Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система розпізнавання несправностей сонячної панелі

Назва теми

КвРКІ 220010.22.01.06 ПЗ
Шифр

Галузь знань *12 «Інформаційні технології»*
Шифр, назва

Спеціальність *123 «Комп'ютерна інженарія»*
Шифр, назва

Освітня програма *«Комп'ютерна інженерія та програмування»*
Назва

Виконав: студент III курсу, група КІ2с-22-1 _____ Назар ЖОЛКЕВСЬКИЙ
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник _____ Дмитро МЕДЗАТИЙ
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер _____ Тетяна КИСІЛЬ
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем _____ Ольга ПАВЛОВА
Підпис Ініціали, прізвище

«12» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНАРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

" 10 " 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Назару ЖОЛКЕВСЬКОМУ
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система розпізнавання несправностей сонячної панелі

Керівник проекту (роботи) Дмитро МЕДЗАТИЙ, д.т.н., проф.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Аналіз та дослідження кіберфізичних систем розпізнавання несправностей сонячної панелі

Класифікація сонячних панелей, аналіз їх роботи та несправностей

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи розпізнавання несправностей сонячної панелі

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Архітектура кіберфізичної системи

HTML, CSS, JS для веб інтерфейсу

Веб інтерфейс для відстеження данних

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КІІС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КІІС		

7. Дата видачі завдання «_10_»_____01_____2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз та дослідження кіберфізичних систем розпізнавання несправностей сонячної панелі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – класифікація сонячних панелей, аналіз їх роботи та несправностей	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи розпізнавання несправностей сонячної панелі	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент _____ Назар ЖОЛКЕВСЬКИЙ
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Дмитро МЕДЗАТИЙ
Підпис Ініціали, прізвище

№ рядка	формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз	Примітка
			Текстові документи			
1		КвРКІ 220010.22.01.06 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
			Графічні матеріали			
2		КвРКІ 220010.22.01.06 Е8	Архітектура кіберфізичної системи	1		
3		КвРКІ 220010.22.01.06 Е8	HTML, CSS, JS для веб інтерфейсу	1		
4		КвРКІ 220010.22.01.06 Е8	Веб інтерфейс для відстеження данних	1		

КвРКІ 220010.22.01.06 ВП

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Жолкевський		
Перевір.		Медзатий		12.06.25
Н. контр.		Кисіль		12.06.25
Затв.		Павлова		12.06.25

Відомість проекту

Літера	Аркуш	Аркушів
У	1	1

ХНУ, КІ2с-22-1

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «кіберфізичної системи розпізнавання несправностей сонячної панелі».

Автор роботи: Назар ЖОЛКЕВСЬКИЙ.

Керівник роботи: Медзатий Дмитро Миколайович.

Пояснювальна записка: 55 с., 19 рис., 7 табл., 3 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

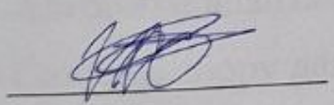
КІБЕРФІЗИЧНА, АРХІТЕКТУРА, СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, БАЗА ДАНИХ.

Метою дипломної роботи є дослідження та розробка кіберфізичної системи, призначеної для розпізнавання несправностей сонячної панелі, а також особливостей збору, обробки та передачі даних про стан системи з використанням мікроконтролерів і вебтехнологій.

Об'єктом дослідження є кіберфізичні системи моніторингу стану енергетичних установок.

Предметом дослідження є способи автоматизованого виявлення відхилень у роботі сонячних панелей з подальшою візуалізацією результатів через вебінтерфейс.

Під час виконання дослідження було використано метод систематичного аналізу літературних джерел для вивчення сучасних підходів до діагностики сонячних енергосистем, а також експериментальний метод для перевірки ефективності реалізованої моделі..



Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП 4
1 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ 5
1.1 Аналітичний огляд літератури та інтернет-джерел для кіберфізичних систем розпізнавання несправностей сонячної панелі 5
1.2 Аналіз існуючих рішень і технологій 6
1.3 Використання сенсорів для виявлення несправностей 9
1.4 Функції та бажані вимоги для системи 11
1.5 Постановка задачі 12
1.6 Висновки до першого розділу 13
2 КЛАСИФІКАЦІЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ, АНАЛІЗ ЇХ РОБОТИ ТА НЕСПРАВНОСТЕЙ 15
2.1 Аналіз роботи сонячних панелей та їх покращення 15
2.2 Класифікація сонячних панелей та їх характеристики 18
2.3 Класифікація та характеристика несправностей сонячних панелей 21
2.8 Висновки до другого розділу 37
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ 39
3.1 Опис модулів та пунктів реалізації системи 39
3.2 Налаштування веб сервера 42
3.3 База данних та її функціонал 45
3.4 Веб інтерфейс та його інтеграція 48
3.5 Алгоритм адаптації до умов експлуатації сонячної панелі 50
3.6 Система збору данних за допомогою радіомодуля 52
3.7 Висновки до третього розділу 55
ВИСНОВКИ 57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 59

ДОДАТОК А 65
ДОДАТОК Б 66
ДОДАТОК В 67

ВСТУП

Кіберфізичні системи являють собою складні інтегровані рішення, які об'єднують фізичні пристрої, програмне забезпечення та мережеві технології для забезпечення безперервного моніторингу, аналізу і управління різноманітними процесами у режимі реального часу. Вони сприяють створенню інтелектуальних платформ, здатних не лише збирати дані, але й приймати обґрунтовані рішення на основі їх аналізу. У сфері енергетики, особливо відновлюваної, ці системи набувають ключового значення, забезпечуючи стабільність і високу ефективність функціонування технологій.

Сонячні панелі, як один із найбільш перспективних джерел чистої енергії, є чутливими до зовнішнього впливу пристроями. Вони можуть піддаватися негативним факторам, таким як забруднення, затінення, механічні пошкодження чи поступова деградація матеріалів. Несправність навіть однієї панелі здатна суттєво знизити продуктивність всієї системи. Однак ручний контроль за їхнім станом вимагає значних ресурсів, є недостатньо точним та нерідко запізнюється. Саме у таких випадках вступають у гру кіберфізичні системи, які забезпечують автоматизований моніторинг та обробку даних про кожну панель у реальному часі.

Ці системи інтегрують датчики, контролери, аналітичні алгоритми і зрозумілі інтерфейси візуалізації, що дозволяє швидко виявляти несправності. Вони повідомляють про проблеми користувачів або самостійно ініціюють процедури їх усунення. Завдяки цьому значно зменшується час простою обладнання, підвищується загальна ефективність роботи сонячної електростанції і скорочуються витрати на її обслуговування. Таким чином, інтеграція кіберфізичних систем для виявлення несправностей у сонячних панелях є важливим кроком до створення надійної, інтелектуальної та стійкої енергетичної інфраструктури.

1 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

1.1 Аналітичний огляд літератури та інтернет-джерел для кіберфізичних систем розпізнавання несправностей сонячної панелі

Сучасна енергетика стрімко змінюється, зосереджуючи увагу на глобальному переході до відновлюваних джерел енергії. Однією з найбільш перспективних напрямів розвитку є сонячна енергія, що приваблює своєю доступністю, екологічністю та можливістю масштабування. У всьому світі, включно з Україною, активно збільшується кількість як централізованих, так і розподілених сонячних електростанцій, які постачають чисту енергію для домогосподарств, бізнесу та місцевих спільнот. Однак ефективність таких систем значною мірою залежить від технічного стану їх ключових компонентів – сонячних панелей, що потребують постійного моніторингу.

Навіть незначні дефекти або вихід з ладу окремих модулів можуть помітно знизити виробництво електроенергії. Зокрема, проблеми, як-от утворення «гарячих точок», забруднення поверхні, затінення чи деградація фотоелементів, часто залишаються непоміченими на початкових етапах, що ускладнює їх оперативне усунення без додаткових втрат. Традиційні методи діагностики, такі як візуальний огляд чи тепловізійний аналіз, хоча й є ефективними, вимагають спеціального обладнання, досвідченого персоналу та значних часових ресурсів. Це обмежує їх застосування в малих або віддалених об’єктах.

У рамках Індустрії 4.0 набуває актуальності впровадження сучасних високотехнологічних рішень, які синтезують фізичну інфраструктуру з цифровими технологіями. Одне з таких рішень – це кіберфізичні системи, що інтегрують сенсорні компоненти, пристрої збору даних, обчислювальні платформи, алгоритми аналізу та засоби зв’язку в єдину взаємодіючу архітектуру. Головна особливість цих систем полягає в їх здатності в реальному часі виявляти збої в роботі

обладнання, адаптуватися до змін умов навколишнього середовища та обробляти дані локально без постійної потреби у хмарних сервісах.

У випадку сонячних електростанцій такі системи здатні здійснювати постійний моніторинг ключових параметрів роботи: електричних показників (струм, напруга), температури модулів, рівня освітлення й стану з'єднань. Для забезпечення цього функціоналу до складу входять спеціальні сенсори та мікроконтролери, які здійснюють збір та обробку інформації безпосередньо на місці. Потенційні ознаки несправностей одразу передаються користувачам або до центрального вузла через бездротові канали зв'язку, такі як Wi-Fi, LoRa, Bluetooth або NRF24L01.

Алгоритми локального аналізу дозволяють системі не тільки виявляти проблеми, але й визначати їх типи за характерними показниками відхилень. Такий підхід забезпечує швидке реагування на несправності, ефективне планування технічного обслуговування й запобігання подальшим пошкодженням обладнання. Це стає основою для переходу від реактивної до превентивної моделі обслуговування, суттєво підвищуючи ефективність управління сонячними електростанціями.

Розробка кіберфізичної системи для автоматичного виявлення несправностей сонячних панелей є важливим і перспективним напрямом, що інтегрує досягнення в електроніці, програмуванні, енергетиці та аналітиці. Подібні рішення не тільки вдосконалюють експлуатаційні процеси, але й сприяють підвищенню надійності відновлюваної енергетики, роблячи її більш ефективною та доступною як для приватного використання, так і для промислових потреб.

1.2 Аналіз існуючих рішень і технологій

Аналіз існуючих підходів до виявлення несправностей у сонячних панелях демонструє значний прогрес у розвитку технологій моніторингу. Традиційно ключовими методами контролю залишалися візуальна інспекція та інфрачервона

термографія. Візуальний метод передбачає фізичний огляд кожної панелі для виявлення тріщин, пошкоджень, забруднень або слідів перегріву, тоді як інфрачервона термографія використовує тепловізори для ідентифікації аномальних температурних зон, які можуть сигналізувати про явища, такі як "гарячі точки" або деградація осередків. Хоча ці методи широко застосовуються на комерційних та середньомасштабних енергетичних об’єктах, вони мають суттєві обмеження, включаючи необхідність кваліфікованого персоналу, труднощі в автоматизації процесу та значні витрати на регулярне використання.

У відповідь на зазначені виклики було впроваджено нове покоління системи моніторингу, заснованої на кіберфізичних технологіях. Зокрема, рішення SolarEdge та Enphase Energy пропонують модулі моніторингу на рівні окремих панелей. У цих системах мікроінвертори або оптимізатори збирають дані про напругу, струм і температуру, передаючи їх до центрального контролера, що виводить отримані результати у вигляді аналітичних панелей через веб-інтерфейс. Це дозволяє здійснювати діагностику ідентифікованих проблем без необхідності фізичного втручання, що суттєво скорочує час на усунення несправностей.

Інший приклад представляє система FusionSolar від компанії Huawei, інтегроване рішення для великих сонячних електростанцій, що поєднує інвертори з вбудованими сенсорами та хмарною платформою для обробки даних за допомогою алгоритмів штучного інтелекту (ШІ). Система не лише фіксує поточні порушення в роботі, але й прогнозує можливі відмови на основі аналізу поведінкових шаблонів. Подібні алгоритми використовуються в продуктах таких компаній, як Siemens, ABB та Schneider Electric, впроваджуючи функцію діагностики несправностей у комплексні системи управління енергетикою.

Наукове співтовариство активно досліджує прототипи рішень, побудованих на основі нейронних мереж для визначення аномалій у виробництві енергії. Такі прототипи порівнюють фактичні показники з прогнозними моделями, які враховують інсоляцію, кут нахилу панелей та історичні дані. Наприклад, розробка від учених Стенфордського університету полягає у створенні мобільного

пристрою, який можна інтегрувати в будь-яку панель для автономного виявлення незвичностей через машинний аналіз локальних даних.

Крім високотехнологічних рішень, на ринку також присутні доступніші варіанти, орієнтовані на домашніх користувачів. Наприклад, системи на основі платформ ESP32 або Raspberry Pi з використанням недорогих датчиків дозволяють отримувати базову аналітику та сповіщення через мобільні додатки. Такі рішення часто адаптуються відповідно до індивідуальних потреб користувачів і популяризуються спільнотами в рамках відкритих проєктів, таких як OpenEnergyMonitor чи SolarMonitor.

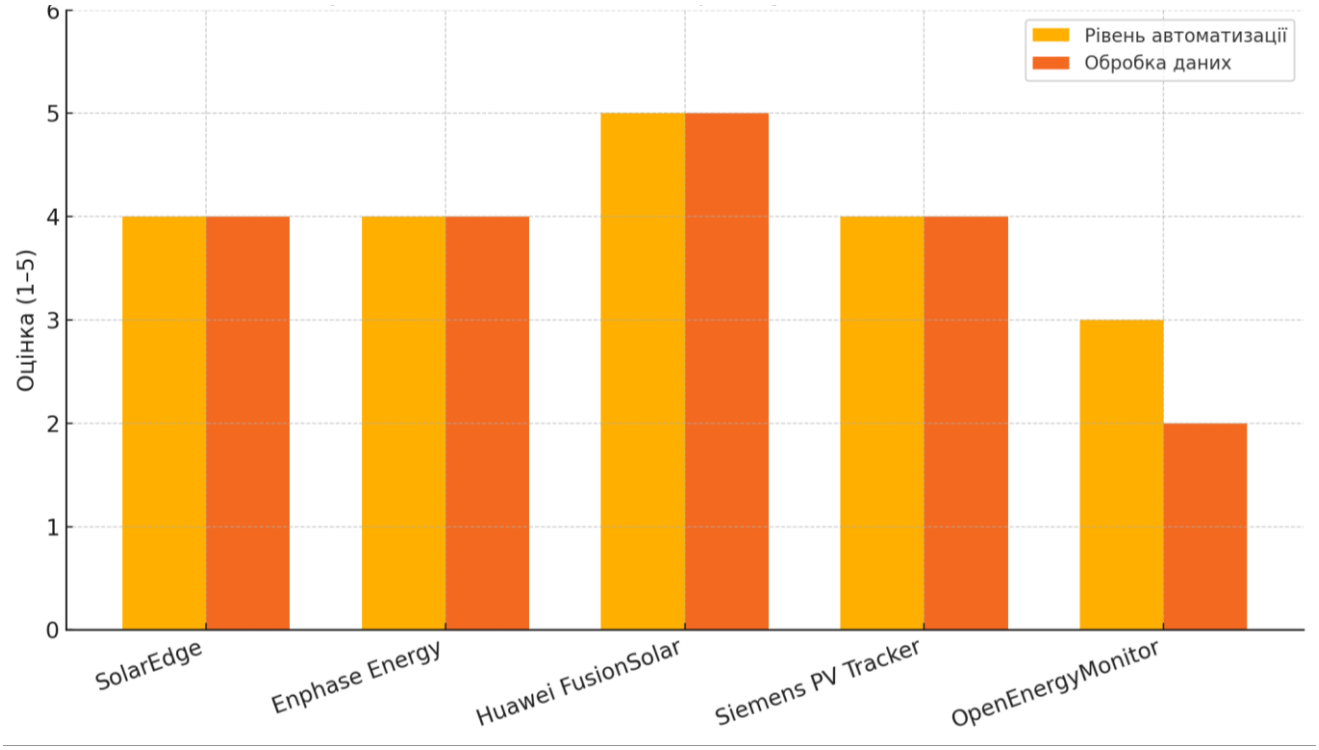


Рисунок 1.1 – Порівняння Систем Моніторингу Сонячних Панелей

Сучасні технології моніторингу сонячних панелей пропонують широкий вибір рішень, які варіюються від простих ручних методів до складних автоматизованих систем зі штучним інтелектом. Вибір відповідної технології визначається масштабами об'єкта, виділеним бюджетом, доступністю кваліфікованих фахівців та необхідним рівнем точності. Загальною тенденцією є прагнення до максимальної автономізації систем, мінімізації участі людини у

процесах обслуговування та впровадження передбачуваного й аналітично обґрунтованого підходу до експлуатації фотоелектричних установок.

1.3 Використання сенсорів для виявлення несправностей

Діагностика несправностей у сонячних панелях є ключовим елементом забезпечення ефективності роботи фотоелектричних систем. Своєчасне виявлення відхилень дозволяє мінімізувати втрати енергії та запобігти серйозним пошкодженням обладнання. Для цього використовуються різні методи, серед яких найбільш популярними є аналіз температурного профілю поверхні панелей і контроль електричних параметрів, таких як струм і напруга.

Температурний аналіз за допомогою тепловізорів дає змогу виявити так звані «гарячі точки» – локалізовані ділянки з аномально високою температурою, які зазвичай сигналізують про дефекти у фотоелементах або проблеми з електричними з'єднаннями. Цей метод виділяється своєю точністю, оскільки дозволяє виявляти проблеми ще на початкових стадіях, до появи значних втрат потужності. Однак використання тепловізорів має певні обмеження: висока вартість обладнання, необхідність залучення кваліфікованих експертів для аналізу теплових зображень і значна трудомісткість, що ускладнює виконання такого моніторингу у великих системах.

Ще одним поширеним підходом є постійний контроль струму та напруги модулів у реальному часі. Цей метод базується на аналізі змін електричних характеристик кожного компонента системи або їхніх груп. Його основна перевага полягає у доступності: недорогі сучасні сенсори легко інтегруються в системи управління та забезпечують автоматизований моніторинг без значних витрат. Проте цей метод не дозволяє точно визначити природу несправності. Наприклад, виявлення падіння струму або напруги свідчить про проблему, але не дає інформації про її причину – чи це спричинено затемненням панелі, деградацією матеріалів, коротким замиканням або іншими факторами.

Для підвищення точності електричних вимірювань часто додають сенсори контролю зовнішніх умов, таких як рівень освітленості, температура навколишнього середовища чи вологість. Такий підхід об’єднує кілька каналів збору даних, створюючи гібридну систему діагностики, яка забезпечує більш детальну ідентифікацію типу несправності.

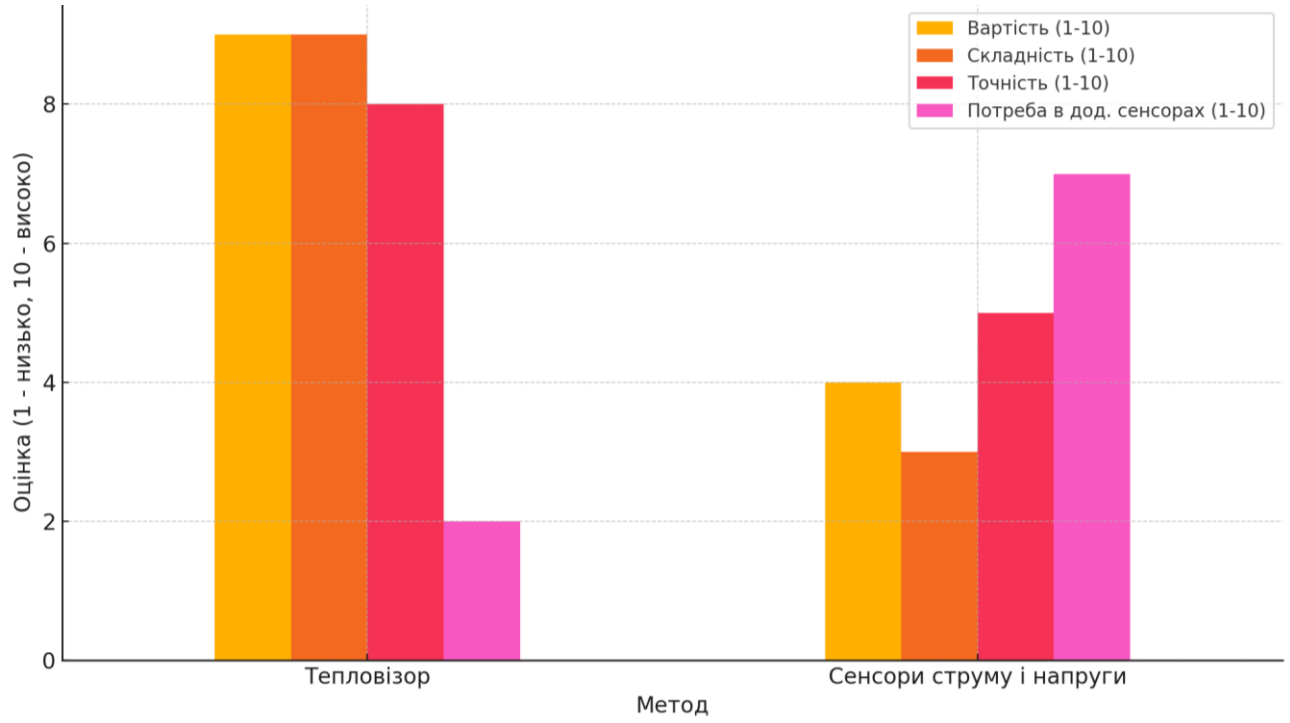


Рисунок 1.2 – Порівняння методів виявлення несправностей у сонячних панелях

Кожен із зазначених методів має свої переваги та недоліки. Вибір найбільш відповідного підходу залежить від розмірів установки, доступного бюджету, рівня необхідної точності діагностики та ступеня автоматизації обслуговування. У багатьох випадках найкращим рішенням є поєднання обох методів, що дозволяє отримати як загальний моніторинг системи, так і можливість локалізації конкретних проблем.

1.4 Функції та бажані вимоги для системи

Для створення дієвої системи виявлення несправностей у сонячних панелях необхідно ретельно визначити набір вимог, які охоплюють технічні, функціональні та експлуатаційні аспекти. Ці вимоги мають забезпечувати надійний, своєчасний та економічно виправданий моніторинг стану фотоелектричних модулів у реальних умовах експлуатації. Раціонально групувати такі вимоги за категоріями, а саме функціональними, технічними, експлуатаційними та економічними, інтегруючи їх у загальну логічну структуру.

Насамперед система повинна здійснювати безперервний або періодичний збір даних про технічний стан сонячних панелей. Це передбачає використання апаратних компонентів, здатних фіксувати ключові параметри: силу струму, напругу, температуру, освітленість, вологість та інші метерологічні показники. Частота зчитування даних має бути такою, щоб оперативно виявляти як короткочасні відхилення, так і поступове зниження продуктивності окремих модулів.

Критично важливим є забезпечення можливості обробляти отримані дані в режимі реального часу чи з мінімальною затримкою. Обов’язковим елементом такої системи повинен бути модуль аналізу даних, що порівнює поточні показники з еталонними та ідентифікує аномалії, які виходять за межі допустимих норм. Алгоритми аналізу повинні враховувати вплив змін погоди та інших зовнішніх чинників, щоб знизити ризик хибнопозитивних спрацювань. Для підвищення точності розпізнавання причин несправностей доцільно застосовувати технології машинного навчання чи програмовану логіку, що дозволяють розрізняти типи проблем, наприклад, забруднення від електричних дефектів.

Масштабованість системи є ще одним важливим фактором. Архітектура повинна дозволяти її як для невеликих приватних установок, так і для великих промислових об’єктів. Для цього необхідно впроваджувати модульний підхід із можливістю поступового розширення функціональності без необхідності в

повному переобладнанні. Використання бездротової або гібридної передачі даних сприятиме спрощенню монтажу систем на об’єктах великої площі.

Довговічність і стабільність функціонування в умовах різних кліматичних чинників також є ключовою вимогою. Усі апаратні елементи, а це сенсори, контролери та передавачі повинні мати стійкість до пилу, вологи, температурних коливань та електромагнітних перешкод. Оптимальним буде забезпечення відповідності стандартам захисту IP65 чи вищим.

Автономність роботи системи є особливо актуальною для віддалених установок. Вона потребує застосування енергоефективних компонентів зі здатністю працювати на резервному живленні або від сонячних модулів, а також мати функціонал локального зберігання даних у разі втрати зв’язку із сервером.

Отже, система діагностики та виявлення несправностей сонячних панелей має відповідати широкому набору критеріїв, спрямованих на забезпечення високої точності, адаптивності до змінних умов, надійності у функціонуванні, доступності у впровадженні та можливості масштабування. Успішне проєктування й реалізація такої системи вимагає міжгалузевого підходу, що об'єднує знання у сферах електроніки, енергетики, інформаційних технологій і системного інжинірингу.

1.5 Постановка задачі

У рамках даної кваліфікаційної роботи поставлено завдання створити високотехнологічну систему виявлення несправностей у сонячних панелях, яка забезпечуватиме автоматизований контроль ключових параметрів роботи фотоелектричних модулів для своєчасного виявлення технічних відхилень. Передбачається, що система здійснюватиме збір даних про струм, напругу, температуру, рівень освітлення та інші важливі показники, оброблятиме їх у близькому до реального часу режимі, проводитиме аналіз закономірностей роботи, а також фіксуватиме аномалії, які можуть свідчити про потенційні проблеми.

Основою проекту стане модульна апаратно-програмна платформа, яка матиме можливість масштабування відповідно до розміру фотоелектричної установки, а також адаптації до різних експлуатаційних умов. Особливий акцент приділяється інтеграції сенсорної мережі з алгоритмами обробки даних, що базуватимуться на методах аналітики та машинного навчання. В результаті функціонування системи користувач отримуватиме детальну діагностику стану панелей із можливістю не лише оперативного виявлення несправностей, але й визначення їх джерела.

Таким чином, проект орієнтований на розробку надійного інструменту, здатного підвищити енергоефективність сонячних установок і оптимізувати витрати на їх технічне обслуговування завдяки новітнім підходам до моніторингу та діагностики.

1.6 Висновки для першого розділу

У першому розділі ми аналізували данні щодо двох основних методів виявлення несправностей у сонячних панелях, що дозволяє дійти до обґрунтованих висновків про їхню ефективність, практичність та доцільність впровадження в різних умовах експлуатації.

Метод тепловізійної діагностики вирізняється високою точністю у визначенні локальних дефектів, таких як перегрів елементів чи порушення електричних з’єднань. Завдяки можливості візуалізації температурного розподілу цей підхід дає змогу не лише виявляти наявність несправності, але й точно визначати її місцезнаходження з високою деталізацією. Водночас його практичне застосування ускладнюється високою вартістю обладнання, складністю експлуатації та необхідністю залучення кваліфікованих фахівців для інтерпретації даних. Ці фактори накладають обмеження на широке використання такого підходу, особливо на станціях із великою кількістю панелей або там, де потрібна максимальна автоматизація обслуговування.

З іншого боку, метод моніторингу параметрів струму і напруги в реальному часі пропонує більш економічне та просте рішення, яке легко інтегрується в існуючі електричні системи сонячних електростанцій. Цей підхід забезпечує своєчасне виявлення відхилень у роботі системи, хоча його інформативність залишається обмеженою. Причиною цього є те, що зміни параметрів не завжди дозволяють чітко ідентифікувати конкретну несправність. Для підвищення точності діагностики необхідно впроваджувати додаткові сенсори зовнішніх впливів, таких як освітленість, температура навколишнього середовища, вологість тощо, які впливають на продуктивність панелей.

Порівняння цих методів свідчить, що кожен із них має свої сильні та слабкі сторони і не може вважатися універсальним. Тепловізійна діагностика забезпечує детальніший аналіз, проте поступається економічною ефективністю й зручністю. Моніторинг на основі сенсорів струму і напруги ідеально підходить для постійного контролю, але потребує розширення функціональних можливостей для підвищення точності. Найбільш перспективним видається комбінований підхід, який інтегрує переваги обох методів, забезпечуючи баланс між точністю, доступністю та гнучкістю за умов експлуатації. Такий напрям має потенціал стати основою для подальших досліджень і розробок у сфері моніторингу технічного стану сонячних електростанцій.

2 КЛАСИФІКАЦІЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ, АНАЛІЗ ЇХ РОБОТИ ТА НЕСПРАВНОСТЕЙ

2.1 Аналіз роботи сонячних панелей та їх покращення

Сонячні панелі працюють на основі фотоелементів, які здебільшого виготовляються з кремнію, представленого у формах монокристалічного або полікристалічного матеріалу. Останніми роками приділяється значна увага дослідженню нових матеріалів, таких як перовскіт, що може значно підвищити ефективність перетворення енергії. Проте ці матеріали поки що поступаються кремнію в стабільності, що залишається критичним фактором для їх практичного застосування. Основним принципом роботи сонячної панелі є ефект фотогальваніки, який забезпечує перетворення сонячного випромінювання у електричний струм.

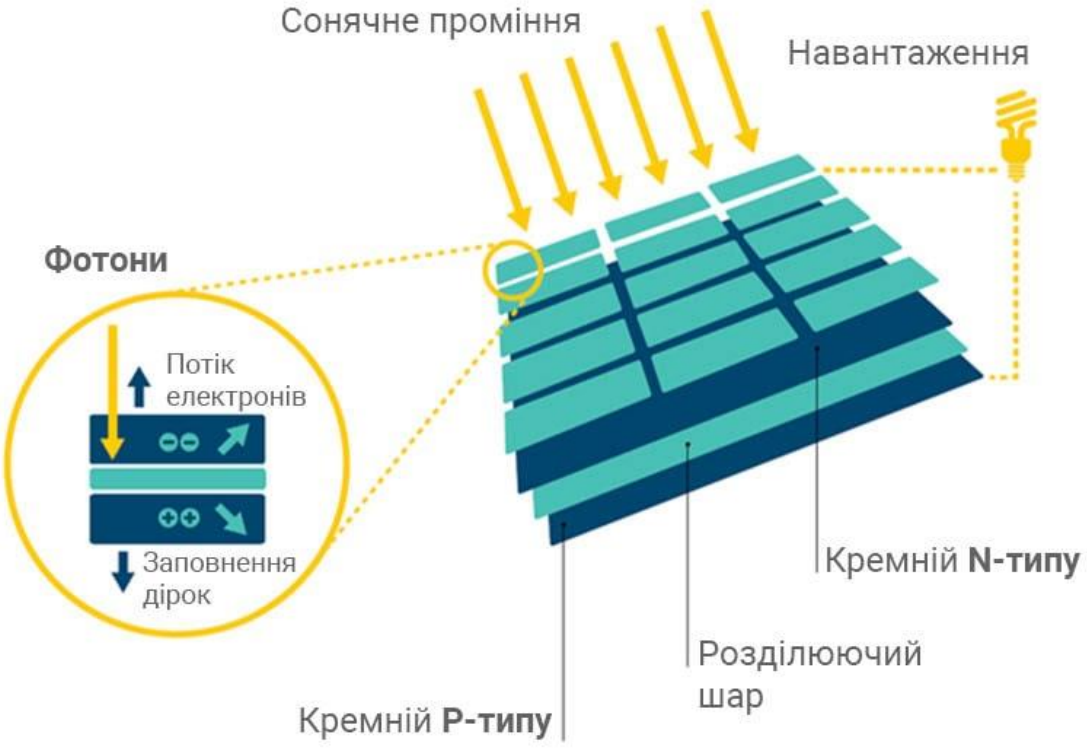


Рисунок 2.1 – Принцип роботи сонячних панелей

Ефективність такого перетворення залежить від низки параметрів і становить від 15% до 22%, залежно від типу панелі та її конструктивних особливостей. Панелі з вищою ефективністю генерують більше електроенергії на одиницю площі, що має велике значення для оптимального розрахунку території, необхідної для встановлення сонячних установок.

Після генерації електричний струм, отриманий у результаті поглинання світла, має форму постійного струму (DC). Однак, оскільки більшість пристроїв і електромереж працює на змінному струмі (AC), потрібне використання інверторів. Вони здійснюють перетворення постійного струму в змінний, роблячи отриману енергію придатною для застосування у побутових або промислових цілях.

Ключовим компонентом кожного фотоелемента є п-н перехід, який утворюється між двома шарами кремнію: р-типом, що характеризується наявністю дірок як основних носіїв заряду, і n-типом, де переважають електрони. Ця структура формує електричне поле, яке сприяє руху електронів під впливом сонячного світла, генеруючи таким чином електричний струм.

Температурний коефіцієнт відіграє важливу роль у роботі сонячних панелей. Підвищення температури негативно впливає на ефективність їх роботи, оскільки більшість фотогальванічних матеріалів втрачає здатність до високоефективного перетворення енергії за умов перегріву. Зниження продуктивності зазвичай становить 0.3–0.5% на кожен градус підвищення температури. Тому контроль температурних умов є важливим аспектом установки панелей, особливо в регіонах із жарким кліматом.

Усі зазначені компоненти та фактори працюють у взаємозв’язку, визначаючи загальний рівень продуктивності сонячної панелі та її ефективність у енергетичних системах. Це дозволяє оцінити перспективи розвитку такої технології для задоволення енергетичних потреб сучасного суспільства.

Таблиця 2.1 – Параметри фотоелементів сонячних панелей

Елемент	Опис
Матеріал	Зазвичай використовується кремній (монокристалічний або полікристалічний), іноді використовується перовскіт.
Ефективність перетворення	Залежить від типу панелі, зазвичай коливається від 15% до 22%.
Тип струму	Постійний струм (DC), що перетворюється на змінний струм (AC) за допомогою інвертора.
Тип п-н переходу	p-тип кремнію (дірки) та n-тип кремнію (електрони), що створює електричне поле.
Температурний коефіцієнт	Втрата ефективності на 0.3-0.5% на кожен градус Цельсія підвищення температури.

Одним із найперспективніших способів удосконалення роботи сонячних панелей є впровадження сучасних матеріалів у виробництво фотоелементів. Заміна традиційного кремнію на більш ефективні перовскіти значно підвищує коефіцієнт перетворення сонячної енергії. Перовскітні матеріали вирізняються високою ефективністю за невеликих витрат на виробництво, що робить їх особливо привабливими для широкомасштабного використання. Водночас вирішення питань стабільності та довговічності цих матеріалів залишається важливим завданням для подальших досліджень.

Ще однією ключовою стратегією є оптимізація конструкції панелей. Використання багатошарових модулів дозволяє захоплювати більше енергії за рахунок поглинання світла у різних спектральних діапазонах. Це допомагає

мінімізувати теплові втрати та підвищити загальну ефективність роботи панелей. Такі модулі ефективно функціонують навіть за умов слабкого освітлення або під впливом короткохвильового сонячного випромінювання.

Особливу увагу слід приділити правильному нахилу та розташуванню панелей. Ефективність їх роботи багато в чому залежить від кута, під яким вони орієнтовані щодо сонячного світла. Оптимальний кут змінюється в залежності від пори року та географічного положення, тому широке застосування знаходять трекери, які автоматично коригують нахил відповідно до руху сонця. Це дозволяє збільшити час прямого впливу сонячних променів і, відповідно, вироблення енергії.

Не менш значущим напрямком є вдосконалення інверторів, які відповідають за перетворення постійного струму, генерованого панелями, на змінний струм, придатний для повсякденного використання. Новітні моделі інверторів здатні скорочувати енергетичні втрати під час перетворення, забезпечуючи стабільну й ефективну роботу всієї системи.

Тому підвищення ефективності сонячних панелей вимагає комплексного підходу, який включає розробку нових матеріалів, поліпшення конструкції, оптимізацію розташування та інтеграцію новітніх технологій для зниження теплових втрат і досягнення максимальної продуктивності всієї системи.

2.2 Класифікація сонячних панелей та їх характеристики

Сонячні панелі класифікуються за кількома ключовими ознаками, серед яких особливе місце займають матеріал виготовлення фотоелементів, конструктивні характеристики панелей та їх рівень ефективності. Основними типами панелей, що наразі домінують у галузі, є монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові модулі, кожен із яких має специфічні властивості, переваги та обмеження.

Монокристалічні сонячні панелі виготовляються з цільного кристала кремнію, що забезпечує високу ефективність перетворення сонячної енергії в

електричну. Вони демонструють тривалий термін служби та значну продуктивність, проте їх виробництво залишається порівняно дорогим. В Україні такі панелі здебільшого встановлюються в масштабних приватних і комерційних проєктах, де є нагальна потреба максимізувати ефективність з обмеженої площі. У США вони також широко використовуються завдяки значним інвестиціям у сектор відновлюваної енергетики, що стимулює розвиток інноваційних технологій в сонячній енергетиці.

Полікристалічні панелі, виготовлені з кількох кристалів кремнію, характеризуються нижчими виробничими витратами порівняно з монокристалічними модулями, але поступаються їм в аспекті ефективності. Незважаючи на їхню нижчу продуктивність, полікристалічні панелі залишаються широко популярними завдяки своїй економічності. На території України ці панелі зазвичай використовуються у приватному секторі та для невеликих підприємств, де вартість панелей важливіша за максимальну енергоефективність, хоча їх енергетична щільність на квадратний метр є нижчою.

Тонкоплівкові сонячні панелі мають суттєво іншу структуру: вони виготовляються із застосуванням тонкого шару напівпровідникового матеріалу, що значно знижує витрати на їх виробництво. Водночас цей тип панелей демонструє найнижчу ефективність серед розглянутих варіантів. Найчастіше тонкоплівкові модулі використовуються на великих площах, наприклад, у комерційних або промислових установках, де зменшення вартості системи на одиницю площі компенсує низьку ефективність окремих панелей.

Ця інформація дозволяє визначити, який тип сонячних панелей найкраще підходить для конкретного проєкту. Наприклад, у випадку приватних будинків в Україні, де обмежений простір для встановлення може відігравати ключову роль, монокристалічні панелі зазвичай вважаються оптимальним вибором завдяки їхній високій ефективності. У той же час, для великих комерційних об'єктів із пріоритетом на мінімізацію витрат, вибір може схилитися на користь

полікристалічних або навіть тонкоплівкових панелей, за умови наявності достатньої площі для їхнього розміщення.

Таблиця 2.2 – Параметри сонячних панелей та їх особливості

Тип панелі	Ефективність (%)	Вартість виробництва	Тривалість служби (роки)	Особливості
Монокристалічні	18-22	Вища	25-30	Висока ефективність, хороша продуктивність при обмеженій площі
Полікристалічні	15-18	Середня	20-25	Дешевші, але менш ефективні
Тонкоплівкові	10-12	Нижча	15-20	Низька ефективність, дешевші в виробництві, потребують більше місця

Графік ефективності та вартості панелей наочно відображає різницю між різними типами. Монокристалічні панелі виділяються високою ефективністю, проте їхня ціна значно вища порівняно з полікристалічними, які, хоча й поступаються в ефективності, пропонуються за більш доступною ціною. Тонкоплівкові панелі демонструють найнижчий рівень ефективності, але завдяки своїй дешевизні часто використовуються для масштабних проєктів.

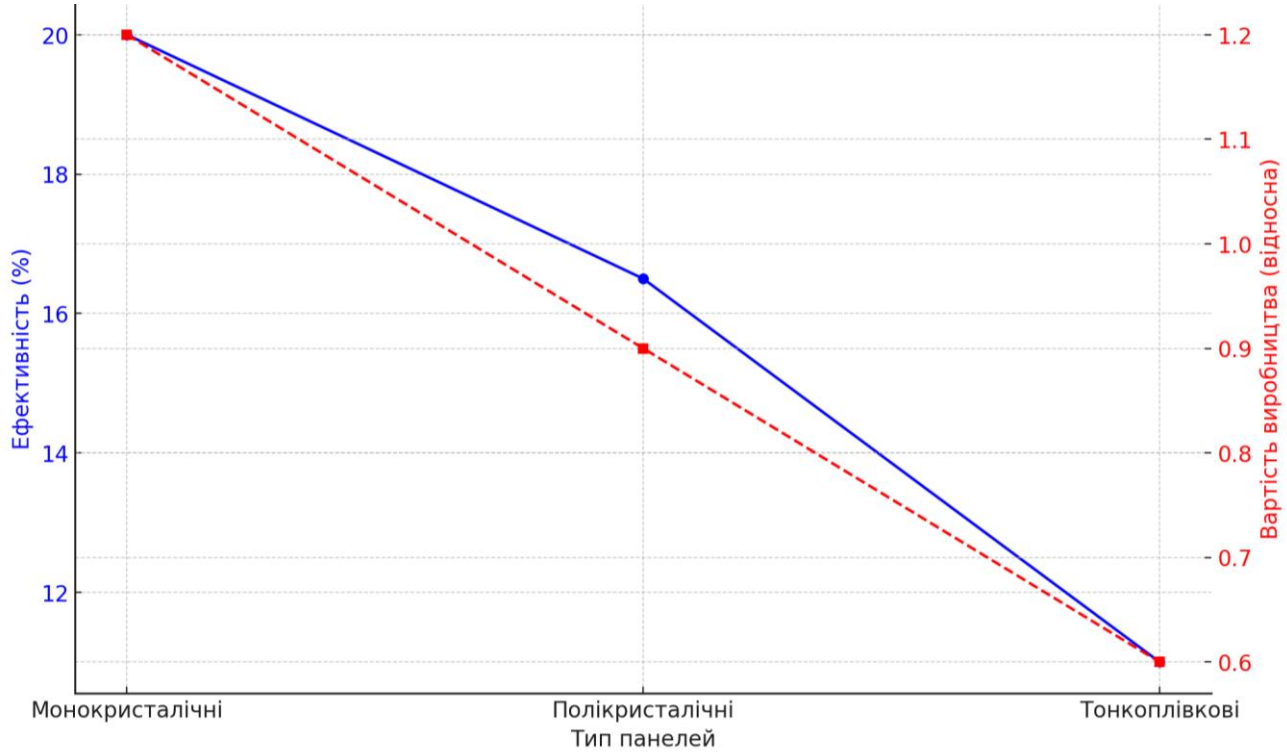


Рисунок 2.2 – Порівняння ефективності та вартості сонячних панелей

На графіку синя лінія ілюструє зміну ефективності, тоді як червона пунктирна лінія позначає вартість виробництва панелей. З представлених даних очевидно, що монокристалічні панелі мають не лише найвищу ефективність, але й найбільші витрати на виробництво.

2.3 Класифікація та характеристика несправностей сонячних панелей

У процесі експлуатації сонячних панелей можуть виникати різні несправності, які суттєво впливають на їх ефективність і довговічність. Розглянемо найпоширеніші типи поломок, їхні причини та наслідки для роботи панелей, а також методи профілактики та усунення таких проблем.

Гарячі точки на сонячних панелях є одним із найбільш серйозних дефектів, які можуть виникнути під час їх експлуатації. Вони утворюються через локальне перегрівання окремих ділянок фотоелементів, що може не лише суттєво знизити ефективність роботи панелі, але й призвести до її повного виходу з ладу. Причини

їх появи є різноманітними, серед яких найпоширеніші: затінення панелей, виробничі дефекти та пошкодження, які виникають під час транспортування або монтажу.

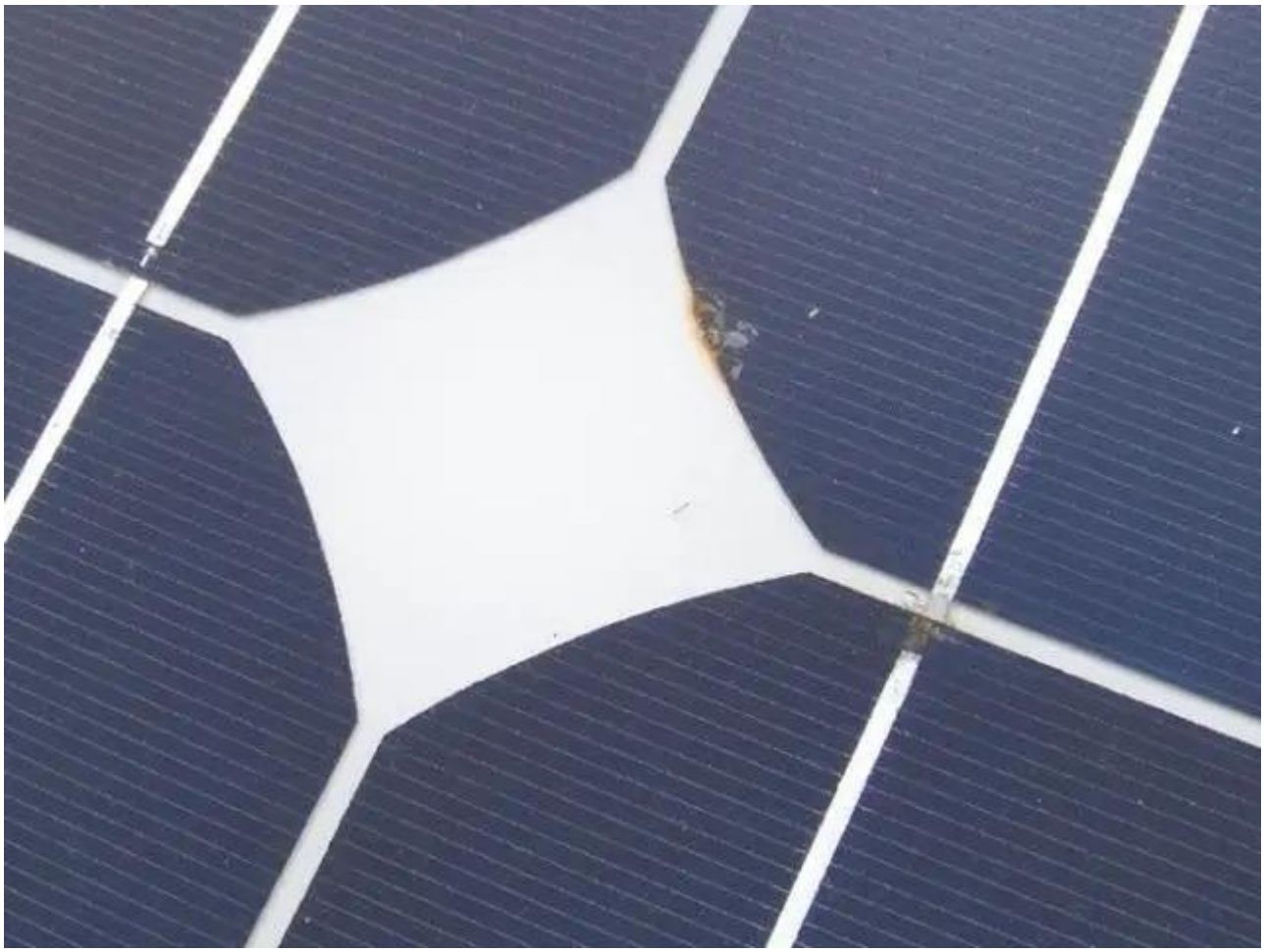


Рисунок 2.3 – Гаряча точка на сонячній панелі

Затінення є однією з ключових причин виникнення гарячих точок. У такій ситуації частина фотоелемента зазнає підвищення опору, оскільки не може ефективно генерувати електричний струм. Зазвичай струм перетікає через струмознімні доріжки, однак на затінених ділянках його значна частина перетворюється на тепло. Це тепло, через обмежену здатність до розсіювання, викликає локальний перегрів і утворення гарячої точки.

Такі точки здебільшого утворюються в місцях зі зниженою ефективністю перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Значне нагрівання

цих зон спричиняє руйнування матеріалів панелі, таких як EVA-плівка, підкладка чи сам фотоелемент. Ба більше, наслідками перегріву можуть стати окислення контактів або короткі замикання, що критично впливають на функціональність панелі та скорочують термін її служби.

Для запобігання гарячим точкам виробники використовують різні технологічні рішення, одне з яких це встановлення діодів Шоттки. Ці захисні діоди відключають затінені секції панелі, зменшуючи навантаження на них і запобігаючи перегріванню. Однак навіть із такими заходами гарячі точки можуть виникати. Причиною цього можуть бути затримка у спрацьовуванні діодів або часткове затінення панелі, коли діоди не встигають відключити проблемну ділянку.

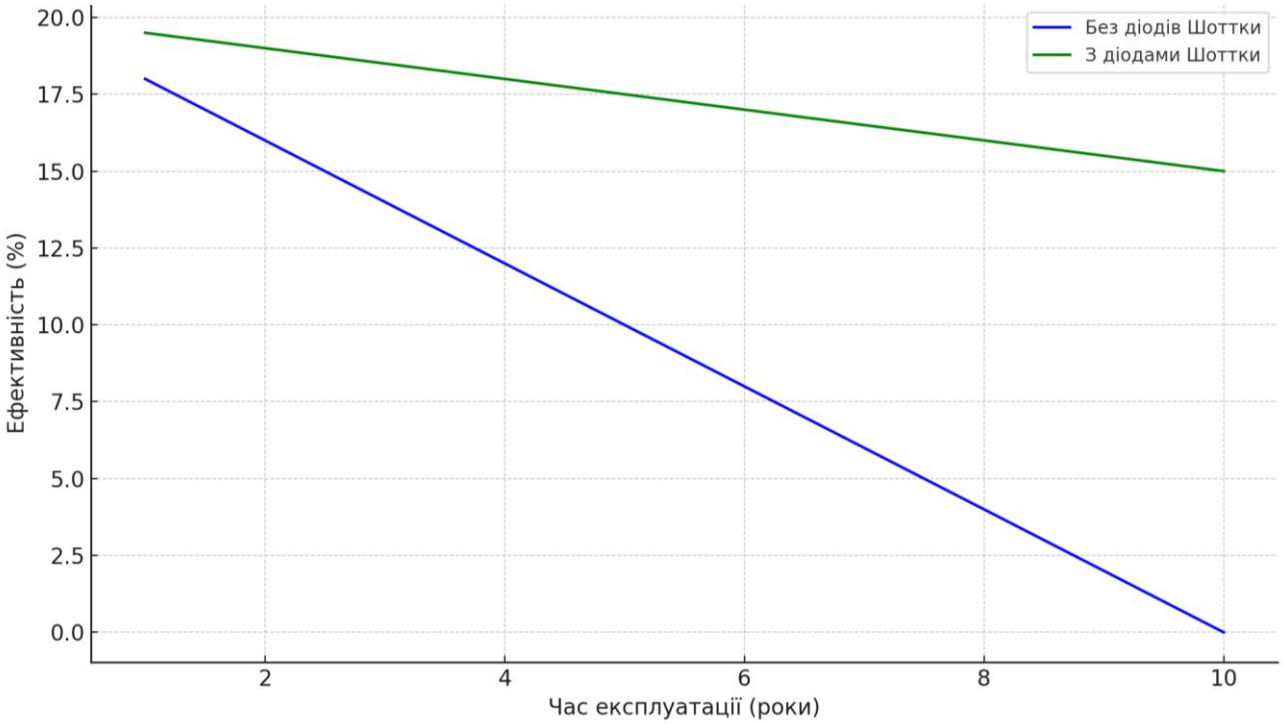


Рисунок 2.4 – Вплив діодів Шоттки на ефективність сонячних панелей

Цей графік показує, як діоди Шоттки допомагають зменшити втрати ефективності, спричинені гарячими точками, протягом часу експлуатації. Як видно, панелі без діодів Шоттки швидше втрачають ефективність через перегрів, тоді як панелі з такими діодами мають значно стабільнішу продуктивність.

Ще однією розповсюдженою причиною є дефекти контактних точок: тріщини у шинах або погані з'єднання контактів на панелі. Високий опір у таких місцях сприяє накопиченню тепла і подальшому перегріванню.

Щоб мінімізувати ризик утворення гарячих точок, слід дотримуватися кількох ключових рекомендацій. Насамперед потрібно забезпечити правильне встановлення панелей із мінімізацією можливості їх затінення. Також важливо враховувати якість виготовлення та використовувати відповідно підібрані захисні діоди. Ретельне проєктування систем повинно передбачати оптимальні умови для охолодження та вентиляції панелей, що сприятиме ефективному тепловідведенню. Не менш важливим є регулярний моніторинг стану обладнання, виявлення пошкоджень чи дефектів, а також своєчасне обслуговування і заміна проблемних компонентів.

Деламінування сонячних панелей є серйозною проблемою, яка може суттєво вплинути на їхню продуктивність і скоротити термін експлуатації. Цей процес полягає у відшаруванні компонентів фотомодуля, передусім EVA-плівки (етиленвінілацетату), що відіграє ключову роль у герметичності конструкції та захисті фотоелементів від впливу зовнішніх факторів, таких як волога, пил і ультрафіолетове випромінювання. Причини деламінування зазвичай криються в некоректних умовах виробництва або зберігання панелей, а також у використанні матеріалів низької якості.

Під час виробництва сонячних панелей усі їхні шари з'єднують методом ламінування за допомогою високої температури та тиску. Це забезпечує утворення міцної та герметичної конструкції. Однак будь-які похибки в дотриманні параметрів ламінування можуть спричинити дефекти у щепленні шарів. Недостатній тиск або температура під час цього процесу можуть стати причиною того, що EVA-плівка неналежним чином прилягає до поверхні фотоелементів. Як результат, з часом плівка може почати відшаровуватися, погіршуючи характеристики панелі.

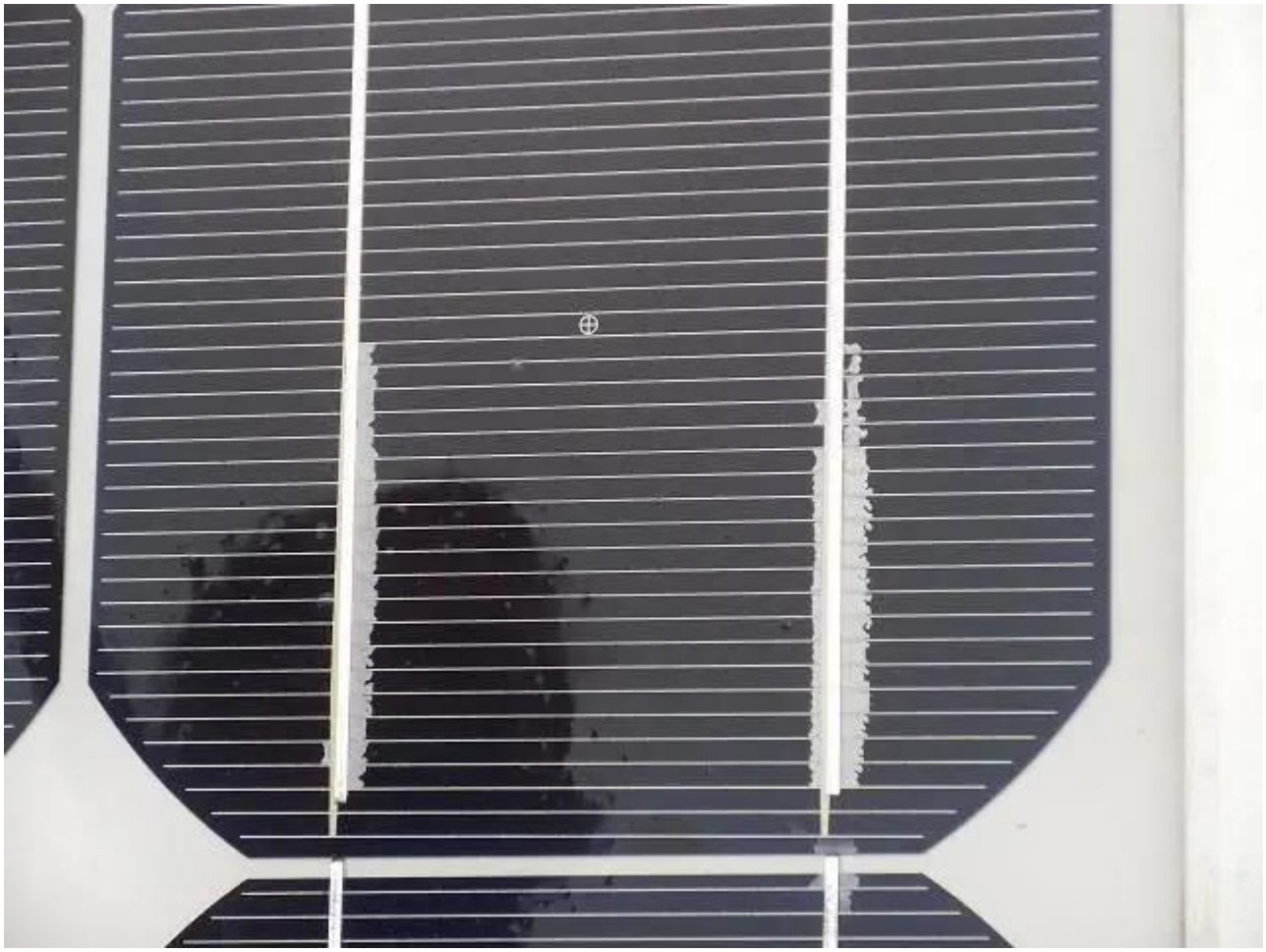


Рисунок 2.5 – Розшарування EVA - плівки

Однією з ключових причин деламінування є економія на якості матеріалів, зокрема застосування дешевих EVA-плівок, які недостатньо захищають фотоелементи від вологи та ультрафіолету. Такі плівки зазвичай не витримують довготривалого впливу агресивного середовища, що провокує розшарування шарів. У результаті з'являється характерний білий наліт це візуальний ознака проблеми. Волога, що проникає через пошкоджені шари, стимулює корозію металевих елементів, знижуючи ефективність роботи модулів і навіть призводячи до їхнього повного виходу з ладу.

Деламінування порушує нормальне функціонування панелі, адже проникнення вологи викликає корозійні процеси та пошкоджує фотоелементи, поступово знижуючи їхню продуктивність. Крім того, відшарована плівка ускладнює передачу тепла і змінює електрохімічні властивості панелі. Особливо

небезпечними є дефекти на критичних ділянках поблизу країв панелі чи контактних точок оскільки вони спричинюють суттєві втрати енерговиробництва.

Для уникнення деламінування необхідно приділяти особливу увагу якості компонентів та точності виробничих процесів. Параметри ламінування, такі як температура та тиск, повинні суворо контролюватися для забезпечення належного зчеплення між шарами. Використання високоцінних EVA-плівок і інших витривалих матеріалів є важливою умовою, оскільки вони здатні витримувати значне навантаження та несприятливі зовнішні умови. Додатково до правильного виготовлення необхідно забезпечити відповідні умови зберігання панелей до їх використання. Своєчасний захист виробів від потрапляння вологи чи впливу ультрафіолетового випромінювання до монтажу дозволяє мінімізувати ризик виникнення дефектів і збільшити термін експлуатації сонячних панелей.

Тріщини та мікротріщини фотоелементів у сонячних панелях є одними з найпоширеніших проблем, які можуть виникати під час виробництва, транспортування або експлуатації. Хоча мікротріщини зазвичай не призводять до миттєвих втрат продуктивності, з часом їхній вплив стає дедалі відчутнішим. Якщо проблема залишається невирішеною, дефекти можуть збільшитися, істотно знижуючи ефективність панелі. Такі пошкодження безпосередньо впливають на електричні характеристики, а критичні тріщини здатні спричиняти відокремлення частини фотоелемента від струмопровідної шини. У результаті пошкоджена зона втрачає здатність генерувати електроенергію, що знижує загальну продуктивність всієї системи.

Причиною виникнення мікротріщин часто стає порушення технології виготовлення панелей. Недостатньо точний контроль параметрів ламінації, неякісна термічна обробка, надмірний тиск чи слабкість використаних матеріалів можуть призводити до утворення дефектів на етапі виробництва. Крім того, транспортування та монтаж панелей пов’язані з ризиком пошкоджень, адже сонячні модулі є крихкими й чутливими до ударів або механічного впливу.

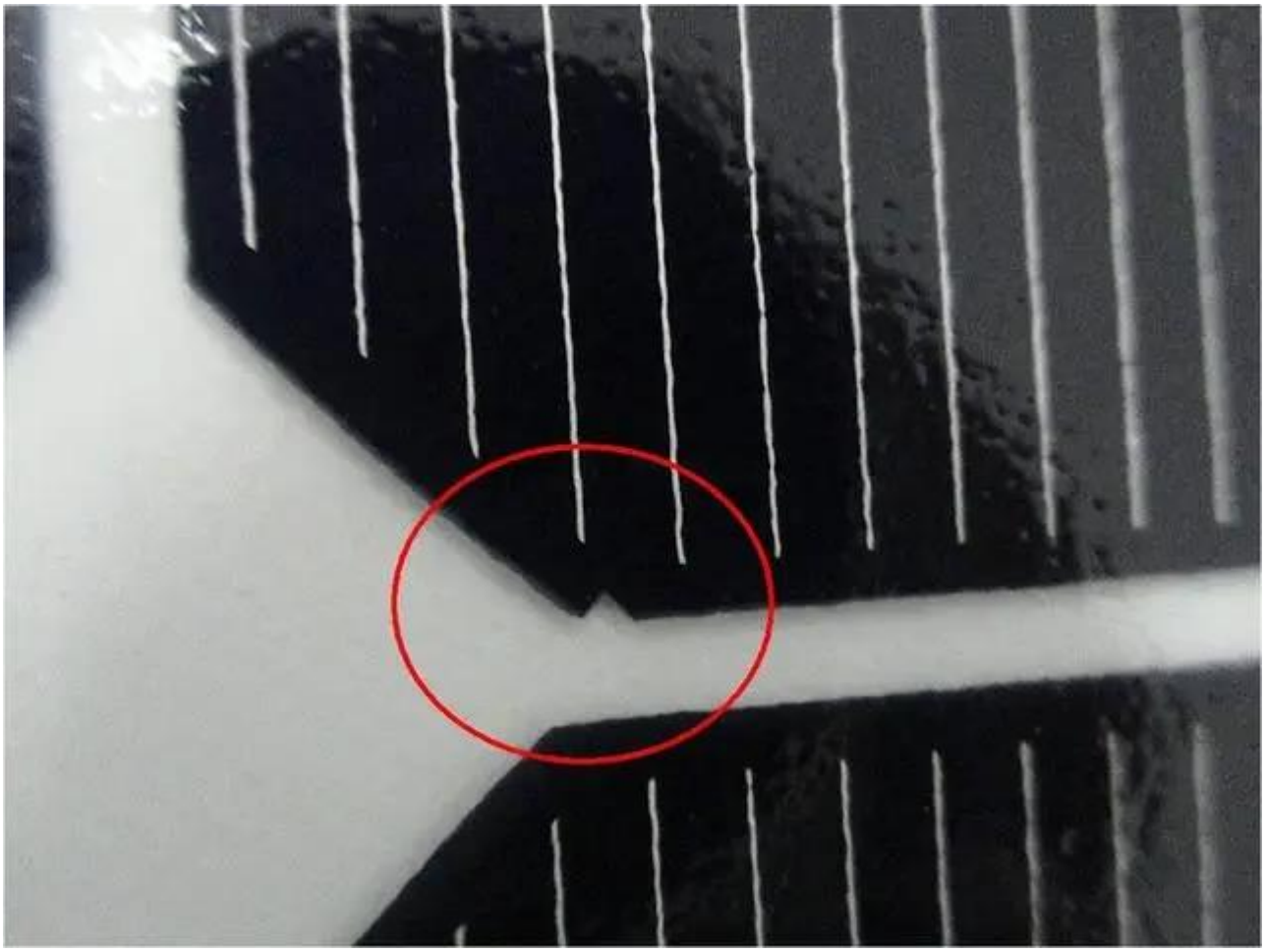


Рисунок 2.6 – Некритична трщина фотоелемента

На початкових етапах мікротріщини лише частково впливають на здатність окремих фотоелементів генерувати електричний струм, що не спричиняє значної втрати продуктивності. Однак із часом кількість пошкоджень може зростати, значно знижуючи ефективність роботи панелей. У разі серйозних структурних тріщин або розриву з’єднання зі струмопровідною шиною продуктивність може суттєво падати. Ба більше, тріщини стають провідниками для вологи, яка сприяє корозії елементів і подальшому погіршенню їхніх характеристик.

Щоб зменшити ймовірність утворення тріщин, надзвичайно важливими є використання якісних матеріалів та дотримання передових технологій виробництва. На етапі виготовлення слід ретельно контролювати ламінування, температуру та тиск, а також перевіряти якість з’єднань. Транспортування й

монтаж панелей мають здійснюватися із суворим дотриманням рекомендацій щодо техніки безпеки, щоб уникнути механічних пошкоджень.

Для попередження наслідків тріщин варто організувати регулярний моніторинг стану сонячних панелей. Це дозволить завчасно виявляти мікротріщини та своєчасно усувати їх, запобігаючи значним втратам ефективності системи.

Темні ділянки на краях фотоелементів є типовим дефектом, що спостерігається у сонячних панелях і пов'язаний зі специфікою виробничих процедур. Це явище, хоча й має косметичний характер, зазвичай не створює суттєвого впливу на функціональність панелі. Водночас подібні утворення іноді викликають занепокоєння щодо якості кінцевого продукту. Потемніння зазвичай виникає на ділянках контакту між фотоелементом і механізмами, застосовуваними для фіксації елементів у процесі нанесення антирефлексного покриття.

Процес виготовлення фотоелементів передбачає використання методу плазмової хімічної осадки з газової фази (PECVD), завдяки якому кремнієві елементи отримують антирефлексне покриття. Це покриття відіграє вирішальну роль у зниженні відбиття світла та підвищенні ефективності роботи фотоелементів, оскільки сприяє поглинанню більшої кількості сонячного випромінювання. Упродовж цього технологічного етапу панелі утримуються за допомогою спеціальних роботизованих механізмів або фіксаторів, які захоплюють елементи за їхні краї.

Внаслідок особливостей напилення антирефлексного шару на місцях контакту з фіксаторами можливе виникнення незначних темних слідів. Причиною цього є те, що в цих точках антирефлексне покриття наноситься частково або з нерівномірністю. Проте цей дефект носить виключно естетичний характер і не впливає на експлуатаційні властивості панелей, оскільки площа таких ділянок є мізерною, а основна активна поверхня, відповідальна за поглинання сонячної енергії, залишається неушкодженою.

Темні зони не знижують ефективність роботи фотоелементів, адже вони не перешкоджають проникненню світла на ділянки панелі. Антирефлексне покриття продовжує виконувати свої функції, забезпечуючи належну поглинальну здатність фотоелемента.

Утім, присутність такого дефекту може впливати на зовнішній вигляд панелей, що набуває особливого значення при їх використанні у контексті архітектурних рішень, де естетична складова є пріоритетною. Потемніння на краях фотоелементів слід розглядати як типове явище для певних виробничих технологій, яке не вимагає заміни або інших корегувальних заходів щодо панелей.

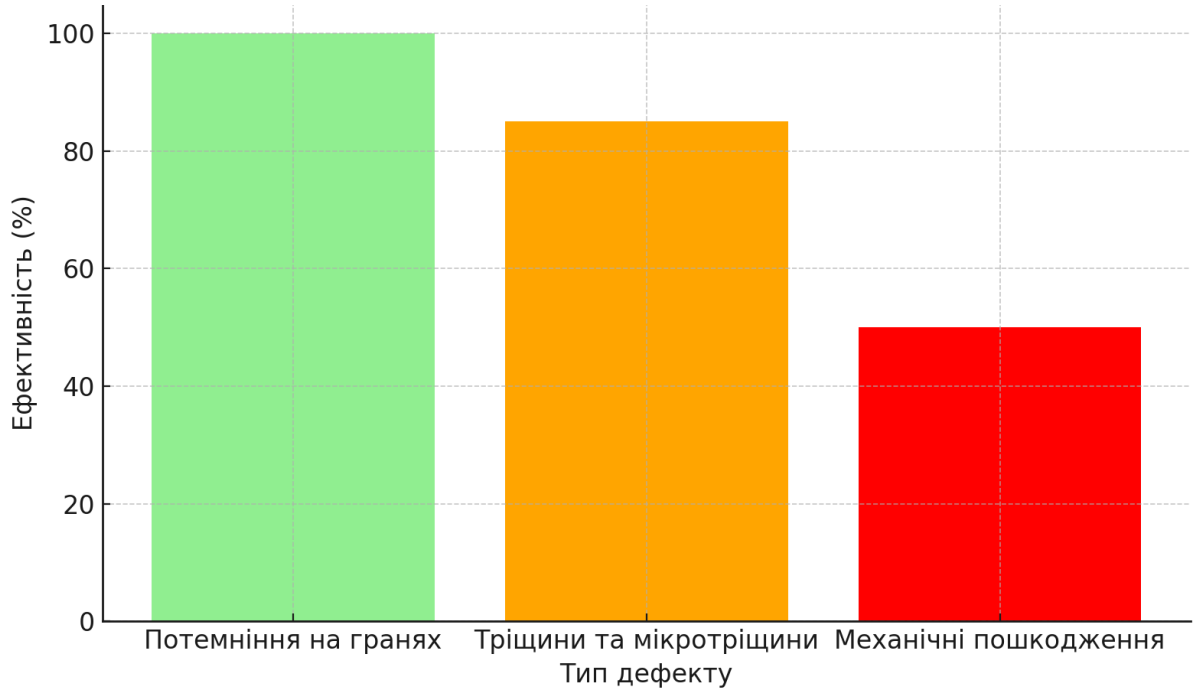


Рисунок 2.7 – Вплив дефектів на ефективність сонячних панелей

Представлений графік ілюструє вплив різних типів дефектів на рівень ефективності сонячних панелей. Аналіз даних свідчить, що потемніння на краях не чинить помітного впливу на продуктивність пристроїв. Натомість такі пошкодження, як тріщини, мікротріщини та механічні дефекти, значно знижують загальний коефіцієнт корисної дії панелей.

Розбите скло на сонячних панелях є однією з найбільш серйозних несправностей, яка виникає через зовнішні впливи. Такі фактори, як неналежне транспортування, неправильне встановлення або суворі погодні умови, зокрема сильний град, удари камінням чи поривчастий вітер, можуть призвести до пошкодження. Зруйноване скло на панелі суттєво знижує її ефективність, а в деяких випадках повністю унеможливлює генерацію електроенергії.

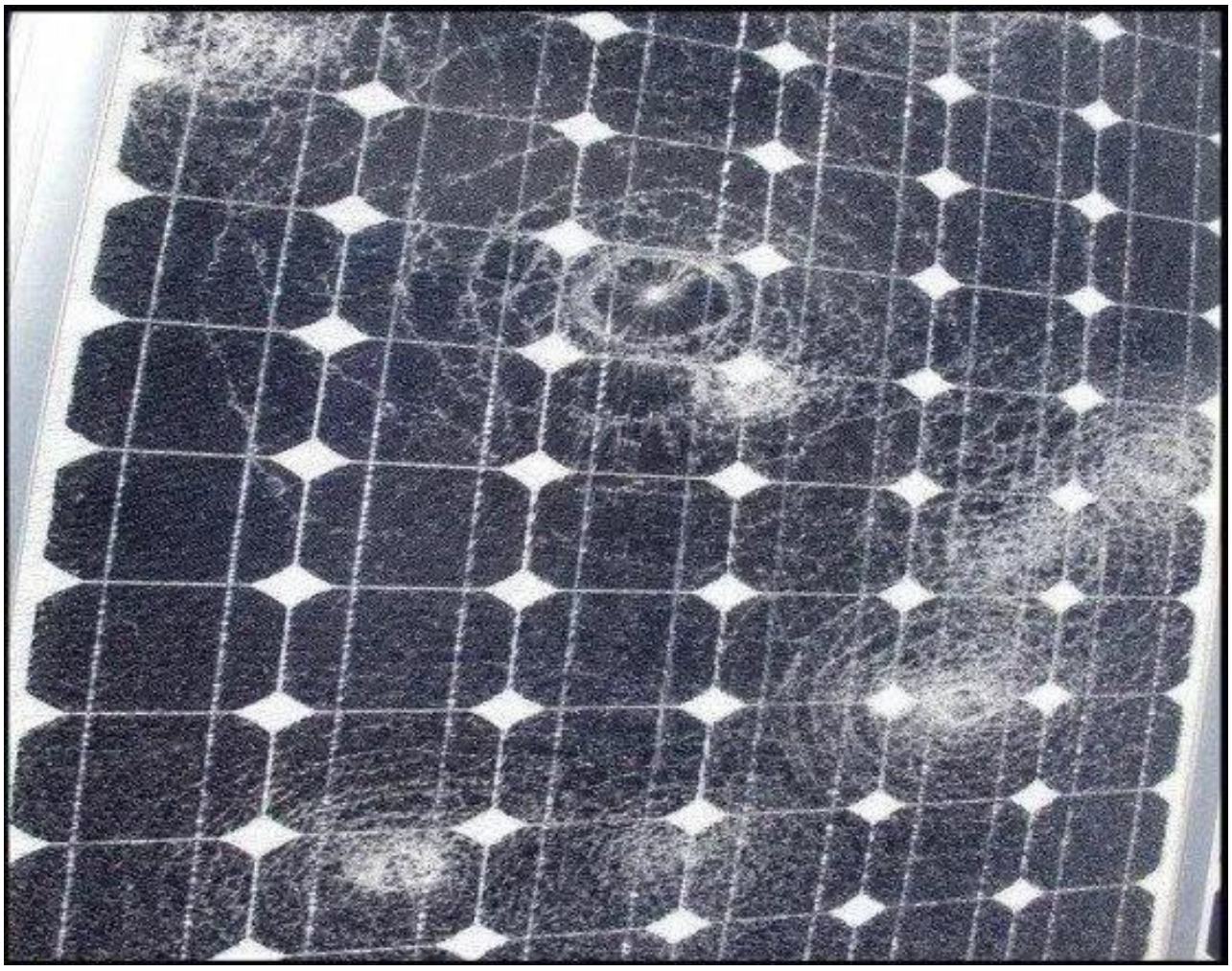


Рисунок 2.8 – Розбите скло на сонячній панелі

Хоча для виробництва сонячних панелей використовують скло з високою стійкістю до механічних навантажень, навіть воно може постраждати від потужного удару чи надмірного тиску. Подібні пошкодження часто спричиняють появу тріщин або цілковите руйнування поверхні. Коли скло тріскається або

ламається, панель втрачає здатність працювати з повною потужністю. Крізь утворені пошкодження проникають волога та пил, що спричиняють внутрішні збої і додатково погіршують продуктивність пристрою.

Крім втрати ефективності, пошкоджені сонячні панелі можуть становити небезпеку під час експлуатації. Волога всередині панелі здатна викликати корозію контактів та інших важливих елементів, що суттєво збільшує ризик подальших несправностей, таких як короткі замикання. Порушена герметичність ще більше прискорює деградацію модулів, особливо за тривалого впливу несприятливих атмосферних умов.

У таких випадках заміна панелі із пошкодженим склом є необхідністю. Подібне ушкодження не лише впливає на загальну продуктивність електростанції, але й підвищує ризики для безпеки через можливі електричні збої або навіть пожежі. Особливу увагу слід приділяти безкаркасним тонкоплівковим панелям, оскільки розбиття скла на таких моделях може ще сильніше вплинути на ефективність через недостатню фіксацію та підвищену вразливість до додаткових пошкоджень.

Для уникнення подібних проблем необхідно ретельно контролювати процес транспортування та монтажу панелей. Використання якісних і стійких до механічних впливів матеріалів також відіграє ключову роль у забезпеченні їх довговічності.

Дефектні з’єднувачі (конектори) становлять поширену проблему, яка може суттєво впливати на ефективність експлуатації сонячних панелей. Зокрема, з’єднувачі типу MC4 широко використовуються для забезпечення електричних з’єднань між окремими модулями в мережі або для підключення їх до інвертора. Ці компоненти виконують ключову функцію передачі електричної енергії, і будь-які порушення в їх роботі можуть спричинити значні втрати енергії або навіть серйозні пошкодження всієї системи.

Рисунок 2.9 – Зрогірий з’єднувач MC4

Однією з основних причин виникнення проблем із з’єднувачами є їхнє недостатньо якісне виготовлення або використання сумісних, але не сертифікованих моделей. Такі варіанти часто не здатні забезпечити належний рівень контакту між панелями. Недостатньо щільне прилягання контактів або ненадійне з’єднання роз’ємів схильне створювати підвищений електричний опір у місцях з’єднання. Такий опір із часом спричиняє перегрів, появу іскор, а в окремих випадках навіть спалахи. Подібні явища не лише знижують продуктивність системи, але також створюють суттєві ризики для її безпечного функціонування.

Ще однією значною причиною дефектів є використання конекторів, виготовлених із матеріалів низької якості. Неналежний склад та недостатньо надійні компоненти таких роз’ємів не відповідають встановленим стандартам типу MC4, що може призводити до проблем із контактними з’єднаннями. Конектори, які не здатні витримувати високі струмові навантаження, пришвидшено зношуються

та перегріваються. Це може спричинити як коротке замикання, так і енергетичні втрати через неефективну передачу струму.

Іншим важливим чинником, що негативно впливає на функціональність з’єднувачів, є забруднення їхніх контактних поверхонь. Потрапляння пилу, вологи або інших забруднень на роз’єми значно погіршує якість електричного контакту, збільшуючи опір у точці з’єднання. У результаті можуть виникати втрати потужності, перегрів елементів системи та навіть пожежі.

Запобігти виникненню проблем із дефектними з’єднувачами можна шляхом використання виключно оригінальних і сертифікованих компонентів, таких як роз’єми стандарту MC4, які відповідають усім вимогам якості. Додатково важливо забезпечувати чистоту з’єднань і регулярно перевіряти їхній стан у ході планового обслуговування. Періодичний огляд контактів сприяє своєчасному виявленню потенційних ушкоджень і допомагає уникнути серйозних поломок та ризиків у роботі сонячної системи.

Згорання розподільчої коробки в сонячних електричних системах є серйозною несправністю, яка може істотно вплинути на ефективність і надійність всієї системи. Розподільча коробка виконує ключову функцію, забезпечуючи електричні з'єднання між сонячними панелями та інвертором, а також містить важливі захисні елементи, такі як діоди, що запобігають перегріву та коротким замиканням. Несправності цієї частини системи можуть мати серйозні наслідки для її роботи.

Основна причина згорання розподільчої коробки полягає у перегріві. Він може виникати через проблемну роботу або несправність захисних діодів. Діоди Шоттки, які призначені для захисту фотоелементів панелі у випадку часткового затінення, не завжди реагують належним чином. Якщо на певну ділянку панелі падає тінь, фотоелементи в цій зоні починають працювати менш ефективно, підвищуючи опір у ланцюгу. Таке збільшення опору призводить до значного виділення тепла. Якщо система захисту не встигає ізолювати проблемну ділянку

від решти мережі, це може стати причиною перегріву та пошкодження розподільчої коробки.

Рисунок 2.10 – Згорівші з'єднання у розподільчій коробці

Поломка розподільчої коробки має серйозні наслідки для роботи системи сонячних панелей. Одним із найпомітніших ефектів є втрата виробленої електроенергії, оскільки струм більше не може передаватися до інвертора. Це знижує загальну продуктивність енергосистеми, спричиняючи особливо відчутні проблеми в умовах зростання потреби в енергії. Додатково перегрів підвищує ризик пошкодження інших критично важливих компонентів, таких як проводка чи інвертори, що неодмінно призводить до збільшення витрат на ремонт чи обслуговування.

Одним із найсерйозніших наслідків є небезпека загоряння. Згорання коробки здатне поширити вогонь на інші частини системи або навіть на споруди поблизу, створюючи значний ризик для обладнання та здоров’я людей. Пожежа може завдати не лише матеріальних збитків, але й становити реальну загрозу життю персоналу чи мешканців, що перебувають поруч.

Ще одним можливим ускладненням є вихід з ладу інвертора — ключового елемента сонячної енергосистеми. Неспроможність отримувати струм через несправну розподільчу коробку може вимагати заміни або ремонту інвертора. Зважаючи на високу вартість цих компонентів, такий сценарій є небажаним.

Крім того, часті подібні несправності можуть суттєво скоротити тривалість роботи всієї сонячної системи. Регулярне виникнення перегрівів і пошкоджень окремих елементів призводить до зниження стабільності й ефективності функціонування панелей. У довгостроковій перспективі це збільшує потребу в дорогому технічному обслуговуванні та скорочує загальний термін служби інфраструктури.

Усі ці фактори свідчать про те, що згорання розподільчої коробки є серйозною проблемою, яку обов’язково потрібно попереджувати. Для цього важливо регулярно перевіряти технічний стан системи, використовувати якісні захисні діоди та своєчасно виконувати профілактичне обслуговування системи. Превентивні заходи допоможуть не лише забезпечити безперебійну роботу сонячної інфраструктури, але й мінімізувати ризики непередбачених витрат чи аварійних ситуацій.

Браунінг є явищем, за якого EVA-плівка, що використовується для інкапсуляції фотоелементів у сонячних панелях, змінює свій колір на жовтий або коричневий під впливом зовнішніх чинників. Цей процес виникає через тривалу дію ультрафіолетового (УФ) випромінювання, температурних коливань та агресивного середовища. EVA (етиленвінілацетат) є ключовим елементом конструкції сонячної панелі, виконуючи функції герметизації та захисту

фотоелементів від вологи, пилу й УФ-випромінювання. Проте з часом її експлуатаційні характеристики можуть погіршуватися під впливом цих факторів.

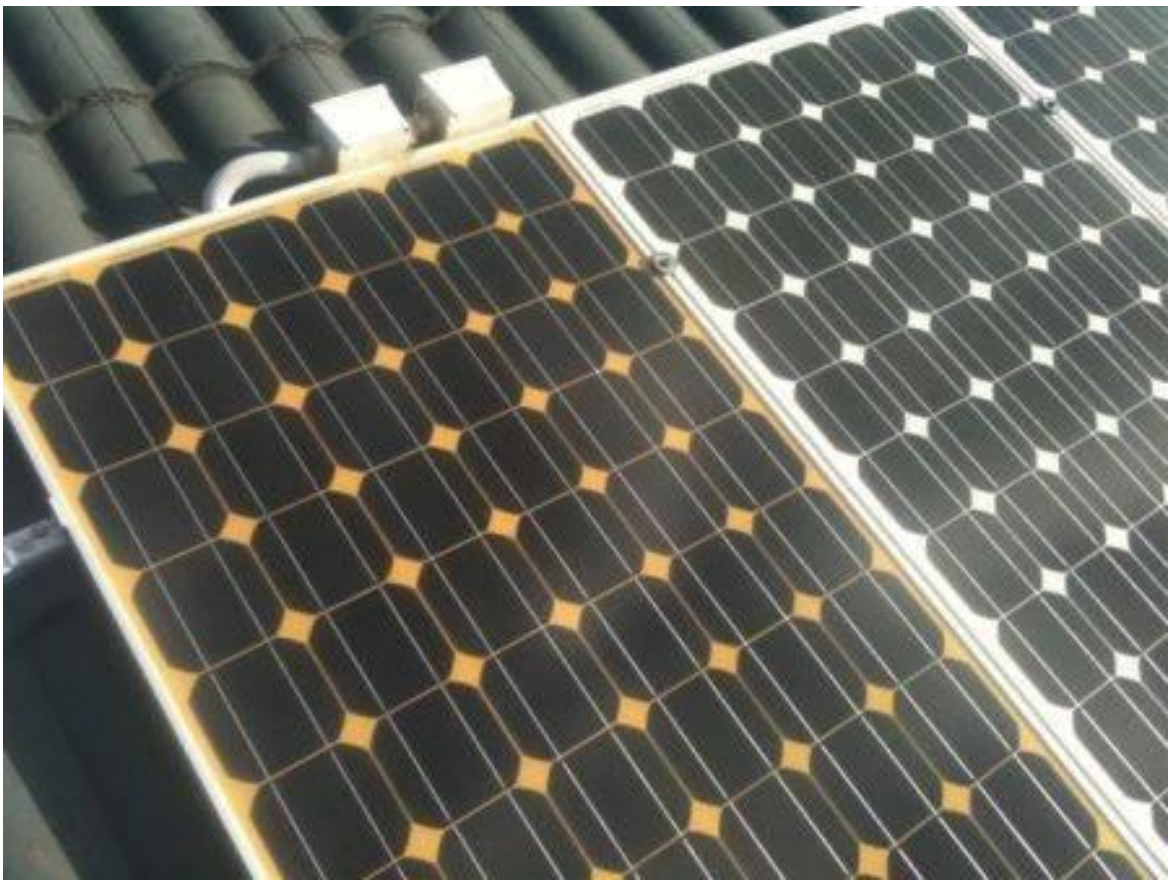


Рисунок 2.11 – Браунінг на сонячній панелі

Причина браунінгу криється у хімічних змінах структури EVA-плівки. Тривале улучення УФ-променів і підвищених температур призводить до деградації доданків та стабілізаторів, що входять до складу плівки для поліпшення її властивостей. Як результат, матеріал набуває жовтуватого або коричневого відтінку. Ця проблема особливо актуальна при використанні низькоякісних матеріалів або за умов неправильного зберігання та експлуатації панелей, наприклад, у середовищі з високою вологістю чи екстремальною температурою.

Наслідки браунінгу значно впливають на ефективність сонячної панелі. Темніший відтінок плівки спричиняє збільшення теплопоглинання, що може викликати перегрів панелі та зниження її продуктивності. Крім того, це може

призводити до інших проблем, таких як утворення пухирів, пошкодження матеріалу та корозія всередині панелі, що скорочує її термін служби.

Естетична сторона також відіграє роль, особливо у випадках використання сонячних панелей в архітектурі чи проєктуванні будівель. Браунінг знижує зовнішню привабливість системи, впливаючи на загальний вигляд об'єкту. Зрештою, деградація плівки призводить до тривалого зниження ефективності сонячної системи.

Для запобігання браунінгу необхідно застосовувати високоякісні матеріали EVA-плівки, стійкі до впливу УФ-променів і високих температур протягом довгого часу. Важливо також забезпечувати правильне зберігання панелей і створювати умови експлуатації, які мінімізують вплив вологи та екстремальної температури. Регулярне технічне обслуговування та перевірка стану панелей дозволять виявляти проблему на ранніх стадіях і своєчасно приймати необхідні заходи.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі ми провели аналіз існуючих видів сонячних панелей та їх ефективність, також були розглянуті основні дефекти сонячних панелей, такі як гарячі точки, деламінування, тріщини, потемніння на гранях, розбите скло, дефектні з'єднувачі, згорання розподільчої коробки та браунінг EVA-плівки. Кожен з цих дефектів може значно знизити ефективність і довговічність панелей.

Затінення може спричинити гарячі точки, що призведе до перегріву та пошкодження матеріалу. Неякісні матеріали або неправильні виробничі процеси можуть призвести до розшарування, дозволяючи волозі проникати в модуль і спричиняти корозію. Тріщини та мікротріщини можуть призвести до втрати потужності через механічні пошкодження. Потемніння країв є косметичним дефектом і не впливає на ефективність. Розбите скло може значно знизити ефективність модуля, тому такі модулі необхідно замінити. Дефекти роз’єму можуть спричинити перегрів і коротке замикання, що призведе до втрати

електроенергії та можливої несправності системи. Перегорання розподільної коробки відбувається внаслідок перегріву або виходу з ладу захисних діодів, що може спричинити серйозну втрату електроенергії та пошкодження інших компонентів. Потемніння плівки EVA може знизити ефективність через підвищене теплопоглинання, що призведе до перегріву модуля.

Усі ці дефекти можуть бути запобігані через моніторинг систем та важливих функцій сонячних панелей для того щоб можливо було розпізнавати несправності сонячної панелі.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

3.1 Опис модулів та пунктів реалізації системи

Модуль кодування виведення даних. Це логічні частини веб-застосунку та серверу, які відповідають за кодування виведення інформаційних даних для користувача. Рішення такого роду дозволяють можливість вибору розвитку напрямків алгоритмів діагностики.

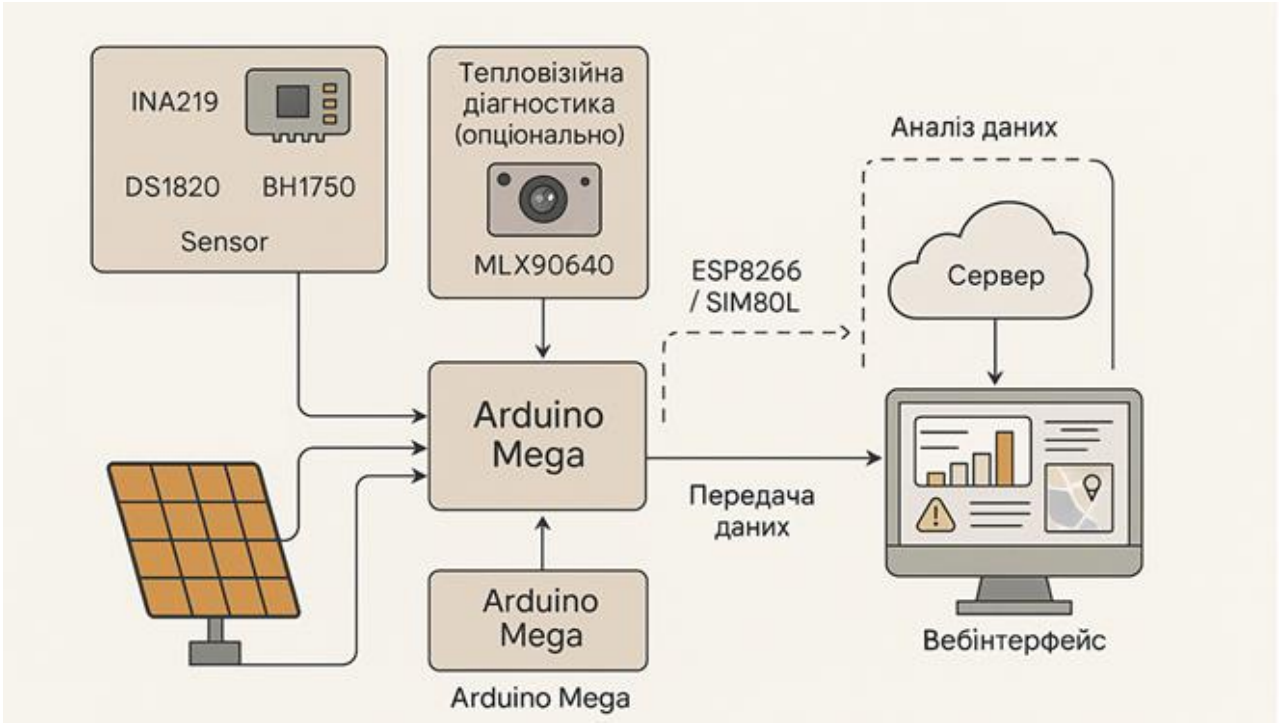


Рисунок 3.1 – Архітектура кіберфізичної системи розпізнавання несправностей сонячної панелі

У структурі кіберфізичної системи розпізнавання несправностей сонячної панелі розрізняють кілька ключових взаємопов’язаних підсистем: модуль збору та попередньої обробки параметрів; сенсорна підсистема діагностики; комунікаційна підсистема; система аналітики на сервері; інтегрована вебінтерфейсна платформа

для візуалізації та управління. Кожна з цих підсистем виконує окремі функції, спрямовані на забезпечення особливостей виявлення дефектів, підвищення ефективності сонячної енергосистеми та запобігання втратам енергії.

Модуль збору параметрів побудований на основі мікроконтролера Arduino Mega. Внутрішньо до апаратури підключені сенсори для зчитування наступних характеристик: напруга, струм, температура, рівень освітленості, термографічне зображення. Наприклад, для вимірювання напруги та струму використовуються INA219, інтерфейс якого підключається до контрольної плати Arduino Mega. Для зчитування температури використаний сенсор DS18B20. Через фотодіод або сенсор BH1750 зі смугою 0-65535 Lux, наявна можливість виміри рівня освітленості. Опціонально, через підсистеми Inter-IC при отриманні W комірки можливе використання пайка тепловізійного модуля (наприклад MLX90640), що повинно виявляти нерівносплавлені комірки.

Отримані дані проходять первинну обробку (усереднення, виявлення аномалій, попереднє порівняння з еталонними показниками) і передаються на сервер за допомогою бездротового модуля – GSM/4G (SIM800L) або через Wi-Fi-модуль ESP8266, залежно від умов розгортання системи.

На сервері реалізується аналітична обробка: збір і агрегація даних, виявлення закономірностей, класифікація потенційних несправностей (наприклад, занижена продуктивність, перегрів, пошкодження окремих комірок тощо). Застосовуються алгоритми машинного навчання або евристичні правила на основі попередньо сформованих шаблонів несправностей.

Інформація виводиться у вебінтерфейсі в зручному форматі – з графічним відображенням параметрів у режимі реального часу, тривожними повідомленнями про виявлені аномалії, а також з можливістю перегляду архіву історичних даних. Вебінтерфейс реалізовано за допомогою JavaScript, бібліотек типу Chart.js або D3.js, а також OpenLayers – для просторового позиціонування панелей у межах сонячної ферми.

Система дозволяє оператору дистанційно контролювати стан сонячної установки, проводити технічну діагностику, переглядати температурні карти та формувати звіти. Комунікація між елементами забезпечується через REST API, MQTT або WebSocket-протоколи, що дає змогу забезпечити низьку затримку та високу надійність передачі критично важливих даних.

Таблиця 3.1 – Архітектура кіберфізичної системи

Функція системи	Компонент	Технологічна реалізація
Вимірювання струму і напруги	Сенсор INA219	I²C, 0.1 A – 3.2 A, 0–26 B
Контроль температури	DS18B20	1-Wire, -55°C…+125°C
Вимірювання освітленості	BH1750 або фотодіод	I²C, 1–65535 lx
Тепловізійна діагностика (опціонально)	MLX90640	I²C, теплове зображення (32×24)
Первинна обробка даних	Arduino Mega	Калман-фільтр, усереднення
Передача даних на сервер	ESP8266 / SIM800L	Wi-Fi / GSM/4G
Збереження та аналіз даних	Сервер з БД	PostgreSQL або NoSQL-рішення
Візуалізація та контроль	Вебінтерфейс	JavaScript, Chart.js, MQTT/WebSocket

Таким чином, система формує повноцінну цифрову інфраструктуру, здатну виявляти, аналізувати та візуалізувати несправності у реальному часі. Це значно знижує ризики зниження ефективності сонячних установок і дозволяє оперативно реагувати на технічні проблеми без втручання на місці.

3.2 Налаштування веб сервера

Розробка серверного компонента кіберфізичної системи, що займається виявленням несправностей сонячних панелей, відіграє ключову роль у забезпеченні інтеграції апаратних та програмних модулів. Сервер виконує функцію центрального вузла, який координує взаємодію між сенсорами, іншими апаратними пристроями та програмним забезпеченням, що відповідає за обробку, аналіз і візуалізацію даних. Його основні завдання включають прийом телеметричних даних від сенсорів, їх обробку, збереження у базі даних та передавання результатів на фронтенд для подальшого аналізу й відображення.

Як оптимальне рішення для реалізації серверної частини пропонується використання мови Python у комбінації з фреймворком FastAPI. Цей інструментарій забезпечує високу продуктивність завдяки асинхронній архітектурі, яка дозволяє ефективно працювати з численними одночасними запитами. Підтримка RESTful-архітектури та WebSocket у FastAPI робить його придатним для створення масштабованих бекенд-систем. Завдяки цим технологіям сервер забезпечує можливість прийому телеметричних даних через HTTP-запити або WebSocket-сесії, їх оперативну обробку, збереження у базі даних і передачу результатів для фронтендової аналітики.

Архітектура серверної частини будується на модульному принципі, де кожен модуль виконує чітко визначену задачу. Збір даних від сенсорних вузлів здійснюється через MQTT-протокол або WebSocket-з'єднання. Дані можуть включати такі показники, як температура, напруга, струм, продуктивність сонячної панелі або сигнали тривоги щодо виявлених аномалій чи відхилень від нормативних значень. Після отримання телеметрії здійснюється її попередня обробка, яка включає декодування і валідацію даних з метою фільтрації помилкових або некоректних записів.

Оброблені дані далі передаються в модуль аналітики, де відбувається їх більш глибокий аналіз. Зокрема, застосовуються алгоритми шаблонного

розпізнавання або машинного навчання для виявлення несправностей, усуваються шумові компоненти для підвищення точності, а також проводиться статистичний аналіз продуктивності панелі. Крім того, система може генерувати рекомендації та сповіщення для користувача стосовно наявності технічних проблем або необхідності проведення обслуговування.

Збереження оброблених даних здійснюється у базі даних PostgreSQL із використанням розширення TimescaleDB, яке дозволяє ефективно працювати з часовими рядами. Це забезпечує зберігання великих обсягів телеметричних даних із мінімальними затримками під час їх обробки. Структура бази даних включає часові мітки, параметри датчиків, статус панелі та логи подій системи. Такий підхід спрощує відстеження історичних змін стану панелі й дозволяє виявляти випадки деградації продуктивності, короткочасні збої або інші аномалії, що впливають на функціонування системи.

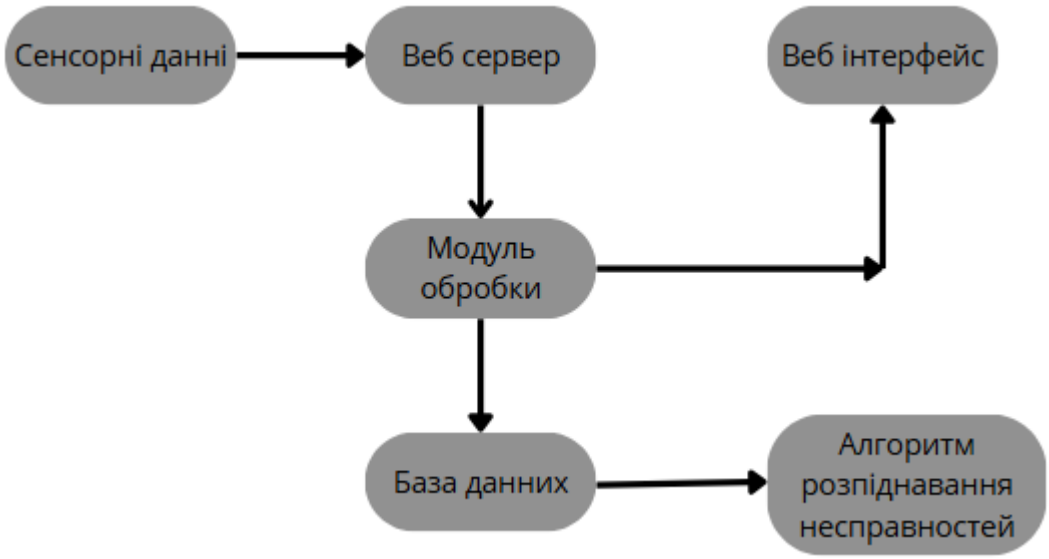


Рисунок 3.2 – Потік обробки даних у кіберфізичноій системі

У результаті серверний компонент не лише виконує збори та обробку даних, але й забезпечує активну взаємодію із користувачами і системою загалом для оперативної ідентифікації та вирішення можливих проблем у реальному часі. Використання PostgreSQL разом із TimescaleDB гарантує високу ефективність

роботи з великими обсягами інформації, що є критично важливим для функціонування масштабних кіберфізичних систем із високими вимогами до швидкості реакції на зміни у стані обладнання.

Таблиця 3.2 – Схема логічної структури сервера

Компонент	Функціональне призначення
app.py	Ініціалізація FastAPI, створення маршрутів API
processing.py	Аналіз телеметрії, виявлення аномалій, обробка даних
database.py	Робота з PostgreSQL / TimescaleDB, операції запису/читання
websocket_handler.py	Передача діагностичних даних у реальному часі
models.py	Pydantic-схеми для валідації даних
diagnostics.py	Алгоритми діагностики, логіка тригерів та повідомлень
auth.py	Аутентифікація користувачів (JWT)

У режимі реального часу дані передаються через WebSocket або через MQTT-брокер, інтегрований у бекенд. Користувачі, підключені до клієнтського інтерфейсу, отримують оновлення про стан сонячної панелі миттєво, без потреби перезавантаження сторінки. Такий підхід забезпечує оперативне реагування на потенційні проблеми.

Для забезпечення безпеки серверної частини передбачено: модулі логування подій, систему аутентифікації (JWT), механізми контролю доступу до API, автоматизоване тестування ключових маршрутів.

Таким чином, серверна архітектура системи є масштабованою, відмовостійкою та придатною для інтеграції з додатковими аналітичними

модулями, хмарними платформами чи IoT-шлюзами. Вона виконує роль центральної частини кіберфізичної системи, яка дозволяє не лише виявляти несправності, а й здійснювати їх моніторинг, аналіз і візуалізацію для прийняття управлінських рішень.

3.3 База данних та її функціонал

Для ефективного зберігання та обробки великих масивів вимірювальних, часових і діагностичних даних у межах кіберфізичної системи доцільно використовувати технологічно досконалі рішення, здатні обробляти потоки телеметрії від сенсорних вузлів, забезпечувати виконання запитів із мінімальними затримками, а також підтримувати аналіз даних у режимі реального часу. Зважаючи на часовий характер і значний обсяг таких даних, оптимальним вибором стає застосування реляційної системи управління базами даних PostgreSQL із розширенням TimescaleDB. Це розширення спеціально розроблене для високопродуктивної роботи з часовими рядами та сенсорними даними.

Однією з ключових переваг PostgreSQL є її широка функціональність щодо обробки складних запитів і підтримки транзакцій, що має важливе значення для забезпечення високого рівня точності й цілісності даних. Інтеграція TimescaleDB до PostgreSQL забезпечує додаткову оптимізацію роботи з великими часовими даними, такими як показники сенсорів, дозволяючи значно скоротити час обробки запитів та ефективно працювати із масштабними наборами даних шляхом організації їх у формі часорядів.

Проєктування структури бази даних здійснюється відповідно до вимог третьої нормальної форми (3NF), що гарантує уникнення надмірності та дублювання інформації. Такий підхід до нормалізації даних також сприяє логічній узгодженості між сутностями, що зберігаються в базі, і забезпечує ефективне виконання аналітичних запитів. Наприклад, основна таблиця panel_diagnostics може містити дані про стан сонячної панелі, зокрема температурні параметри,

напругу, струм, рівень освітлення та інші діагностичні показники. У таблиці передбачене зберігання часових міток для детального відстеження динаміки змін, а також унікальних ідентифікаторів сенсорних модулів, що дозволяють асоціювати кожну групу даних із конкретним сенсором чи пристроєм.

Нижче подано структуру основної таблиці бази даних:

Таблиця 3.3 – Структура таблиці бази данних

Поле	Тип даних	Опис
id	SERIAL	Первинний ключ, унікальний ідентифікатор запису
timestamp	TIMESTAMP	Час фіксації показників сенсорного модуля
sensor_id	TEXT	Ідентифікатор сенсорного модуля (наприклад, panel_001)
temperature	DOUBLE PRECISION	Температура панелі в момент вимірювання
voltage	DOUBLE PRECISION	Вихідна напруга сонячної панелі
current	DOUBLE PRECISION	Вихідний струм сонячної панелі
irradiance	DOUBLE PRECISION	Рівень освітленості (Вт/м²), зафіксований фотосенсором
fault_flag	BOOLEAN	Ознака наявності виявленої несправності

Завдяки використанню TimescaleDB, така база даних забезпечує масштабоване зберігання історичних вимірювань з високою частотою оновлення, а також підтримку агрегації, прогнозування та аналізу відхилень у поведінці панелей. Це критично важливо для завдань виявлення деградації, локалізації несправностей і автоматичного формування звітів у системі моніторингу.

Таблиця 3.4 – Данні з бази данних

id	timestamp	sensor_id	temperature	voltage	current	irradiance
1	2025-05-27 14:31:10	panel_001	46.2	21.3	5.1	820.5
2	2025-05-27 14:31:12	panel_001	47.1	20.9	5.0	815.2
3	2025-05-27 14:31:15	panel_001	50.0	18.7	4.2	800.0
4	2025-05-27 14:31:18	panel_001	49.5	19.0	4.5	803.1
5	2025-05-27 14:31:21	panel_001	48.0	20.5	4.8	810.3

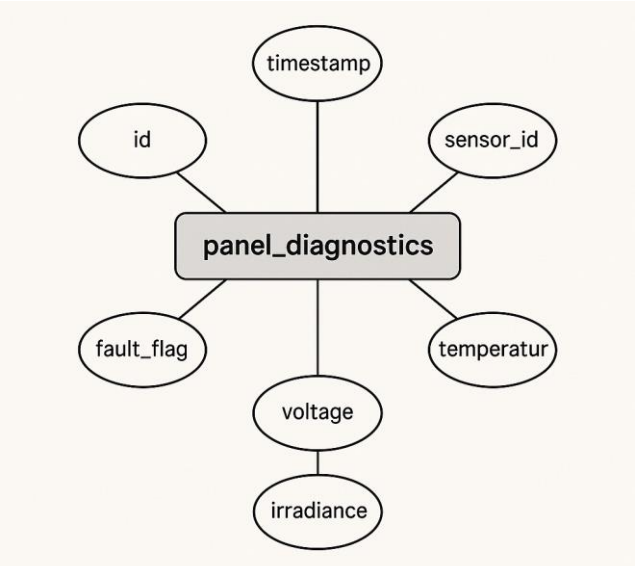


Рисунок 3.3 – Спрощена ER-діаграма бази данних

3.4 Веб інтерфейс та його інтеграція

Створення веб-інтерфейсу для моніторингу та управління станом сонячних панелей є важливим завданням, ефективне виконання якого можна забезпечити за допомогою мікрокомп'ютера Raspberry Pi, що виконуватиме функції центрального контролера. Raspberry Pi слугуватиме сервером для роботи веб-інтерфейсу, а також здійснюватиме обробку даних, отриманих від сенсорів, які підключено до системи через бездротовий модуль NRF24L01. У цьому контексті Raspberry Pi працюватиме як засіб отримання даних від сенсорних модулів, розміщених на сонячних панелях, їх зберігання в базі даних та забезпечення доступу до цих даних через веб-сервер для користувачів.

На серверній стороні буде встановлено Flask – легкий та гнучкий фреймворк для Python, який спрощує створення веб-серверів. Flask оброблятиме HTTP-запити, отримуватиме інформацію від сенсорів за допомогою Python-коду і передаватиме її на клієнтську частину системи. Дані, зокрема показники напруги, струму, температури й рівня освітленості, що надходитимуть із сенсорів, будуть зберігатися у базі даних SQLite. Вибір цієї реляційної бази зумовлений її легкістю та зручністю для невеликих проєктів, таких як описана система.

Розробка клієнтської частини веб-інтерфейсу буде здійснюватися з використанням HTML, CSS і JavaScript, що забезпечить адаптивність та сумісність із різними пристроями, включно зі стаціонарними комп'ютерами, планшетами та смартфонами. Для візуалізації даних будуть використані графіки, створені бібліотекою Chart.js. Ці графіки дозволять користувачам у реальному часі стежити за показниками сонячної панелі, серед яких – напруга, струм та інтенсивність сонячного світла. Крім того, функціонал дозволить переглядати історичні дані за вибраними часовими періодами та отримувати сповіщення щодо функціональних аномалій.

Алгоритм адаптивного реагування на змінні експлуатаційні умови роботи сонячних панелей діятиме наступним чином: сервер на основі Raspberry Pi

безперервно отримуватиме нові дані від сенсорів через NRF24L01. Отримані дані зберігатимуться у базі та оброблятимуться в реальному часі для виявлення аномальних ситуацій. Наприклад, якщо показники напруги чи струму не відповідатимуть установленим нормам при заданому рівні освітленості, система інтерпретуватиме це як можливу несправність і відправлятиме відповідне повідомлення через веб-інтерфейс. Сповіщення можуть бути реалізовані у вигляді змін кольору інтерфейсних елементів або текстових повідомлень про виявлення помилки.

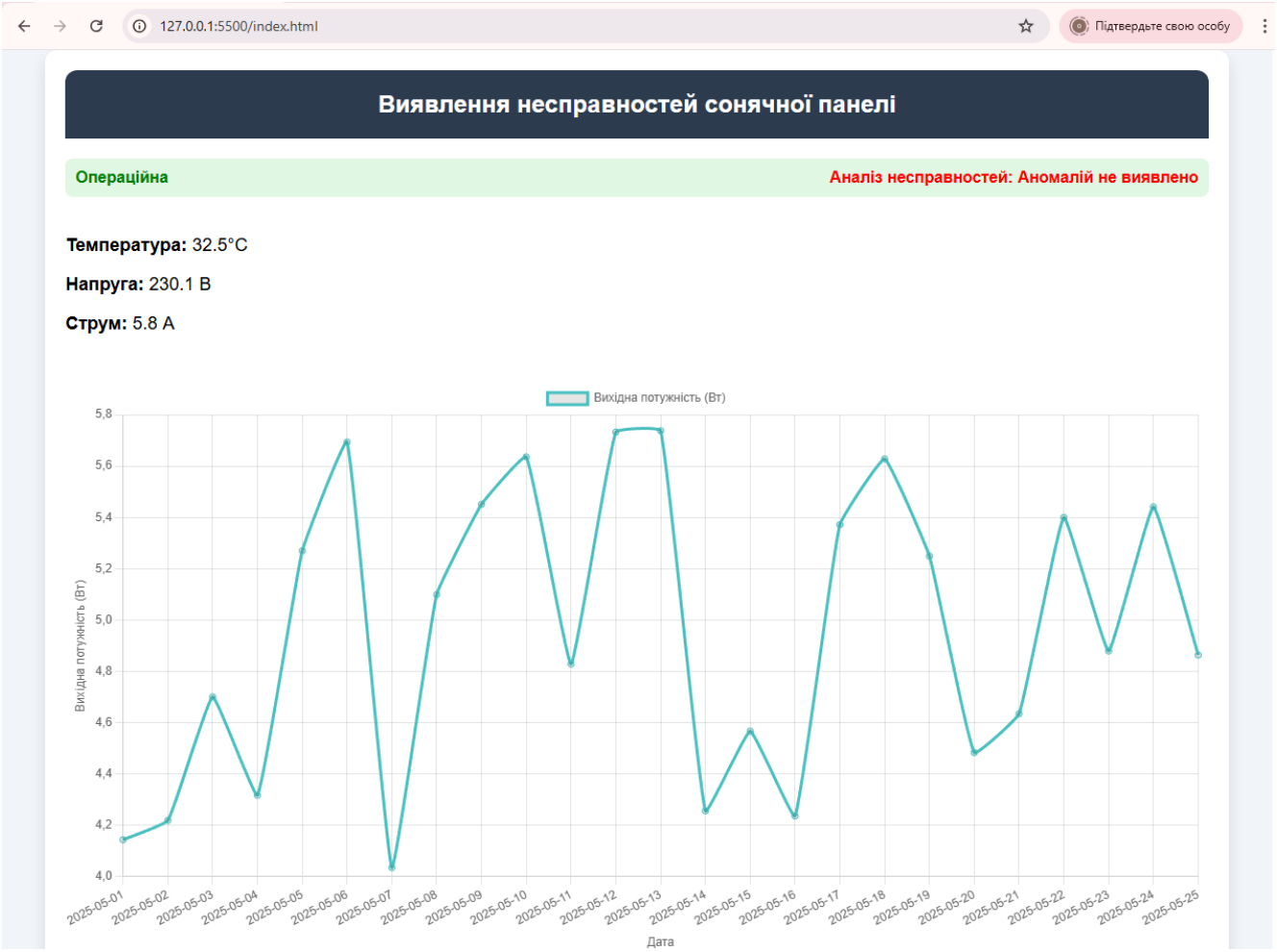


Рисунок 3.4 – Веб інтерфейс

Таким чином, розроблений веб-інтерфейс стане універсальним інструментом для моніторингу роботи сонячних панелей, аналізу даних і діагностики несправностей. Система дасть змогу користувачам у реальному часі контролювати

параметри функціонування панелей, отримувати сповіщення про відхилення від норми та конфігурувати налаштування системи через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Це рішення стане надійним засобом управління сонячними установками незалежно від їхнього географічного розташування, забезпечуючи високу ефективність і функціональність навіть у віддалених регіонах.

3.5 Алгоритм адаптації до умов експлуатації сонячної панелі

Алгоритм адаптації роботи сонячних панелей у реальних умовах експлуатації орієнтований на забезпечення високої точності моніторингових процесів, а також своєчасне виявлення можливих несправностей з урахуванням динамічних змін навколишнього середовища. Однією з ключових функцій цього алгоритму є аналіз критичних параметрів, які впливають на ефективність функціонування сонячної панелі. До таких параметрів належать інтенсивність освітлення, температура, напруга, струм та інші фізичні характеристики, які піддаються зміні під впливом природних факторів.

У процесі адаптації алгоритм використовує дані в реальному часі, що відображають поточний стан середовища, і зіставляє їх із прогнозованими значеннями. Такі значення встановлюються на основі математичних моделей або статистичних даних, накопичених раніше. Ці моделі враховують типові варіації параметрів залежно від кліматичних особливостей, наприклад, відповідно до зниження освітлення через хмарність чи підвищення температури внаслідок інтенсивного сонячного випромінювання. Додатково враховуються сезонні зміни та тривалість світлового дня, що дозволяє алгоритму краще адаптуватися до змін середовища.

У разі виявлення відхилення значень будь-якого із параметрів, яке не відповідає типовим прогнозам, алгоритм активує механізм детального аналізу з метою ідентифікації можливих несправностей. Наприклад, якщо за нормальних умов освітлення спостерігається значне падіння напруги або нестабільність струму,

це може сигналізувати про дефекти електричної схеми чи пошкодження з'єднань. Причинами таких порушень можуть бути механічні ушкодження панелей або їхнє забруднення, що негативно впливає на ефективність роботи системи.

Для підвищення точності діагностики алгоритм враховує не лише окремі параметри, а й комплекс взаємозв'язків між ними. Наприклад, раптове зниження напруги за стабільного рівня освітлення може свідчити про несправності у контурі енергетичного перетворення або в системі електричних підключень. Якщо ж показники перевищують допустимі межі навіть у періоди пікової активності панелі, такий сигнал може бути підставою для перевірки окремих елементів чи підсистеми.

Окрему увагу приділено здатності алгоритму виконувати корекцію параметрів у режимі реального часу. Використовуючи нові дані від сенсорів разом із попередньою статистикою, алгоритм динамічно оновлює свої порогові значення. Це дозволяє більш точно визначати аномалії та сприяє підтримці оптимальної продуктивності сонячної панелі навіть у мінливих умовах навколишнього середовища.

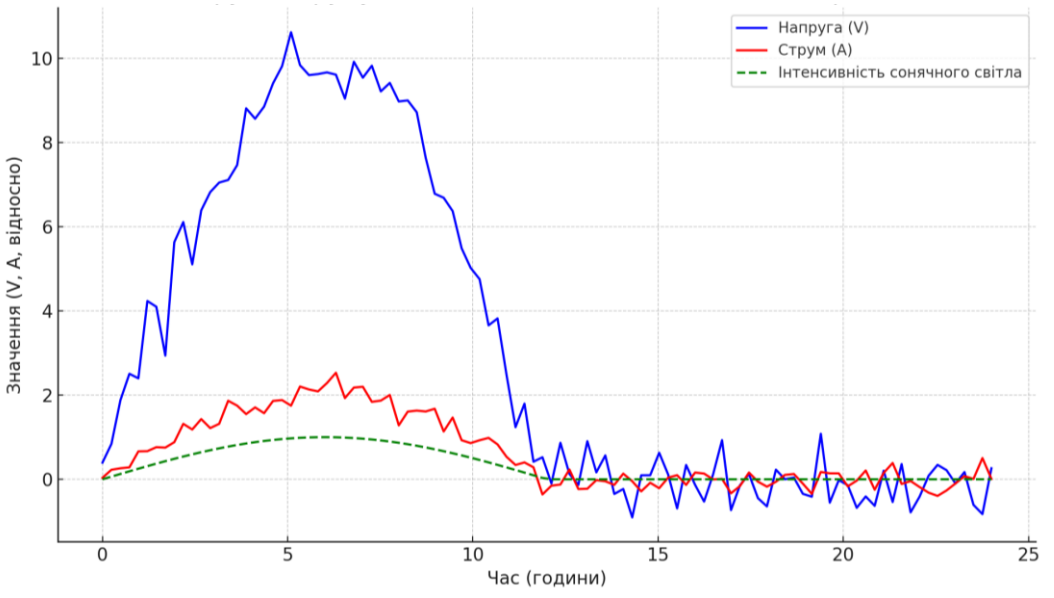


Рисунок 3.5 – Зміни характеристик сонячної панелі протягом доби

Зрештою, практичне застосування такого алгоритму сприяє не лише ідентифікації несправностей, але й суттєвому підвищенню точності моніторингу,

стабільності експлуатації та ефективності функціонування сонячних панелей протягом усього їхнього життєвого циклу. Тим самим цей інструмент дозволяє оперативно реагувати на будь-які зміни зовнішніх умов, які потенційно можуть знизити продуктивність системи.

Даний графік слугує інструментом для виявлення аномалій у системі. Наприклад, якщо при високих рівнях інтенсивності світла напруга або струм не досягають очікуваних показників, це може свідчити про наявність несправності або інших технічних проблем у системі.

Таблиця 3.5 – Приклад роботи алгоритму адаптації

Час	Освітленість (лк)	Температура (°C)	Потужність розрах. (Вт)	Потужність факт. (Вт)	ΔP (Вт)
14:31:00	55000	28	87.0	85.5	1.5
14:31:03	56000	27	88.2	83.0	5.2
14:31:06	57000	26	89.0	82.5	6.5
14:31:09	57000	26	89.0	83.2	5.8

3.6 Система збору данних за допомогою радіомодуля

Реалізація прямого радіозв’язку між сенсорним модулем сонячної панелі та центральним контролером дозволяє системі збору даних функціонувати автономно, без потреби в інтернет-інфраструктурі чи зовнішніх серверах. Це особливо важливо для віддалених або автономних об’єктів, де доступ до глобальної мережі є обмеженим чи взагалі відсутнім. Такий підхід забезпечує високу незалежність та швидку реакцію на зміни стану обладнання, що критично впливає на ефективність кіберфізичних систем, оптимізованих для роботи в умовах обмежених ресурсів.

Для передачі інформації між сенсорним модулем і центральним контролером використовується бездротовий канал на частоті 2,4 ГГц, побудований на базі

модуля NRF24L01. Цей модуль інтегрується як із сенсорним вузлом, так і з приймальною станцією, підключеною до обчислювального пристрою на кшталт Raspberry Pi або Arduino. Використання NRF24L01 дозволяє забезпечити передачу даних на значні відстані при низькому споживанні енергії, що є важливою перевагою для енергонезалежних систем.

Сенсор передає дані у вигляді структурованих пакетів, які містять різні параметри, включно з виміряними значеннями напруги, струму, температури чи рівня світла. Кожен пакет має стандартизовану структуру із зазначенням ідентифікатора сенсора, типу даних, отриманого значення й контрольної суми для перевірки цілісності інформації. Завдяки цьому центральний контролер може точно ідентифікувати джерело даних, вірно розшифровувати їх і коректно інтерпретувати показники для подальшої обробки.

Після отримання пакета центральний модуль виконує його розшифрування, а потім передає дані у програмне середовище для додаткової аналітики. У цьому середовищі запускаються алгоритми попередньої обробки, внесення інформації в базу даних і аналізу можливих аномалій. Такий підхід дає змогу мінімізувати ризики поломок, наприклад, вчасно виявляючи несправності, як-от різке падіння напруги за нормально освітлених умов. У разі виявлення аномалій система може автоматично запустити додаткове вимірювання або створити сповіщення про потенційну поломку, що дозволяє своєчасно реагувати на проблеми.

Система забезпечує надійність зв’язку завдяки механізму підтвердження отриманих даних. Після передачі пакета центральний модуль надсилає підтвердження про успішне прийняття інформації. Якщо підтвердження не надходить у визначений проміжок часу, передавач автоматично повторює спробу передачі. Це мінімізує ймовірність втрати даних через тимчасові перешкоди або збої в мережі. У разі тривалого розриву зв’язку система переходить у захищений режим, за якого всі дані буферизуються на сенсорному модулі й зберігаються до моменту відновлення зв’язку. Такий підхід гарантує уникнення втрати критичної інформації та підвищує стабільність і надійність системи загалом.

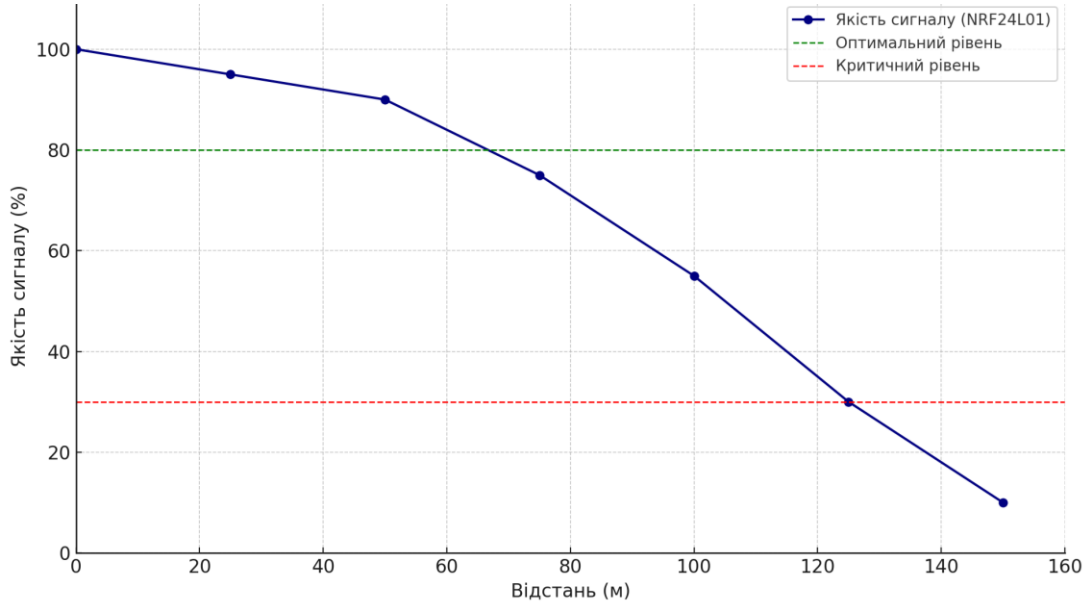


Рисунок 3.6 – Графік стійкості сигналу

На графіку зображено характер зміни якості сигналу модуля NRF24L01 у межах прямої видимості. До 50 м сигнал стабільний, однак за межами 100 м спостерігається його поступове погіршення, що може впливати на якість обміну даними між сенсорами та обчислювальним модулем.

Таблиця 3.6 – Таблиця роботи прямого радіозв’язку

Параметр	Опис	Значення	Параметр
Енергоспоживання	Споживана енергія в різних режимах	Низьке споживання в режимі сну, до 12 мА під час передачі	Енергоспоживання
Дальність зв'язку	Відстань між модулями	До 100 м в умовах прямої видимості	Дальність зв'язку
Затримка передачі	Час для передачі даних	1-2 мс	Затримка передачі

Кінець таблиці 3.6

Пропускна здатність	Швидкість передачі даних	До 2 Мбіт/с
Стійкість до перешкод	Здатність до роботи в середовищі з перешкодами	Стійкість до перешкод на частоті 2.4 ГГц

3.7 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було здійснено дослідження та часткову реалізацію кіберфізичної системи, що поєднує апаратні сенсорні модулі з програмними компонентами для моніторингу стану сонячних панелей. Основною метою цього дослідження було створення ефективної архітектури, яка забезпечує інтеграцію різних технологій для збору та обробки даних від сонячних панелей. Архітектура системи включала бездротову передачу даних, засновану на використанні радіомодуля NRF24L01, який є основним елементом для забезпечення зв'язку між сенсорами та центральним контролером. Мікроконтролери, які обробляють сигнали від сенсорних модулів, також виконують роль обробників даних, які передають їх на вебсервіс для подальшої візуалізації та аналізу.

Розробка серверної частини для цієї системи була виконана на основі мови програмування Python, що забезпечує масштабованість та гнучкість при роботі з великими обсягами даних. Вебсервер був налаштований для збору даних в режимі реального часу, а також для візуалізації та аналізу отриманої інформації. Інтерфейс дозволяє користувачам отримувати дані в режимі реального часу і здійснювати моніторинг параметрів, таких як напруга, струм, температура та рівень освітлення на панелях.

Велика увага була приділена розробці API для інтеграції вебінтерфейсу з системою прийняття рішень. Це дозволило створити можливість автоматичного виявлення відхилень у роботі фотоелементів на основі аналізу різних параметрів,

що надходять з сенсорних вузлів. Використання таких алгоритмів діагностики дозволяє вчасно виявляти потенційні несправності, що включають деградацію елементів панелі або коротке замикання. Ці алгоритми обробляють сигнали, порівнюють їх з нормованими значеннями і генерують тривоги у разі виявлення аномалій, що допомагає своєчасно вжити заходів для усунення проблем.

Крім того, в рамках дослідження було вивчено ефективність використання прямого радіозв'язку між сенсорами та центральним контролером. Було зібрано дані про енергоспоживання радіомодуля NRF24L01, стійкість до перешкод та затримки передачі сигналів в умовах різних перешкод та змінних умов експлуатації. Результати моделювання та графіки, отримані під час тестувань, підтверджують доцільність використання радіоканалу як засобу для автономної та енергоефективної передачі даних. Це рішення дозволяє забезпечити надійне з’єднання між сенсорами і центральним контролером, що є критично важливим для роботи автономних систем, які використовуються в умовах віддалених або важкодоступних місць.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи, спираючись на результати глибоких теоретичних і практичних досліджень, було створено повнофункціональну веборієнтовану систему керування відеорозвідником, яка враховує специфіку рельєфу місцевості. До складу цієї системи входить вебінтерфейс, що забезпечує зручний моніторинг та управління у реальному часі.

Перший розділ дослідження присвячено грунтовному аналізу джерел інформації, а також розглядові основних прикладів базових систем управління. Виконано ретельний пошук оптимальних рішень для поставленої задачі та реалізовано апаратно-програмний аналіз, що окреслює технічні особливості системи та її можливості вдосконалення.

У другому розділі увагу приділено детальному вивченню сучасних контролерів і їхньої адаптації до проектованої системи. На основі цього запропоновано спрощений варіант реалізації із потенціалом для подальших модифікацій. Також у цьому розділі визначено функціональні цілі системи відеорозвідника, описано принципи взаємодії її елементів і механіку роботи. Особливий акцент зроблено на функціонуванні далекомірів і GPS-модулів, які є ключовими компонентами системи, гарантують її точність у зборі даних та забезпечують необхідну функціональність пристрою.

Третій розділ зосереджено на створенні та частковій реалізації цілісної інформаційно-керуючої архітектури, що об'єднує апаратну складову і програмне забезпечення в єдиний комплекс. Система оснащена GPS-модулем для визначення координат у просторі, ультразвуковим далекоміром для картографування рельєфу місцевості та вебсервером на базі Python. Така інтеграція забезпечує збір, обробку та візуалізацію даних в онлайн-режимі через інтуїтивно зрозумілий вебінтерфейс.

Досягненням проекту також стало створення серверної API-структури та користувацьких інтерфейсів для моніторингу цільових об’єктів у динамічних умовах. Розроблено ефективний алгоритм для адаптації до змін рельєфу місцевості,

що дозволяє безпілотному розвіднику заздалегідь коригувати траєкторію польоту відповідно до змін висоти. Додатково проведено дослідження прямого радіозв’язку з використанням модуля NRF24L01, детально вивчивши його стабільність, ефективність передачі сигналів і рівень енергоощадності.

Моделювання роботи системи та отримані емпіричні графіки підтверджують ефективність застосування прямого радіоканалу для польових умов. Враховано критичні аспекти, такі як навантаження на радіозв'язок, затримки у передачі сигналів та оптимізація споживання енергії. Інтегрований підхід до управління системою на базі комбінації мікроконтролера, технології радіозв’язку та вебінтерфейсу продемонстрував гнучкість і здатність адаптуватися до мінливого середовища. Це суттєво підвищує ефективність і надійність функціонування відеорозвідника, що грає важливу роль у виконанні завдань різної складності в реальних умовах експлуатації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Іванов І. П., Петренко О. В. Аналіз сучасних методів діагностики сонячних панелей на основі комп'ютерного зору. Енергоефективні системи. 2023. с. 45-54. URL: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/monograph2024.pdf (дата звернення: 01.03.2025).

2. Сидоренко М. А. Методика виявлення мікротріщин у фотомодулях за допомогою інфрачервоної термографії. Журнал альтернативної енергетики. 2024. Том 12. № 3. с. 98-106. URL: https://repository.lnup.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2429/1/Artysiuk_mag.pdf (дата звернення: 03.03.2025).

3. Ahmad B. H., Kurnaz S. Secure low-cost photovoltaic monitoring system based on LoRaWAN network and artificial intelligence. Sensors. 2024. Vol 27, art 36. URL: https://doi.org/10.1007/s10791-024-09475-0 (дата звернення: 05.03.2025).

4. Rudro R. A. M., Kanagarathinam K. et al. SPF-Net: Solar panel fault detection using U-Net based deep learning image classification. Energy Reports. 2024. Vol 12, pp 1580–1594. URL: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.05.014 (дата звернення: 07.03.2025).

5. "Cyber-physical system for solar energy monitoring." ResearchGate. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/338065696 (дата звернення: 09.03.2025).

6. Al Mamun R. A. M., Kanagarathinam K. SPF-Net deep learning for PV fault detection. Energy Reports. 2024.

7. Oulefki A. et al. Enhanced detection of deteriorated areas in solar PV modules using unsupervised sensing & 3D AR. ArXiv. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2307.05136 (дата звернення: 11.03.2025).

8. Sourav S. et al. Detecting hidden attackers in photovoltaic systems using machine learning. ArXiv. 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2210.05226 (дата звернення: 06.06.2025) (дата звернення: 13.03.2025).

9. Zografopoulos I., Konstantinou C. Cyber-Physical Energy Systems Security: threat modeling and risk assessment. ArXiv. 2021. URL: https://arxiv.org/abs/2101.10198 (дата звернення: 14.03.2025).

10. Frontiers Editorial. Cybersecurity of photovoltaic systems: challenges, threats… Frontiers Energy Research. 2023. URL: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2023.1274451 (дата звернення: 15.03.2025).

11. Turnkey AI + LoRaWAN architectures: Analyzing energy potential & designing solar fault detection via CNN/ResNet-50, MDPI Appl Sci. 2022. URL: https://doi.org/10.3390/app14188573 (дата звернення: 16.03.2025).

12. Шевченко А.А., Романовський Е.Р. Підхід до системи управління групою БПЛА. 2024. с. 155-157. URL: https://dspace.nau.edu.ua/handle/NAU/65200 (дата звернення: 17.03.2025).

13. Hashim H. H., Kurnaz S. (duplicate variation).

14. Poll E., van Aubel P. supervisors.

15. Advancements in arc fault detection for electrical systems: AI perspective. ArXiv. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2311.16804 (дата звернення: 18.03.2025).

16. Al Mamun Rudro R. et al. SPF-Net: Solar panel fault detection using U-Net based deep learning image classification. *Energy Reports*. 2024. Vol. 12, 1580–1594. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724004682 (дата звернення: 18.03.2025).

17. Bilal Hashim Hameed, Sefer Kurnaz. Secure low-cost photovoltaic monitoring system based on LoRaWAN network and artificial intelligence. *Discover Computing*. 28.10.2024. Vol. 27, Art. 36. URL: https://doi.org/10.1007/s10791-024-09475-0 (дата звернення: 19.03.2025).

18. E3S Web Conf. IoT-Based System for Fault Detection and Diagnosis in Solar PV Panels. ICSERET-2023. 05009. URL: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338705009 (дата звернення: 20.03.2025).

19. Boucif O. H. et al. Artificial Intelligence of Things for Solar Energy Monitoring and Control. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15(11):6019. URL: https://doi.org/10.3390/app15116019 (дата звернення: 21.03.2025).

20. Cookson A. et al. Diagnosis of PV faults using digital twin and convolutional mixer. *Energy Reports*. 2023. URL: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.01.012 (дата звернення: 21.03.2025).

21. Rohit Samkria et al. Automatic PV Grid Fault Detection System with IoT and LabVIEW as Data Logger. *Computers, Materials & Continua*. 2021. URL: https://doi.org/10.32604/cmc.2021.018525 (дата звернення: 22.03.2025).

22. A Review of Cyber–Physical Security for Photovoltaic Systems. *Aalborg U. Reports*. 2024. URL: https://vbn.aau.dk/ws/files/521682962/1822830.pdf (дата звернення: 17.03.2025).

23. Abubakar A. et al. Hybrid Optimization Approach for Fault Detection in PV Arrays. *Processes*. 2023. URL: https://doi.org/10.3390/pr11092549 (дата звернення: 21.03.2025).

24. Trustworthy cyber-physical power systems using AI. *AI Review*. 2024. URL: https://doi.org/10.1007/s10462-024-10827-x (дата звернення: 23.03.2025).

25. IoT-Driven Resilience Monitoring in Energy Systems. *Applied Sciences*. 2025. URL: https://doi.org/10.3390/app15042092 (дата звернення: 27.03.2025).

26. Conventional Fault Detection in Solar PV. *EJECE*. 2020. URL: https://www.ejece.org/index.php/ejece/article/view/267 (дата звернення: 29.03.2025).

27. FPGA-based Automated PV Fault Detection. *ResearchGate*. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/382823354_SPF-Net_Solar_panel_fault_detection_using_U-Net_based_deep_learning_image_classification (дата звернення: 01.04.2025).

28. Cyber Physical Systems – Solar Project. ASU *SensIP*. 2021. URL: https://sensip.engineering.asu.edu/cyber-physical-system-cps-solar-project-2021-updates/ (дата звернення: 03.04.2025).

29. Catching Anomalous Distributed PVs. arXiv. 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1709.08830 (дата звернення: 05.04.2025).

30. Federated Learning for Condition Monitoring. arXiv. 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2501.16666 (дата звернення: 07.04.2025).

31. Alam M.S., Rahman M.A. Internet of Solar Things: Cloud-based analytics for PV maintenance. *Future Gener. Comput. Syst.* 2023;145:198–207. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X23000924?via%3Dihub (дата звернення: 07.04.2025).

32. Artificial Intelligence in CPS. arXiv. 2019. URL: https://arxiv.org/abs/1903.04369 (дата звернення: 11.04.2025).

33. AIoT-based Solar Monitoring Survey. *Applied Sciences*. 2025. URL: https://doi.org/10.3390/app15116019 (дата звернення: 13.04.2025).

34. Digital twin-enhanced PV fault diagnosis. *Energy Reports*. URL: https://www.nature.com/articles/s41598-024-72286-2 (дата звернення: 15.04.2025).

35. Hybrid AI Optimization for PV Faults. *Processes*. 2023. URL: https://doi.org/10.3390/pr11092549 (дата звернення: 01.06.2025).

36. Lawson B., Sharp R. Introducing html5. New Riders. 2011.p.35-40.URL: https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=a8HQCk4pbQkC&oi=fnd&pg=PR6&dq=html5+&ots=3h3ag8dpIv&sig=p65FiXtgn2cPYAujKpxNCHW2V-Y (дата звернення: 23.05.2025).

37. Duckett J., Schlüter J. Html & Css. Wiley. 2011. p. 226-246. URL: https://www.academia.edu/download/58990473/capitulo_de_amostra_HTML_CSS20190422-78006-1l89mt9.pdf (дата звернення: 23.05.2025).

38. Attardi J. Modern CSS. Berkeley: CA Apress. 2020. p.1. URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4842-6294-8.pdf (дата звернення: 23.05.2025).

39. Richards G., Lebresne S., Burg B., Vitek J. An analysis of the dynamic behavior of JavaScript programs. In: *Proceedings of the 31st ACM SIGPLAN Conference*

on Programming Language Design and Implementation. 2010. p. 1-12.URL: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/1806596.1806598 (дата звернення: 23.05.2025).

40. Kunkel M. E., Lopes F. L., Amorim H. A. D. Low-cost electronic control with resistive joystick and arduino for children electric wheelchair. *Int J Biosen Bioelectron*. 2017. vol. 3.2: p. 248-250. URL: https://www.researchgate.net/profile/Maria-Elizete-Kunkel/publication/380790582_Low-cost_electronic_control_with_resistive_joystick_and_arduino_for_children_electric_wheelchair/links/5f91b4bd458515b7cf969b80/Low-Cost-Electronic-Control-with-Resistive-Joystick-and-Arduino-for-Children-Electric-Wheelchair.pdf (дата звернення: 11.05.2025).

41. Santosa E. S. B., Waluyanti S. Teaching microcontrollers using Arduino nano based quadcopter. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2019. vol. 1413.p. 012003.URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1413/1/012003/meta (дата звернення: 11.05.2025).

42. Al-Mimi H., Al-Dahoud A., Fezari M. A study on new arduino NANO board for WSN and IoT applications. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020.vol 29.4: p.10223-10230.URL: https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Fezari/publication/345054992_A_Study_on_New_Arduino_NANO_Board_for_WSN_and_IoT_Applications/links/5f9d18daa6fdccfd7b8df144/A-Study-on-New-Arduino-NANO-Board-for-WSN-and-IoT-Applications.pdf (дата звернення: 11.05.2025).

43. Barrett S. F. Arduino microcontroller processing for everyone!. Springer Nature. 2022.URL: https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id= KYNyEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=microcontroller+arduino+uno&ots=HY51KssvM8&sig=_V6I0c VjwqF3jVwARhZ0Hjqw1WA (дата звернення: 11.05.2025).

44. Badamasi Y. A. The working principle of an Arduino. In: 2014 11th international conference on electronics, computer and computation (ICECCO). IEEE, 2014. p. 1-4. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6997578 (дата звернення: 11.05.2025).

45. Kumar R. H., Roopa A. U., Sathiya D. P. Arduino ATMEGA-328 microcontroller. *Int. J. Innov. Res. Electr. Electron. Instrum. Control Eng*. 2015. vol. 3.4: p. 27-29. URL: https://www.academia.edu/download/77541710/ijireeice.2015.pdf (дата звернення: 11.05.2025).

46. Szywalski P., Waindok A. Practical aspects of design and testing unmanned aerial vehicles. acta mechanica et automatica, 2020, vol.14.1. p. 50-51.URL: https://sciendo.com/pdf/10.2478/ama-2020-0008 (дата звернення: 11.05.2025).

47. Yeole A. R., Bramhankar S. M., Wani M. D. Smart phone controlled robot using ATMEGA328 microcontroller. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2015. vol. 3.1: p. 352-356. URL: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=996958fa17629ef261c3dfcb471ca72cfd720417 (дата звернення: 17.05.2025).

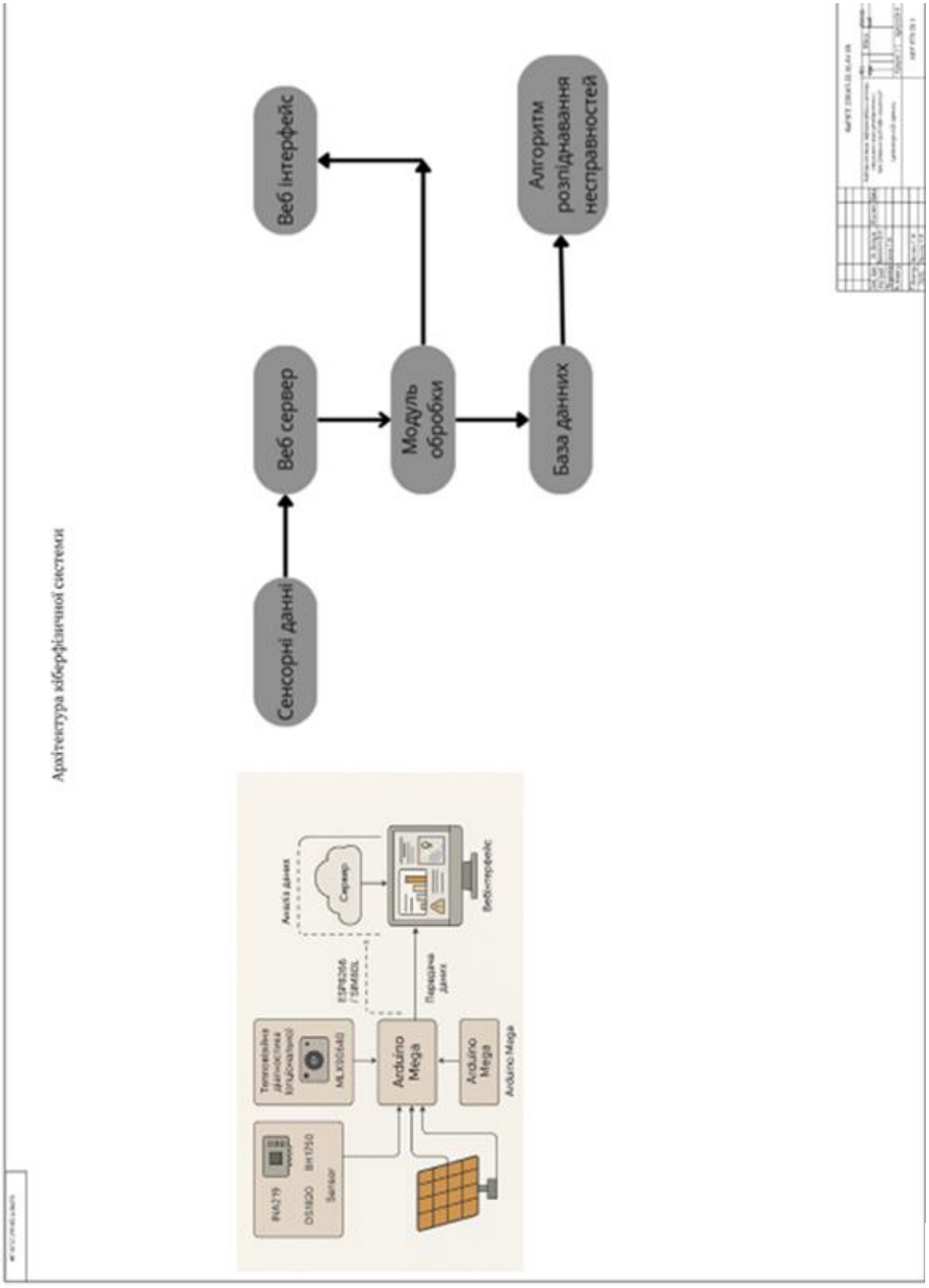
48. Sam R., Tan M., Ismail M. S. Quad-copter using ATmega328 microcontroller. In: *2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). IEEE*. 2013. p. 566-570. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6754500/ (дата звернення: 17.05.2025).

49. Archibong E. A., Njok A. O., Fischer G. Design and Development Unit. 2023. p. 232-237. URL: https://www.researchgate.net/profile/Armstrong-Njok/publication/388029708_Design_and_Development_of_a_Quadcopter_with_Ground_Station_Monitoring_Unit/links/6787d282d587995ad107a008/Design-and-Development-of-a-Quadcopter-with-Ground-Station-Monitoring-Unit.pdf (дата звернення: 17.05.2025).

Додаток А

(обов’язковий)

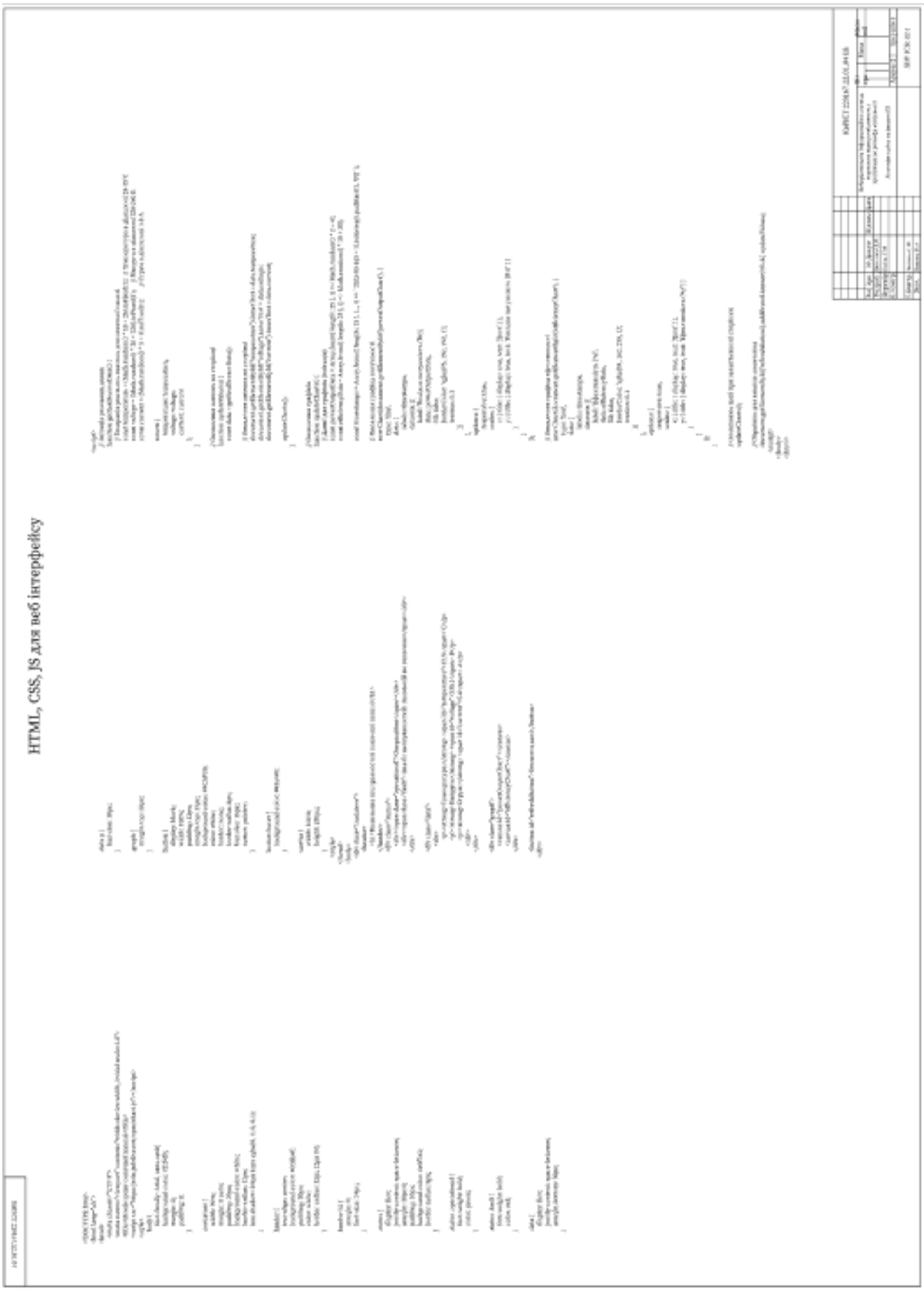
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ»



Додаток Б

(обов’язковий)

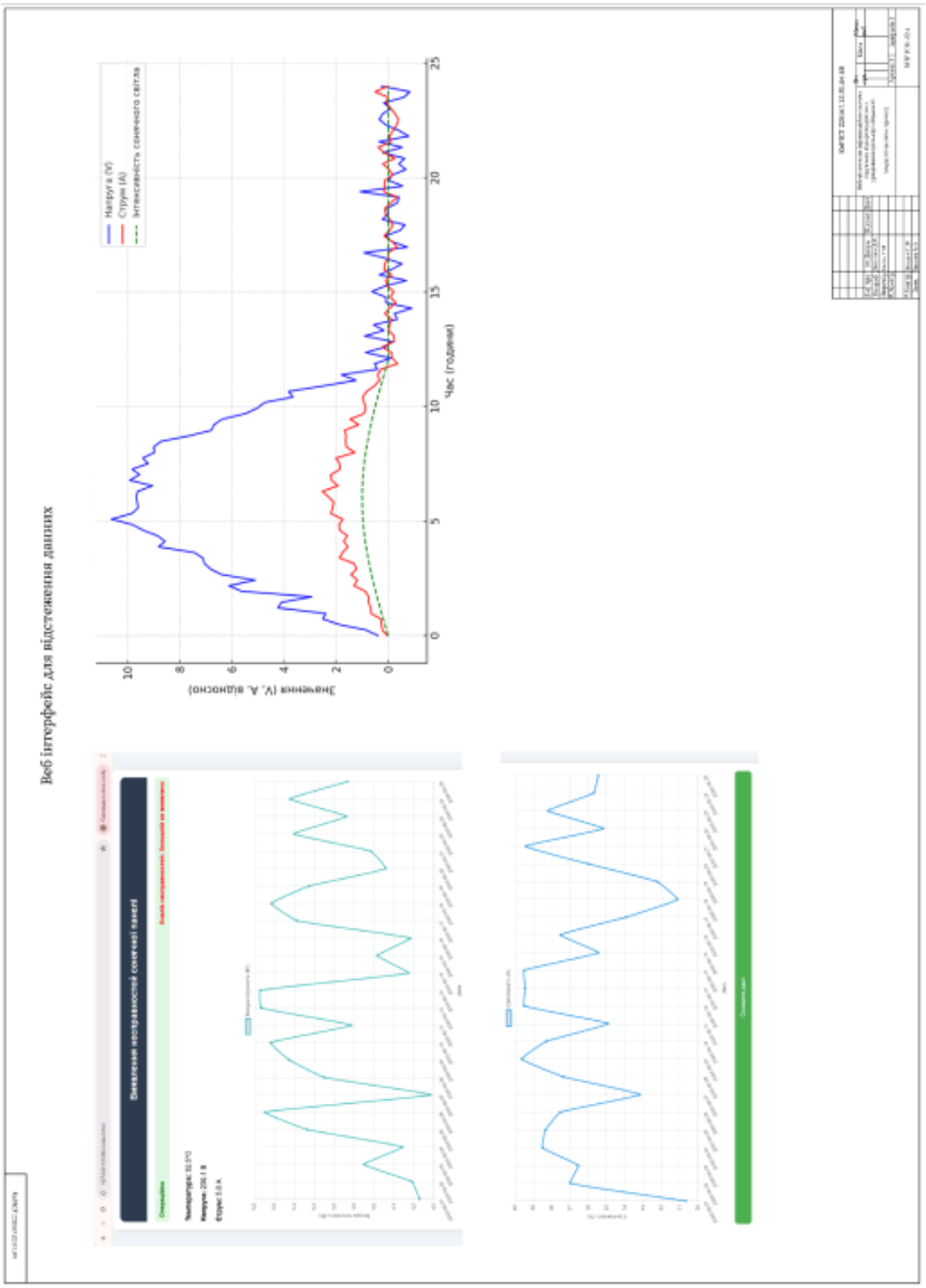
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «HTML, CSS, JS для веб інтерфейсу»



Додаток В

(обов’язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «Веб інтерфейс для відстеження данних»



Thu Jun 12 16:48:22 EEST 2025, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 7.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 10%**

	Document		Sum coincidence on the DB	
ID: 245456 Title: БКР Кіберфізична система розпізнавання несправностей сонячної панелі Added in a DB: 2025-06-12 Authors: Назар ЖОЛКЕВСЬКИЙ Heads: Дмитро МЕДЗАТИЙ Consultants: Opponents:	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	84179	638	6412 (8%)	57 (9%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Назар ЖОЛКЕВСЬКИЙ

Співавтор:

Назва: Жолкевський_Кіберфізична система розпізнавання несправностей сонячної панелі

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:10.7%

Коефіцієнт подібності 2:8.1%

Мікропробіли: 31

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-12 18:37:45.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☒ **Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.**

☐ **Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.**

☐ **Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.**

Обгрунтування:

2025-06-12 Доцент Андрій Нічепорук

Дата експерт

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Жолкевський Назар Сергійович

Тема: Кіберфізична система розпізнавання несправностей сонячної панелі

Спеціальність: 126 «Інформаційні системи та технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою дипломної роботи є дослідження та розробка кіберфізичної системи, призначеної для розпізнавання несправностей сонячної панелі, а також особливостей збору, обробки та передачі даних про стан системи з використанням мікроконтролерів і вебтехнологій.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано декілька систем і саму суть веборієнтованої кіберфізичної системи) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання і проектування кіберфізичної системи, а саме: аналіз існуючих видів сонячних панелей та їх ефективність, також були розглянуті основні дефекти сонячних панелей, такі як гарячі точки, деламінування, тріщини, потемніння на гранях, розбите скло, дефектні з'єднувачі, згорання розподільчої коробки та браунінг EVA-плівки; В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратно-програмну реалізацію веборієнтованої кіберфізичної системи, призначеної для розпізнавання несправностей сонячної панелі, а саме: описані всі потрібні прибори і модулі; налаштовано сервер; розроблена база данних; розроблений веб інтерфейс.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага базі данних і вебсерверу.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Онищко Оксана Григорівна, к. пед. наук, доцент каф. ІПЗ, ХНУ

"___"_____2025 р. _____(підпис)

Завідувачу кафедри КІІС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Назара ЖОЛКЕВСЬКОГО
ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2с-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

_____ 2025 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система розпізнавання несправностей сонячної панелі

Автор: Назар Жолкевський

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Дмитро МЕДЗАТИЙ, к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
3) окремі виявлені збіги є загальновживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозряних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 10,7% і адресується до 41 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 8,1%, що, з урахуванням наведених обгрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи _____ Дмитро МЕДЗАТИЙ

Гарант ОП _____ Андрій НІЧЕПОРУК

Завідувач кафедри КПС _____ Ольга ПАВЛОВА