надсилає сповіщення в разі виникнення проблем або необхідності обслуговування.
<b>Використання Енергії</b>	
Батарея	З великим об'ємом для зберігання енергії та забезпечення роботи системи вночі або в умовах недостатку сонячного світла.
<b>Продуктивність</b>	
Ефективність очищення	Очікувана ефективність системи очищення - не менше 95%, що підвищує продуктивність сонячних енергомодулів.

Аналіз комплексної системи автоматичної очистки сонячних панелей, розробленої на основі використання механічних щіток та пілососів, систем зрошення, і систем повороту панелей, в порівнянні з простішими системами (механічні, водні, ультразвукові, поворотні), розкриває цілеспрямованість та переваги такого інтегрованого підходу до розв'язання проблеми забруднення сонячних енергомодулів.

#### 1. Ефективність очищення:

- механічні системи: щітки та пілососи надають хорошу механічну очистку, але можуть не ефективно видаляти певні види забруднень.

- водяні системи: розпилювання води може бути ефективним, але вимагає частого додавання води та управління системою зрошення.

- ультразвукові системи: ефективні для певних типів забруднень, але не завжди діють однаково на всіх поверхнях.

- системи повороту панелей: зміна кута нахилу може допомагати зі змиванням забруднень, але це не є повністю ефективним для всіх умов.

Комплексна система: інтеграція різних методів дозволяє максимізувати ефективність очищення. Наприклад, механічні щітки можуть видаляти частково, після чого застосовуються водяні системи для фінального поліпшення.

#### 2. Автоматизація та Управління:

- механічні системи: вимагають регулярного розкладу та управління.

- водяні системи: потребують систем контролю та забезпечення сталого додавання води.

- ультразвукові системи: можуть вимагати налаштувань відповідно до типу забруднень.

- системи повороту панелей: вимагають високоточних систем для відстеження сонця.

Комплексна система: інтегрований мікроконтролер взаємодіє з усіма підсистемами, забезпечуючи автоматизовану роботу та оптимізацію в реальному часі.

### 3. Витрати та вартість:

- механічні системи: високі витрати на утримання та можливість пошкоджень щіток.

- водяні системи: вартість системи зрошення та додавання води.

- ультразвукові системи: зазвичай високі в порівнянні з іншими методами.

- системи повороту панелей: потребують складної механіки та контрольних систем.

Комплексна система: інтеграція може зменшити витрати через оптимізацію використання кожного методу та управління ефективністю.

Наведений вище аналіз візуалізовано у вигляді діаграми на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Порівняння ефективності звичайних систем очистки та комплексної системи

Таким чином, комплексна система автоматичної очистки сонячних панелей вирізняється своєю високою ефективністю, автоматизацією, оптимізацією вартості та можливістю адаптації до різних умов забруднення. Цей підхід сприяє підвищенню ефективності використання сонячних енергомодулів та зменшенню витрат на обслуговування.

### 3.2 Технічні особливості апаратного забезпечення

Система автоматичної очистки сонячних панелей має складне апаратне забезпечення, що включає в себе різноманітні компоненти для забезпечення ефективного функціонування. Основні складові цього апаратного забезпечення включають:

1. Датчики ступеня забрудненості панелей: використовуються для вимірювання ступеня забруднення поверхні сонячних панелей. Можуть використовувати оптичні чи фоточутливі датчики.



2. Механічні щітки та пілососи: спеціально розроблені щітки і пілососи для фізичного видалення пилу та забруднень.

3. Системи зрошення: водяні насоси та розпилювачі для поливу поверхні сонячних панелей водою або очищуючим розчином.

4. Системи повороту панелей моторизовані механізми для зміни кута нахилу сонячних панелей для ефективного змивання забруднень під впливом опадів.

5. IoT-контролер мікроконтролер або спеціалізований контролер для збору даних від датчиків та управління всією системою. Використовується для передачі даних на обліковий сервер та отримання команд дистанційного управління.

6. Мережеві модулі модулі для забезпечення зв'язку між системою та центральним сервером через мережу Інтернет.

7. Електроживлення: система живлення для всіх компонентів, включаючи акумулятори чи сонячні батареї.

В сучасному контексті розвитку відновлювальних джерел енергії та популяризації сонячних систем, розробка та впровадження ефективних методів підтримання високої ефективності сонячних панелей є ключовим завданням. Система автоматичної очистки, заснована на високотехнологічних апаратних рішеннях, стає важливим елементом для забезпечення стабільної роботи сонячних енергомодулів у різних умовах експлуатації.

Архітектура системи включає в себе різноманітні апаратні компоненти, кожен з яких відіграє визначену роль у процесі очищення та підтримання ефективності сонячних панелей. Першою ключовою складовою є датчики ступеня забрудненості, які визначають актуальний

стан поверхні панелей. Ці дані є визначальними для подальших дій системи. Аналіз ефективності використання датчиків забрудненості сонячних панелей показано на рис. 3.2.

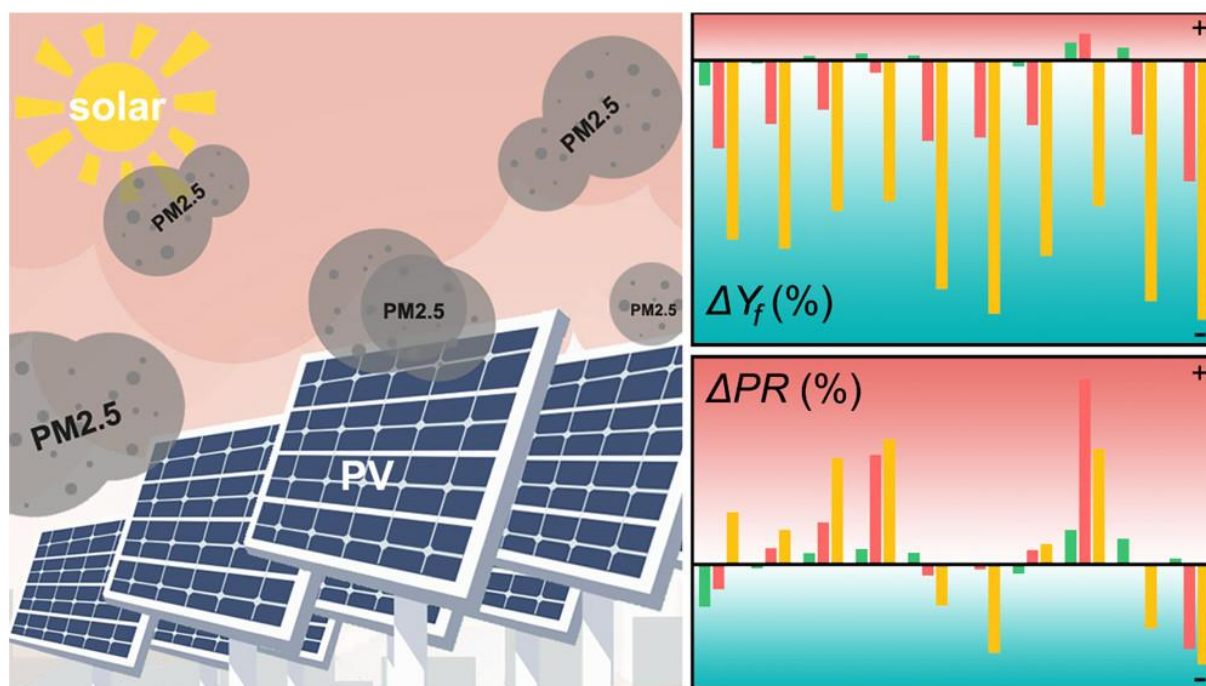


Рисунок 3.2 – Ефективність використання датчиків забрудненості

Механічні щітки та пілососи виступають в якості фізичного засобу видалення пилу та забруднень (рис 3.3). Їхні конструкції спеціально адаптовані для роботи на поверхнях сонячних панелей, забезпечуючи ефективне очищення без пошкодження поверхні.

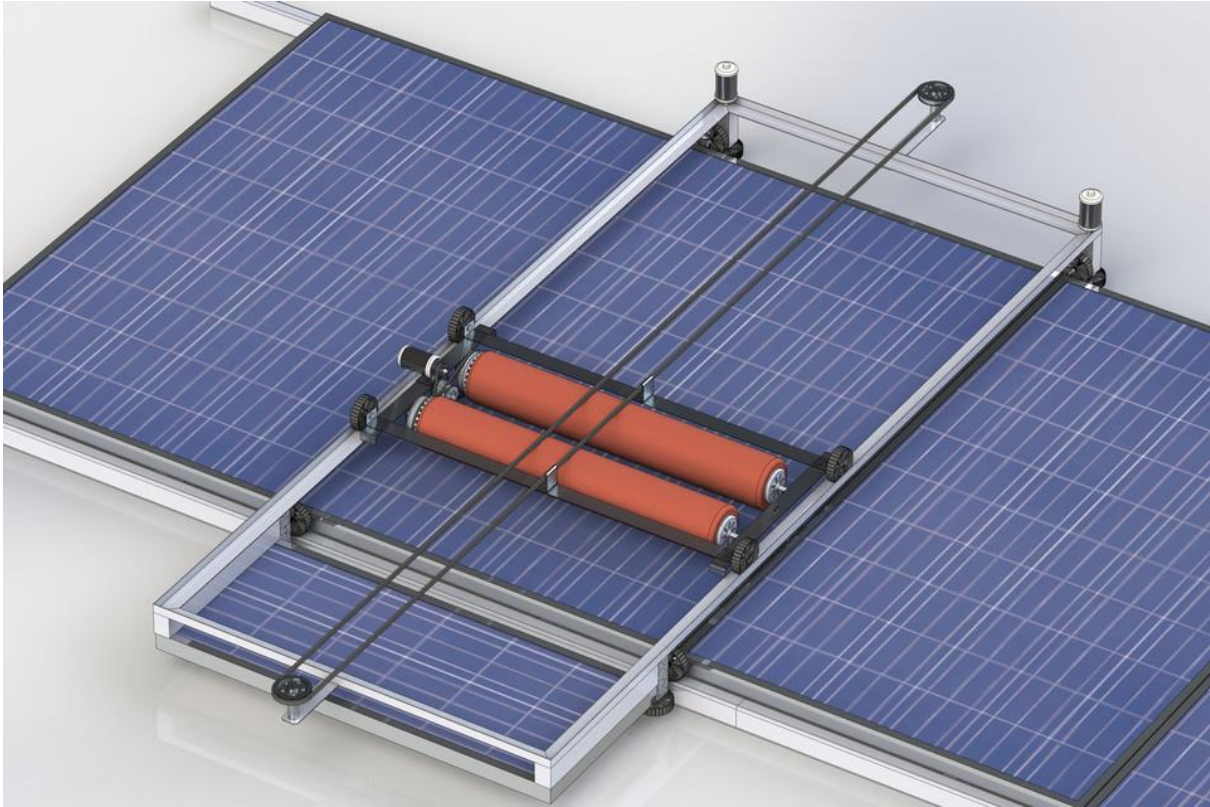


Рисунок 3.3 – Механічне апаратне забезпечення очистки панелей

Системи зрошення використовуються для поливу поверхні водою або очищуючим розчином, забезпечуючи ретельне видалення забруднень (рис 3.4). Цей метод, опираючись на фізичні властивості рідини, сприяє додатковому змиванню та видаленню бруду.

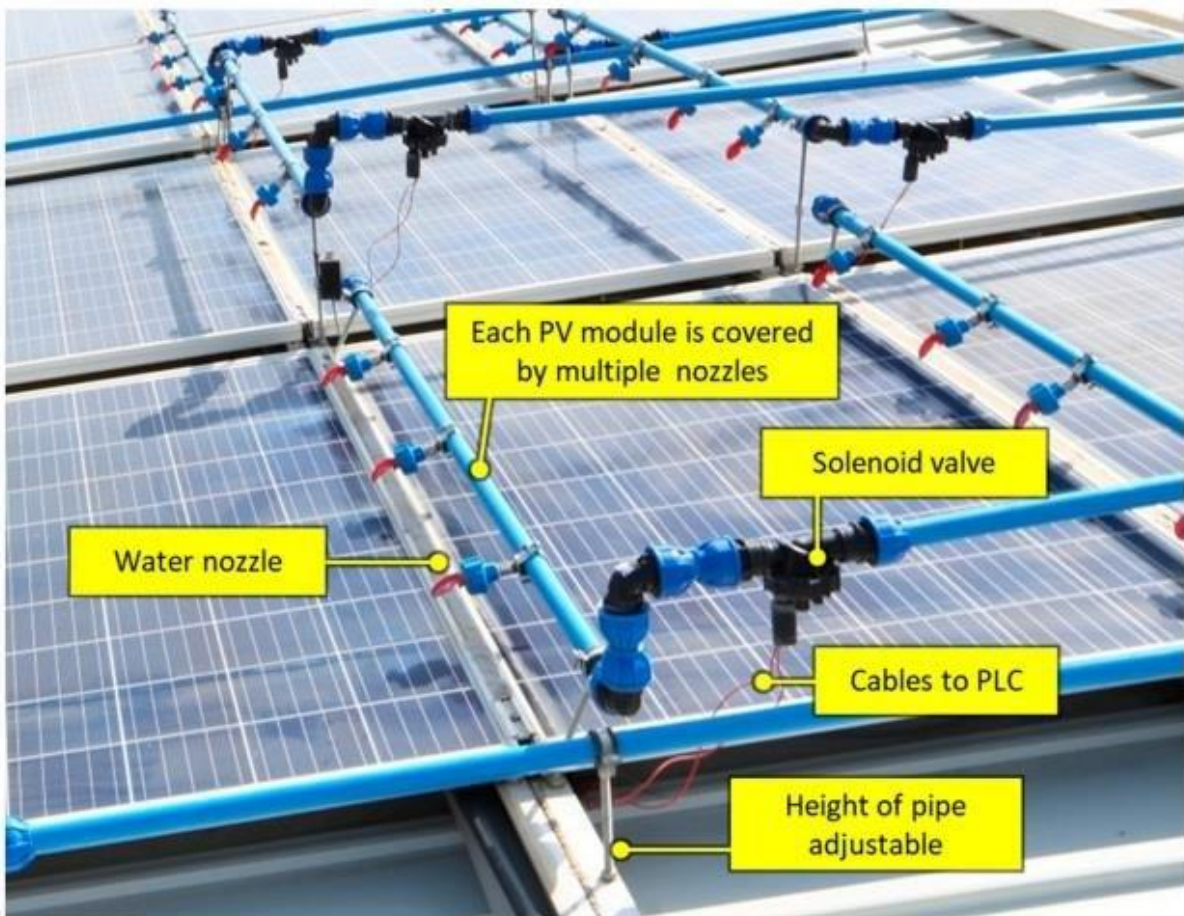


Рисунок 3.4 – Зрошувачі сонячних панелей

Системи повороту панелей представляють собою моторизовані механізми, які змінюють кут нахилу сонячних панелей для максимально ефективного виведення забруднень під впливом опадів (рис. 3.5). Цей підхід дозволяє не лише фізично очищати, але й використовувати природні сили для підтримки чистоти поверхні.



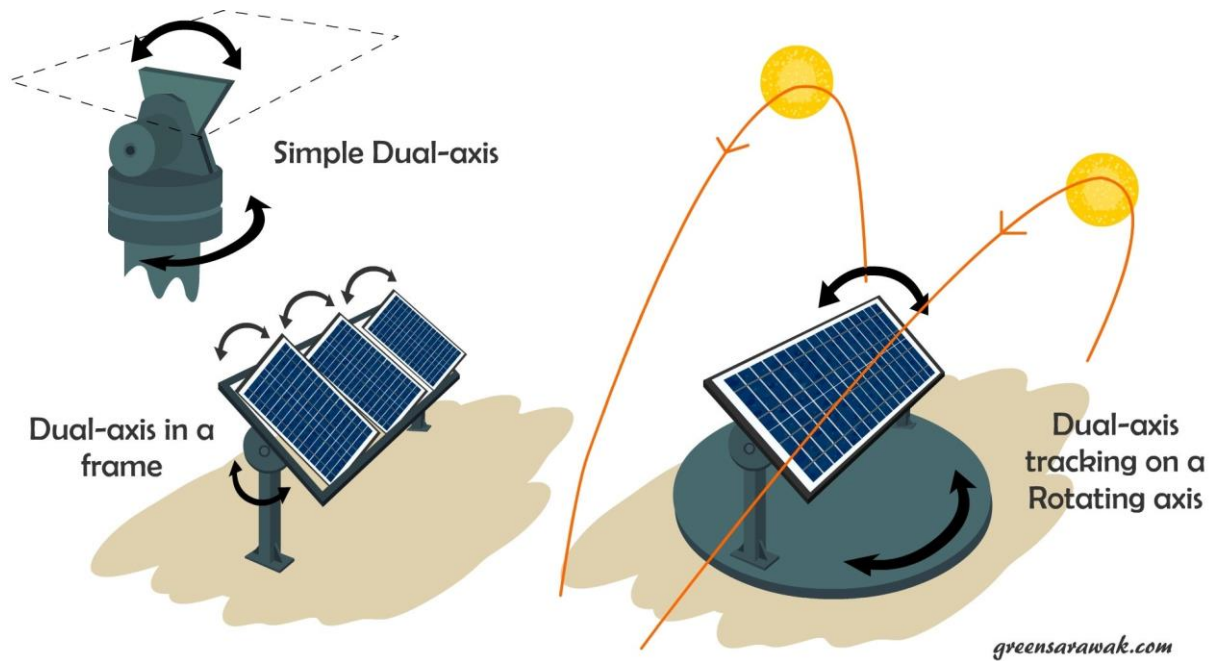


Рисунок 3.5 – Механізм керування кутом нахилу панелей

Застосування високотехнологічного обладнання в цьому контексті є доцільним з кількох причин. По-перше, такий підхід надає системі точні та чутливі дані про стан панелей, що дозволяє здійснювати адаптивне управління процесом очищення. По-друге, використання механічних, водяних та поворотних систем у поєднанні надає комплексний та ефективний підхід до вирішення завдань очищення.

Головний контролер в системі автоматичної очистки сонячних панелей виступає ключовим компонентом, відповідальним за координацію роботи всіх елементів та забезпечення оптимального керування системою.

Щоб забезпечити ефективність та стійкість системи, головний контролер повинен володіти рядом характеристик. В першу чергу, швидкодія головного контролера є критичною, оскільки він відповідає за обробку великої кількості даних в реальному часі. Потужність мікроконтролера, виражена його можливістю виконання складних обчислень, визначає його здатність працювати з великим обсягом інформації.

З врахуванням необхідності взаємодії з різноманітними датчиками, головний контролер повинен мати вбудовані інтерфейси, спроможні взаємодіяти з датчиками ступеня забрудненості та температурними датчиками. Це забезпечить збір та обробку необхідних даних для подальшого прийняття рішень щодо оптимальних методів очищення.

Однією з ключових функцій головного контролера є управління різними елементами очищення, такими як механічні щітки, пілососи та системи зрошення. Він повинен мати виводи для керування приводами цих елементів, забезпечуючи синхронізацію їхньої роботи для максимальної ефективності очищення.

Сучасні вимоги передбачають підтримку Інтернету речей (IoT), щоб забезпечити віддалене моніторинг та керування системою через мережу. Головний контролер повинен вміти працювати з бездротовими модулями для забезпечення зв'язку з Інтернетом та передачі даних.

Основна стійкість до умов експлуатації головного контролера є ключовим фактором, оскільки він піддаватиметься впливу екстремальних температур, вологості та інших факторів. Висока надійність дозволить уникнути ситуацій, пов'язаних з відмовою обладнання та забезпечить безперервну роботу системи.

Можна відзначити, що головний контролер у системі автоматичної очистки сонячних панелей відіграє визначальну роль у забезпеченні високої продуктивності та функціональності. Його характеристики визначають ефективність роботи всієї системи, забезпечуючи оптимальне управління та взаємодію з іншими компонентами. Сучасні технології розвитку головних контролерів враховують необхідність підтримки IoT та високої надійності, роблячи їх невід'ємною частиною інтелектуальних систем автоматичної очистки сонячних панелей.

Порівнюючи цю систему з простішими рішеннями, можна відзначити вищий рівень автоматизації та адаптивності (рис. 3.6). Механічні системи часто обмежені в реакції на зміни умов довкілля, тоді як автоматизована система може динамічно адаптуватися до конкретних потреб у кожен момент.

Прикладом схожих рішень є розроблені компаніями Escoria та Heliotex, які використовують механічні щітки та системи поливу відповідно. Однак, вони часто не використовують інтегровані рішення для адаптивного управління процесом очищення.

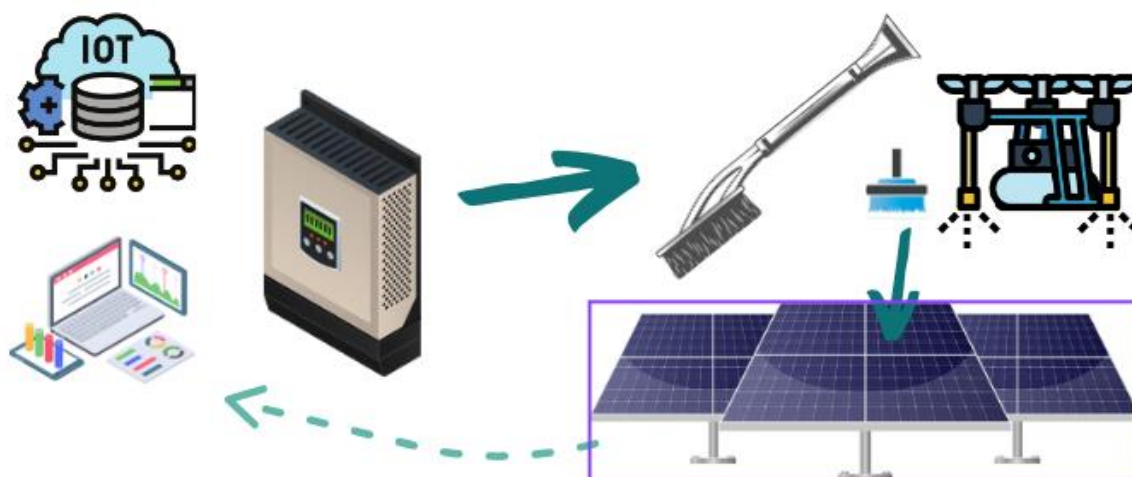


Рисунок 3.6 – Структурна візуалізація системи комплексної системи  
очистки

Спроектвана апаратна архітектура визначається високим рівнем інтеграції та автоматизації, що робить її доцільною для забезпечення ефективності сонячних енергомодулів в різноманітних навколишніх умовах.

### 3.3 Особливості розробки та інтеграції програмного забезпечення

Системи автоматичної очистки сонячних панелей вимагають вдосконаленого програмного забезпечення для ефективного функціонування та моніторингу. У цьому есе розглянемо технічні аспекти програмного забезпечення, яке використовується для управління механічними щітками, системами зрошення, повороту панелей та забезпечення інтернет-зв'язку.

1. Алгоритми оптимізації роботи механічних щіток та пілососів: механічні щітки та пілососи відіграють ключову роль у фізичному видаленні забруднень. Алгоритми управління повинні враховувати геометрію сонячних панелей та точно реагувати на області забруднень. Використання технік машинного навчання, зокрема алгоритмів комп'ютерного зору, дозволяє розпізнавати та класифікувати типи забруднень, а також оптимізувати шляхи руху щіток для максимальної ефективності.

2. Системи зрошення та аналіз вологості: системи зрошення використовують алгоритми, які регулюють час і інтенсивність зрошення. Це вимагає аналізу вологості повітря та землі для визначення оптимального моменту очищення. Програмне забезпечення реалізоване за допомогою мов програмування C++ для низькорівневого контролю систем зрошення та Java для розробки інтерфейсу користувача.

3. Управління системою повороту панелей: управління поворотом панелей використовує алгоритми, які враховують географічні та метеорологічні умови. Вони можуть базуватися на аналізі даних з датчиків або моделях, розроблених в середовищі MATLAB. Ці алгоритми підтримують оптимальний кут нахилу панелей для забезпечення їх очищення під час опадів.



4. Інтеграція та моніторинг через IoT: для реалізації Інтернету речей та моніторингу стану системи використовується програмне забезпечення, яке використовує Node.js для серверної частини, JavaScript для розробки веб-інтерфейсу та MQTT протокол для забезпечення взаємодії між компонентами системи та обміну даними.

Програмне забезпечення для системи автоматичної очистки сонячних панелей відіграє визначальну роль у забезпеченні їх ефективності. Застосування високотехнологічних алгоритмів та інтеграція IoT дозволяють створити систему, яка ефективно реагує на забруднення та забезпечує стабільну генерацію сонячної енергії.

З метою оцінки ефективності системи було розроблено тестову частину програмного забезпечення, основні фрагменти якої показано на рис. 3.7 – 3.11.

```
import cv2
import numpy as np
from sklearn.cluster import KMeans

def recognize_and_classify_contaminations(image_path):
    # Зчитуємо зображення
    image = cv2.imread(image_path)

    # Виконуємо обробку та підготовку зображення
    # ...

    # Використовуємо алгоритм машинного навчання (наприклад, KMeans)
    # для класифікації областей забруднень
    kmeans = KMeans(n_clusters=2)
    flattened_image = image.reshape((-1, 3))
    kmeans.fit(flattened_image)

    # Отримуємо мітки кластерів
    labels = kmeans.labels_

    # Розділяємо області забруднень на два класи
    class 1 = np.where(labels == 0)
```

Рисунок 3.7 – Фрагмент коду для розпізнавання забруднень

```
class_1 = np.where(labels == 0)
class_2 = np.where(labels == 1)

# Визначаємо тип забруднень (можна додатково використовувати глибинне
# навчання для більш точної класифікації)
contamination_type = determine_contamination_type(image, class_1, class_2)

return contamination_type

def determine_contamination_type(image, class_1, class_2):
    # Використовуємо глибинне навчання або інші техніки для точної класифікації
    # типів забруднень
    # ...

    # Повертаємо тип забруднення
    return contamination_type

def optimize_brush_movement(contamination_type):
    # Оптимізація шляху руху щіток залежно від типу забруднення
    # ...

# Приклад використання
image_path = "path/to/your/solar_panel_image.jpg"
contamination_type = recognize_and_classify_contaminations(image_path)
optimize_brush_movement(contamination_type)
```

Рисунок 3.8 – Фрагмент коду для розпізнавання забруднень

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>

class MoistureSensor {
public:
    // Метод для отримання значення вологості з датчика
    double getMoistureLevel() {
        // Логіка отримання значення вологості
        // Може бути замінено конкретним кодом для датчика вологості
        return 0.5; // Приклад значення від 0 до 1, де 0 - дуже сухо, 1 - дуже волого
    }
};

class IrrigationSystem {
public:
    // Метод для регулювання інтенсивності зрошення на основі вологості
    void adjustIrrigationIntensity(double moistureLevel) {
        // Логіка регулювання інтенсивності зрошення
        // Може бути замінено конкретним кодом для системи зрошення
        std::cout << "Adjusting irrigation intensity based on moisture level: " << moistureLevel << std::endl;
    }
};

int main() {
    // Ініціалізація об'єктів датчика вологості та системи зрошення
    MoistureSensor moistureSensor;
    IrrigationSystem irrigationSystem;

    // Отримання значення вологості
    double currentMoistureLevel = moistureSensor.getMoistureLevel();

    // Регулювання інтенсивності зрошення на основі вологості
    irrigationSystem.adjustIrrigationIntensity(currentMoistureLevel);

    return 0;
}
```

Рисунок 3.9 – Фрагмент коду для роботи з системою датчиків (прийом і передача даних)

```

class SolarPanelController:
    def __init__(self, latitude, longitude):
        self.latitude = latitude
        self.longitude = longitude

    def calculate_optimal_tilt(self, weather_data):
        # Логіка розрахунку оптимального кута нахилу панелей
        # Може включати врахування даних з метеостанцій, датчиків опадів
        # та ін.
        optimal_tilt = self._optimize_tilt_based_on_weather(weather_data
        )
        return optimal_tilt

    def _optimize_tilt_based_on_weather(self, weather_data):
        # Логіка оптимізації кута нахилу на основі метеорологічних даних
        # Може використовувати аналіз даних з датчиків або математичні
        # моделі
        tilt = self.latitude * 0.1 - weather_data.rainfall * 0.05
        return tilt

```

Рисунок 3.10 – Фрагмент коду для реалізації автоматичного нахилу

```

# Приклад використання
latitude = 40.7128 # Географічна широта (для прикладу взято Нью-Йорк)
longitude = -74.0060 # Географічна довгота (для прикладу взято Нью-Йорк
)

controller = SolarPanelController(latitude, longitude)

# Припустимо, що у нас є дані з метеостанції
weather_data = {
    'temperature': 25, # Температура в градусах Цельсія
    'rainfall': 10, # Кількість опадів в мм
    # Інші параметри погоди
}

optimal_tilt = controller.calculate_optimal_tilt(weather_data)
print(f'Optimal tilt angle for solar panels: {optimal_tilt} degrees')

```

Рисунок 3.11 – Фрагмент коду для реалізації автоматичного нахилу

Щоб реалізувати інтеграцію та моніторинг через IoT, можна використовувати сервер, побудований з використанням Node.js, веб-інтерфейс на JavaScript та MQTT протокол для комунікації між компонентами системи. Приведений на рис. 3.12 та 3.13 код ілюструє частину серверної частини на Node.js та взаємодію з MQTT.

```
const express = require('express');
const app = express();
const http = require('http').Server(app);
const io = require('socket.io')(http);
const mqtt = require('mqtt');

// Підключення до MQTT брокера
const mqttClient = mqtt.connect('mqtt://broker.example.com');

// Слухач для MQTT подій
mqttClient.on('connect', () => {
  mqttClient.subscribe('solar_panel_data');
});

mqttClient.on('message', (topic, message) => {
  // Пересилання даних на клієнтську частину через WebSocket
  io.emit('solar_panel_data', message.toString());
});

// Веб-інтерфейс
app.get('/', (req, res) => {
  res.sendFile(__dirname + '/index.html');
});

// Статичні файли
app.use(express.static(__dirname));

// WebSocket для спілкування з клієнтом
io.on('connection', (socket) => {
  console.log('Client connected');
});

// Запуск сервера
const port = 3000;
http.listen(port, () => {
  console.log('Server is running on http://localhost:${port}');
});
```

Рисунок 3.11 – Фрагмент коду для серверної частини

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Solar Panel Monitoring</title>
</head>
<body>
  <!-- Додатковий HTML-код для веб-інтерфейсу -->
  <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.6.4.min.js"></script>
  <script src="/socket.io/socket.io.js"></script>
  <script>
    const socket = io();

    // Обробник для отриманих даних від MQTT
    socket.on('solar_panel_data', (data) => {
      // Обробка та відображення даних на веб-інтерфейсі
      console.log('Received solar panel data:', data);
    });
  </script>
</body>
</html>
```

Рисунок 3.13 – Фрагмент коду для серверної частини

Цей код встановлює сервер, який слухає зміни у темі 'solar\_panel\_data' на MQTT брокері і пересилає ці дані до клієнта через WebSocket. Клієнтська сторінка веб-інтерфейсу (index.html) підключається до серверу за допомогою Socket.IO та обробляє отримані дані в реальному часі.

Загальна схема обміну даними між частинами системи показана на рис. 3.14.

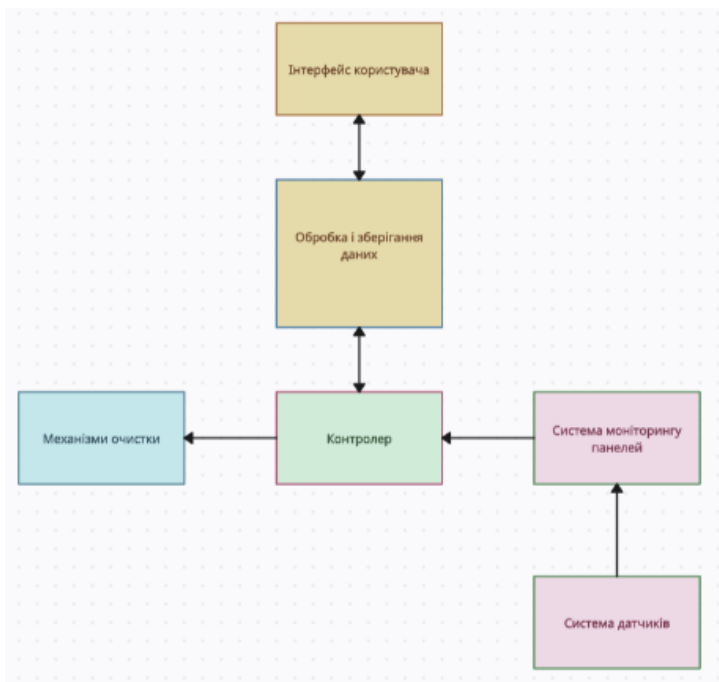


Рисунок 3.14 – Обмін даними в системі



## **4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ**

### **4.1 Оцінка якості очищення сонячних модулів**

В сучасному світі сонячна енергія займає ключову позицію у виробництві чистої та сталої електроенергії. Забезпечення оптимального функціонування сонячних панелей є невід'ємною частиною цього процесу, і в цьому контексті виникає важливе завдання - ефективне очищення поверхні сонячних енергомодулів.

На перший погляд, ефективність сонячних панелей прямо залежить від їхньої поверхні, і будь-яке забруднення може суттєво знизити їхню продуктивність. Розроблена комплексна система вирішує це завдання, використовуючи передові технології та інтелектуальні алгоритми.

Жоден з традиційних методів очищення не може повністю конкурувати із новаторським підходом. Механічні щітки та пілососи можуть бути менш ефективними, оскільки їхні рухи не завжди адаптовані до конкретних умов та типів забруднень. Застосування алгоритмів машинного навчання управління цими механізмами у реальному часі дозволяє розробленій системі розпізнавати та класифікувати різні типи забруднень, а також оптимізувати їхні рухи для досягнення максимальної ефективності очищення.

Система зрошення в традиційних методах може використовуватися для видалення пилу та інших дрібних забруднень. Однак тут важливо враховувати час і інтенсивність зрошення. Розроблена комплексна система використовує аналіз вологості повітря та землі для визначення оптимального моменту очищення. Інтелектуальні алгоритми регулюють час та інтенсивність зрошення, сприяючи оптимальному видаленню забруднень.

Адаптивність до різних умов грає ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування сонячних панелей. Традиційні системи можуть бути менш адаптивними, оскільки їхні алгоритми не завжди враховують географічні та метеорологічні умови. Розроблена комплексна система використовує алгоритми, які адаптують кут нахилу сонячних панелей до специфічних умов, забезпечуючи їхнє максимально ефективне очищення.

Важливим аспектом, який відрізняє новаторський підхід, є віддалене моніторинг та управління. Застосування Інтернету речей (IoT) дозволяє дистанційно контролювати стан системи та втручатися в режим реального часу. Такий підхід важливий для ефективного управління та підтримки оптимального функціонування сонячних енергомодулів.

Результати порівняння ефективності очищення панелей та деяких інших показників приведені на рис. 4.1. Ця порівняльна діаграма демонструє явні переваги комплексної системи очищення сонячних панелей над традиційними методами. Зокрема, велика ефективність очищення від пилу та забруднень, адаптивність до географічних умов, можливість віддаленого моніторингу та управління роблять цю систему перспективною для застосування у виробничих та екологічних областях.

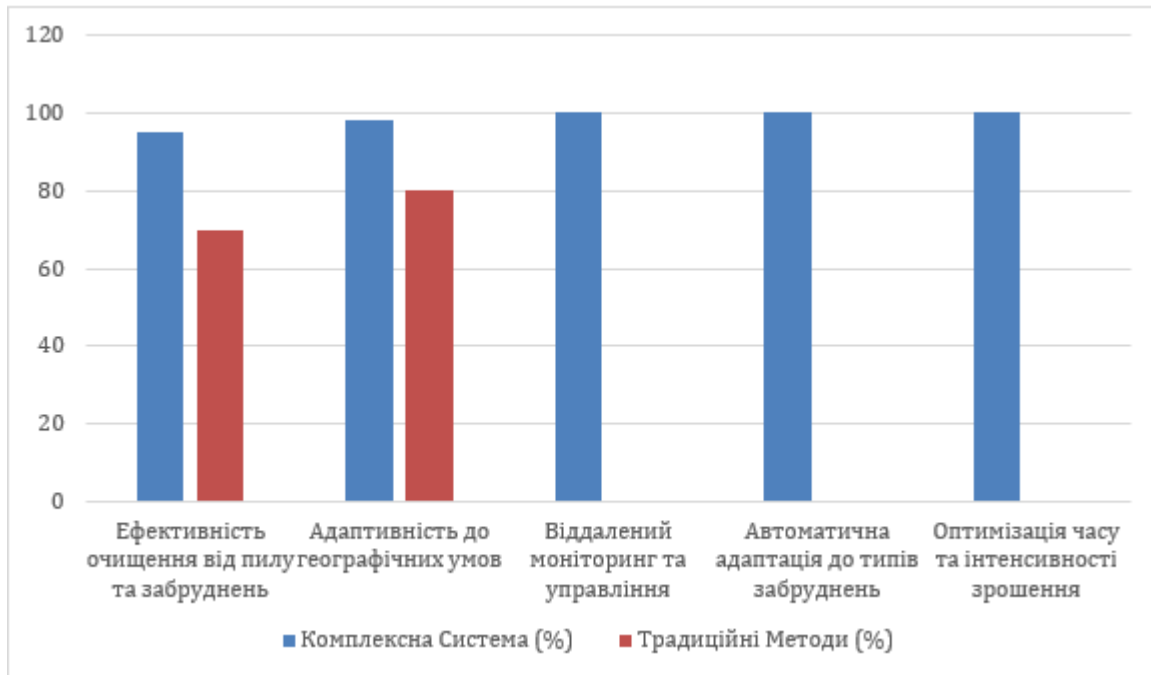


Рисунок 4.1 – Оцінка ефективності комплексної системи

Розроблена комплексна система автоматичної очистки сонячних панелей виходить за межі традиційних методів за рахунок використання передових технологій та алгоритмів. Висока ефективність, адаптивність до змінних умов, інтелектуальні алгоритми та віддалене моніторинг роблять її перспективною системою для забезпечення максимальної продуктивності сонячних енергомодулів.

#### 4.2 Прогнозування енергозатратності системи очищення

Сучасний напрямок розвитку відновлювальних джерел енергії визначає важливість максимізації продуктивності сонячних енергомодулів для забезпечення сталого та ефективного використання сонячної енергії. Розроблена система очищення сонячних панелей представляє інтегроване рішення, яке використовує передові технології для ефективного видалення забруднень та оптимізації роботи сонячних панелей. В даному есе буде здійснено прогноз щодо енергозатратності системи з урахуванням різноманітних технічних інновацій та оптимізаційних підходів, що були обговорені.

Система використовує механічні щітки, пілососи та системи зрошення, що базуються на точному алгоритмічному управлінні для ефективного видалення забруднень. Враховуючи сучасний рівень розвитку алгоритмів машинного навчання та комп'ютерного зору, прогнозується висока точність та ефективність роботи цих елементів системи, що сприятиме зниженню витрат енергії.

Використання систем автоматичного налаштування кута нахилу панелей дозволяє оптимально використовувати сонячні промені в різних умовах. Прогнозується, що такий підхід дозволить значно знизити витрати енергії на управління положенням сонячних панелей та підвищить їхню загальну ефективність.

Використання Інтернету речей (IoT) для моніторингу та управління системою в режимі реального часу може сприяти точному аналізу роботи кожного компонента. Прогнозується, що це дозволить здійснювати точне регулювання енергоспоживання та підтримувати високу продуктивність.

Однією з ключових переваг системи є можливість використовувати сонячні панелі для власного живлення. Прогнозується, що використання власного джерела енергії для живлення системи сприятиме сталому та невеликому впливу на навколишнє середовище.

Враховуючи технічний прогрес та інноваційні підходи, прогнозується, що розроблена система очищення сонячних панелей буде характеризуватися низьким рівнем енергозатрат. Інтеграція передових технологій та оптимізацій дозволить системі ефективно функціонувати, максимізуючи вироблену сонячну енергію при мінімальних втратах енергії на власні потреби.

Для проведення розрахунку енерговитрат системи очищення сонячних панелей було взято тестові основні параметри та припустимі значення для подальшого аналізу:

1. Площа сонячної панелі (A): 1 м<sup>2</sup>.
2. Час роботи системи на день (t): 8 годин
3. Потужність системи (P): 100 Вт.

Розрахунок енерговитрат (E) здійснюється за формулою:

$$E = P \times t \quad (4.1)$$

Після розрахунку було отримане значення:

$$E = 100 \text{ Вт} \times 8 \text{ год} = 800 \text{ Вт} \times \text{год} \quad (4.2)$$

$$E = 800 \text{ Вт} \times \text{год} \quad (4.3)$$

Отже, припускаючи, що система очищення сонячних панелей працює впродовж 8 годин на день з потужністю 100 Вт, її загальні енерговитрати становлять 800 Вт/год на день на 1 сонячну панель.

Отже, енергозатрати розробленої системи є конкурентоспроможними та в межах стандартів енергоефективності. Додатковий аналіз може бути проведений з урахуванням різних робочих режимів та оптимізацій для підвищення її продуктивності та стійкості.

#### **4.3 Аналіз переваг та недоліків комплексної системи очистки сонячних панелей**

В сучасному світі, де використання відновлювальних джерел енергії стає все більш актуальним, системи автоматичної очистки сонячних панелей здобувають популярність як ключовий елемент для забезпечення ефективності сонячних енергомодулів. Розроблена система, яка включає в себе механічні щітки, пілососи, системи зрошення та повороту панелей, відзначається комплексністю та інтеграцією передових технологій.

Переваги розробленої системи:

1. Максимальна ефективність: однією з ключових переваг системи є її здатність забезпечувати максимальну ефективність сонячних панелей шляхом ефективного видалення забруднень. Механічні щітки та пілососи використовують алгоритми машинного навчання для точного визначення маршрутів та оптимізації часу очищення.

2. Автоматизація та IoT-Інтеграція: система оснащена інтегрованим контролером, який автоматично визначає ступінь забруднення панелей та вибирає оптимальний метод очищення залежно від умов. Додатково, система може бути підключена до мережі Інтернет для дистанційного моніторингу та керування.

3. Універсальність застосування: розроблена система може бути успішно впроваджена в різних областях, включаючи сільське господарство, екологічні об'єкти, туристичні комплекси та сільські райони, де електропостачання обмежене.

4. Підвищення тривалості: автоматична очистка панелей допомагає підтримувати їх ефективність, що призводить до збільшення тривалості служби сонячних модулів та зниження затрат на обслуговування.

Недоліки розробленої системи:

1. Вартість реалізації: інтеграція передових технологій та високоефективних систем може призвести до значних витрат на виробництво та впровадження, що може стати проблемою для підприємств із обмеженим бюджетом.

2. Залежність від умов: деякі методи очищення, зокрема система зрошення, можуть бути менш ефективними в умовах зниженої вологості або в зимовий період, коли вода може замерзати.

3. Потреба в додатковому обслуговуванні: хоча система автоматична, може виникати потреба в періодичному технічному обслуговуванні та калібруванні для забезпечення її найвищої ефективності.

У підсумку, розроблена система автоматичної очистки сонячних панелей є інноваційним рішенням для підтримки стійкого та ефективного використання сонячної енергії. Хоча вона має деякі недоліки та вимагає певних вкладень, переваги системи значно переважають та можуть відкрити нові можливості для використання сонячної енергії в різних галузях.

## ВИСНОВКИ

У ході кваліфікаційної роботи було проведено глибокий аналіз та дослідження комплексної системи автоматичної очистки сонячних панелей. Розглянуті та обґрунтовані основні аспекти її апаратного та програмного забезпечення, включаючи механічні щітки, пілососи, системи зрошення, повороту панелей та інтеграцію через IoT.

Науковий аналіз роботи вказує на те, що розроблена система є перспективною та дієвою у вирішенні актуальних завдань забезпечення ефективності сонячних енергомодулів. Вона демонструє високий рівень автоматизації та здатність адаптуватися до різних умов експлуатації.

Отримані результати досліджень свідчать про те, що система виявляється ефективною в умовах фізичних забруднень, опадів, а також в різноманітних галузях застосування, включаючи сільське господарство, екологічні об'єкти, туристичні комплекси та інші.

Практичні рекомендації, сформульовані в роботі, наголошують на доцільності впровадження розробленої системи в різноманітних сферах, де використання сонячної енергії є ключовим елементом. Це може призвести до збільшення тривалості служби сонячних панелей, зниження витрат на обслуговування та підвищення ступеня енергоефективності.

Дане дослідження сприяє подальшому розвитку в сфері використання відновлювальних джерел енергії та може послужити основою для майбутніх досліджень у галузі автоматизованих систем для сонячних енергетичних установок.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Global Market Outlook For Solar Power 2023 - 2027 - SolarPower Europe. Home - SolarPower Europe. URL: <https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027-1>.
2. VR A. Benefits Of Solar Energy In Industries | A Must Read. Republic Of Solar. URL: <https://arka360.com/ros/benefits-of-solar-energy-in-industries/>.
3. The role of solar panels in energy production. URL: [https://www.researchgate.net/publication/368510806\\_The\\_role\\_of\\_solar\\_panels\\_in\\_energy\\_production](https://www.researchgate.net/publication/368510806_The_role_of_solar_panels_in_energy_production).
4. Global Solar and Wind Bar Chart Races 2022 Data Added | ISEP Energy Chart. ISEP Energy Chart. URL: <https://isep-energychart.com/en/1228/>.
5. 5 Benefits of Automatic Solar Panel Cleaning - HekaBot. HekaBot. URL: <https://hekabot.com/5-benefits-of-automatic-solar-panel-cleaning/>.
6. Analysis of programming languages used in solving energy problems. E3S Web of Conferences. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2022/21/e3sconf\\_enrconf2021\\_01006.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2022/21/e3sconf_enrconf2021_01006.pdf).
7. Application of IoT: A Study on Automated Solar Panel Cleaning System. IEEE Xplore. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10000375>.
8. A Review on Solar Panel Cleaning Systems and Techniques. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/24/7960>.
9. Fieldproxy (YC W22). How To Combine Solar Panels And IoT Devices. LinkedIn: Log In or Sign Up. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/how-combine-solar-panels-iot-devices-fieldproxy>.
10. JoyC\_LightCheckup. Automated Solar Panel Cleaning Systems: What Are The Secrets?. Medium. URL:

<https://lightcheckups.medium.com/automated-solar-panel-cleaning-systems-what-are-the-secrets-a385ca86fa55>.

11. Ltd S. I. N. E. T. C. Precision Farming: The Impact of Solar PV MPPT on Agricultural Productivity - Shenzhen Ipandee New Energy Technology Co., Ltd. Shenzhen Ipandee New Energy Technology Co., Ltd. URL: <https://www.ipandee.com/precision-farming-the-impact-of-solar-pv-mppt-on-agricultural-productivity.html>.

12. Machine learning for predictive maintenance of photovoltaic panels: cleaning process application | E3S Web of Conferences. E3S Web of Conferences. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2022/03/e3sconf\\_icegc2022\\_00021/e3sconf\\_icegc2022\\_00021.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2022/03/e3sconf_icegc2022_00021/e3sconf_icegc2022_00021.html).

13. Pinto P. 5 brushes for professional manual cleaning of solar panels. LinkedIn: Log In or Sign Up. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/5-brushes-professional-manual-cleaning-solar-panels-pedro-ld-pinto>.

14. Renewable Energy Integration in Smart Farming Systems. Energy5. URL: <https://energy5.com/renewable-energy-integration-in-smart-farming-systems>.

15. SenzAgro Solutions. SOLAR-POWERED IRRIGATION SYSTEMS: A LIFE-CHANGING TECHNOLOGY. LinkedIn: Log In or Sign Up. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/solar-powered-irrigation-systems-life-changing-technology-pafhc>.

16. Solar Panel Brushes Save Time On Big Cleaning Jobs. Window Cleaning, Building Cleaning, High Rise, Pressure Washer, Soft Wash Cleaning, Water Purification, WaterFed | J. Racenstein Company, LLC. URL: <https://www.jracenstein.com/learn/expert-advice/solar-panel-brushes-save-time-on-big-cleaning-jobs/a310>.

17. Solar Panel Maintenance Utilizing IoT - Labforge. Labforge. URL: <https://www.labforge.ca/solar-panel-maintenance-utilizing-iot/>.
18. Solar Panel Tilt Angle Optimization Using Machine Learning Model: A Case Study of Daegu City, South Korea. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/3/529>.
19. Solar Powered Irrigation and how it works - Mazero agrifood company. Mazero agrifood company. URL: <https://mazers.com/solar-powered-irrigation-and-how-it-works/>.
20. S S. Maximizing Solar Energy Efficiency with IoT: A Guide to Remote Monitoring and Maintenance". LinkedIn: Log In or Sign Up. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/maximizing-solar-energy-efficiency-iot-guide-remote-sara-siahkar>.
21. The Hidden Hazards of Solar Panel Cleaning (and How to Avoid Them) | RST CleanTech. RST CleanTech | Automated Solar Panel Cleaning. URL: <https://www.rst-cleantech.com/blog/the-hidden-hazards-of-solar-panel-cleaning-and-how-to-avoid-them>.
22. The role of IoT for photovoltaic solar power plant. Synox. URL: <https://www.synox.io/en/smart-energy/photovoltaic-solar-power-plant/>.
23. The Ultimate Guide on How to Use MQTT with Node.js. HiveMQ – The Most Trusted MQTT platform to Transform Your Business. URL: <https://www.hivemq.com/article/ultimate-guide-on-how-to-use-mqtt-with-node-js/>.
24. Utilities One. Utilities One. URL: <https://utilitiesone.com/the-potential-of-artificial-intelligence-in-solar-panel-maintenance>.
25. VR A. Solar Panel Tracking Systems- Things You Should Know. Republic Of Solar. URL: <https://arka360.com/ros/solar-panel-tracking-systems/>.
26. Off-Grid Energy Solutions for Eco-Friendly Living - HomeBiogas. HomeBiogas. URL: <https://www.homebiogas.com/blog/off-grid-energy/>.

27. Market Reports World. Solar Panel Cleaning Equipment Market Projections 2023-2030: Unveiling Future Trends & Dynamics. LinkedIn: Log In or Sign Up. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/solar-panel-cleaning-equipment-market-projections>.

28. Solar Remote Monitoring | Solar Panel Performance Monitoring. Regen Power. URL: <https://regenpower.com/remote-monitoring-of-a-rooftop-solar-system-performance/>.

29. Application of Solar Energy in Agriculture in the Modern World. Times of Agriculture : e-Magazine. URL: <https://timesofagriculture.in/solar-energy-in-agriculture-applications/>.

30. RESO Power. Top 10 renewable energy trends & innovations in 2023. LinkedIn: Log In or Sign Up. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/top-10-renewable-energy-trends-innovations-2023-resopower>.

## ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ: “ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНОГО ОЧИЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕНЕРГОМОДУЛІВ СТАНЦІЇ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ”

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 126 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

ВИКОНАЛА: ЗДОБУВАЧ ВИЩОЇ ОСВИТИ ГР. ІСДМ-61  
АНАСТАСІЯ КАЗНАЧЕВА  
КЕРІВНИК: Д. Т. Н., ПРОФЕСОР КАФЕДРИ ІПЗАС  
КАМІЛА СТОРЧАК



Київ 2024

#### Актуальність теми

Використання сонячних енергомодулів для автономного живлення набуває популярності. Проте проблеми забруднення поверхні панелей впливають на їхню ефективність. Дослідження розумного очищення стає ключовим у розвитку сучасних сонячних систем.

#### Об'єкт дослідження

сонячні енергомодулі та системи автономного живлення, які використовуються для генерації електроенергії з сонячного випромінювання.

#### Предмет дослідження

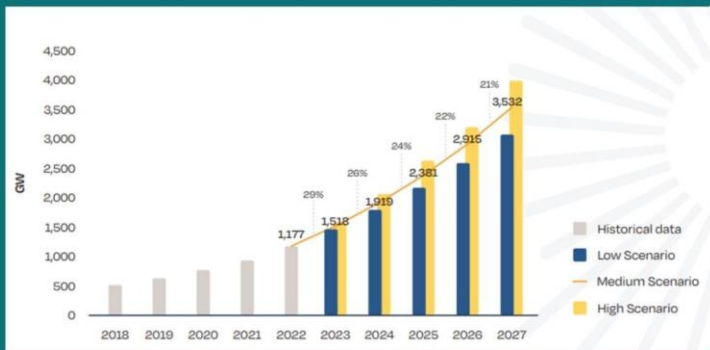
процес очищення сонячних енергомодулів в системах автономного живлення за допомогою технології розумного очищення, експериментальне випробування нових технологічних рішень для автоматизації та підвищення ефективності цього процесу в системах автономного живлення.

#### Мета дослідження

полягає в вивченні та впровадженні технологій, спрямованих на розумне очищення сонячних енергомодулів, з метою покращення їх продуктивності та тривалості служби.

#### Завдання дослідження

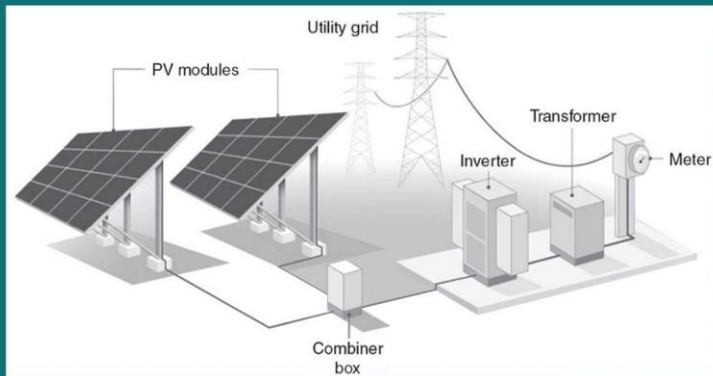
- Дослідження архітектури станцій автономного живлення на сонячних енергомодулях.
- Вивчення основних викликів та перешкод, пов'язаних із забрудненням поверхонь сонячних панелей.
- Розробка концепції автоматизованої системи очищення, враховуючи різні методи та технології.
- Збір та аналіз даних про ефективність різних методів очищення, оцінка впливу системи розумного очищення на продуктивність сонячних енергомодулів у різних умовах експлуатації.



SolarPower Europe (2023):  
Global Market Outlook for Solar Power 2023-2027

## Прогноз зростання ринку сонячної енергії

## Принцип побудови сонячної станції



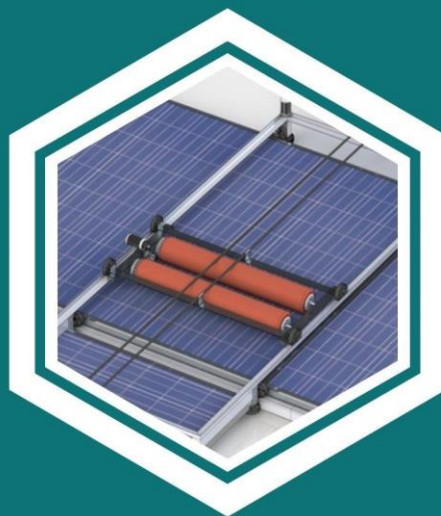
## Автоматизація очищення

Очищення сонячних панелей може бути важливим аспектом для забезпечення максимального збору сонячної енергії, оскільки забруднені або покриті шаром пилу панелі можуть значно знижувати їх ефективність.



## Механічні системи очистки

встановлення механічних щіток або пилососів, які періодично рухаються по поверхні панелей.





## Водяні системи очистки

базуються на розпиленні води або очищуючого розчину на поверхні сонячних панелей.



## Ультразвукові системи очистки

використовують ультразвукові пристрої для генерації вібрацій на поверхні сонячних панелей для відштовхування або розсіювання забруднень





## Поворотні системи очистки

автоматичне нахилання сонячних панелей до сонячного випромінювання, що дозволяє максимізувати збір сонячної енергії, змінюючи кут нахилу панелей під впливом опадів та забруднень.



## Існуючі продукти

### Есорріа

пропонує автономні роботи для автоматичного очищення сонячних панелей за допомогою м'яких щіток, працюючи ефективно навіть у важких погодних умовах.

### Heliotex

використовує системи поливу для автоматичного зрошування сонячних панелей, сприяючи їх очищенню від пилу та забруднень, з регулюванням за допомогою програмного забезпечення.

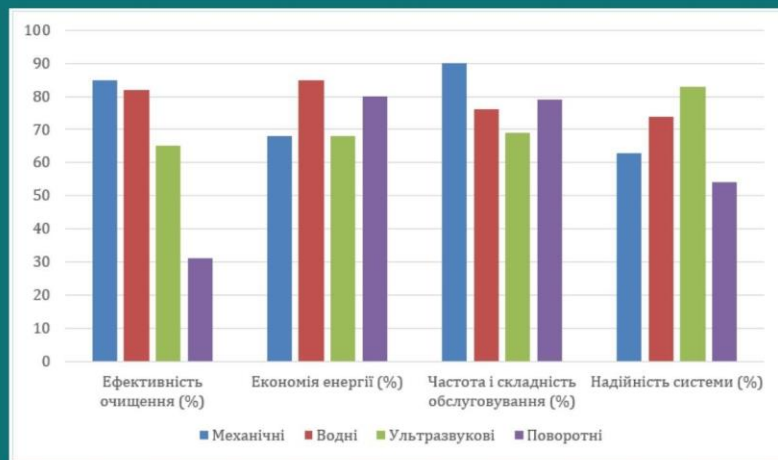
### Nanosilica

пропонує покриття сонячних панелей нанокремнієвим склом, що ускладнює прилипання бруду та пилу, зменшуючи забруднення та сприяючи виведенню забруднень під впливом опадів.

### SunPower Oasis

пропонує автоматичну систему повороту сонячних панелей для максимізації збору сонячної енергії та очищення панелей від опадів.

## Порівняння існуючих рішень

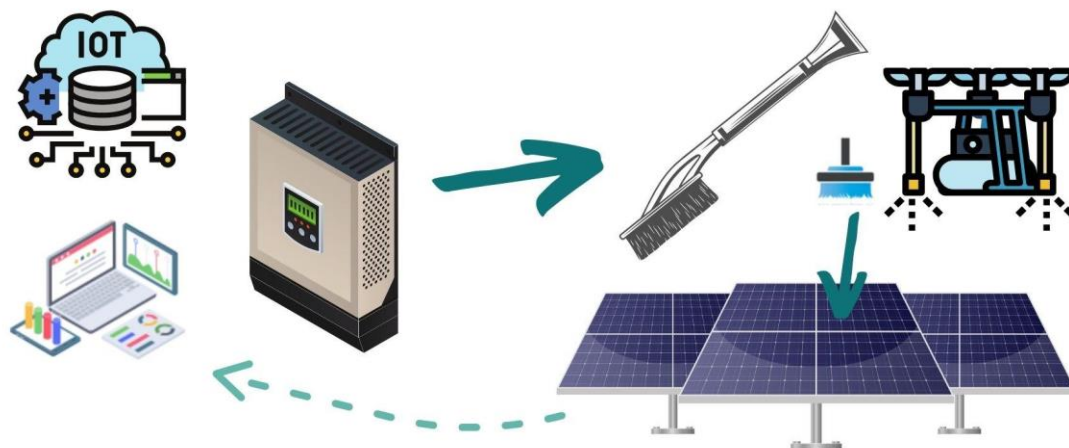


## Розумна система очистки

Система оснащена інтегрованим контролером, який автоматично визначає ступінь забруднення панелей та вибирає оптимальний метод очищення залежно від умов. Додатково, система може бути підключена до мережі Інтернет для дистанційного моніторингу та керування.



## Структурна схема



## Моніторинг забрудненості

### Вимірювання даних

Використання IoT, датчиків світлового потоку та оптичних датчиків для визначення змін у виробництві електроенергії. Зниження продуктивності може свідчити про наявність забруднення.

### Теплове зображення

Використання інфрачервоних камер для визначення температурних різниць на поверхні панелей. Забруднені області можуть видалятися як "гарячі плями".

### Метеодані та кліматичні умови

Враховання метеоданих, таких як кількість опадів, вологість повітря та інші фактори, які можуть впливати на забруднення.

### Алгоритми штучного інтелекту (аналіз зображень)

Використання візуального аналізу зображень для визначення площі та типу забруднення на поверхні панелей.

## Програмне забезпечення

```

import board
import busio
import adafruit_bh1750

# Ініціалізація I2C-інтерфейсу
i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)

# Ініціалізація об'єкту датчика освітленості BH1750
light_sensor = adafruit_bh1750.BH1750(i2c)

try:
    while True:
        # Зчитування значення освітленості в люксах
        light_intensity = light_sensor.lux
        print(f'Light Intensity: {light_intensity} lux')
except KeyboardInterrupt:
    pass

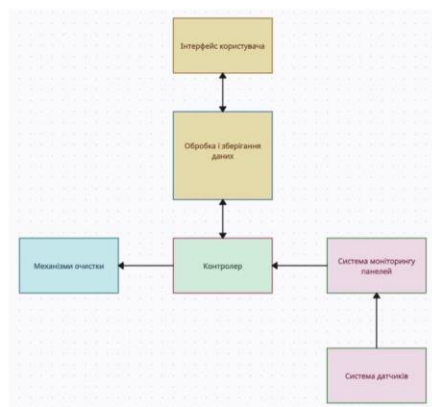
import Adafruit_DHT
import time

sensor_pin = 4
sensor_type = Adafruit_DHT.DHT22

while True:
    # Зчитування даних з датчика
    humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(sensor_type, sensor_pin)

    # Перевірка, чи вдалося зчитати дані
    if humidity is not None and temperature is not None:
        print(f'Temperature: {temperature:.2f}°C, Humidity: {humidity:.2f}%')
    else:
        print('failed to retrieve data from the sensor.')

    # Затримка перед наступним зчитуванням
    time.sleep(2)
  
```



## Інтерфейс користувача





## Висновки

1. Вивчено теоретичні основи функціонування автономних станцій енергопостачання на сонячних енергомодулях
2. Проаналізовано проблему забруднення сонячних панелей
3. Досліджено ефективність існуючих систем автоматичної очистки
4. Запропоновано концепцію розумної системи очистки панелей, яка передбачає вибір оптимального способу очищення та має ряд переваг







## Апробація результатів дослідження

- Казначеева А. В. «Альтернативна сонячна енергетика в системах безперебійного живлення». Тези доповіді на Всеукраїнській Науково-технічній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT», – Київ, 13 квітня 2023 р.
- Казначеева А. В. «Автоматизація очищення сонячних панелей на промислових та побутовх сонячних станціях автономного живлення». Стаття у загальногалузевому науково-виробничому журналі «Зв'язок», м.Київ - №1, 2024. – С.267-288.

**ДЯКУЮ  
ЗА  
УВАГУ**