

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту

Гуцуляк Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.10
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю
метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції

(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики

(назва освітньої програми)

152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня _____ В. В. Гуцуляк
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Яворський Андрій Вікторович, доцент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

_____ В. С. Цих
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірвальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

Освітня програма Інженерія відновлюваної енергетики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Гуцуляку Василю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення інформаційно-вимірвальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції

керівник роботи Яворський Андрій Вікторович, доцент, _____,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ІФНТУНГ від "29" квітня 2025 року № 268/7

2. Строк подання студентом роботи "09" червня 2025 року _____

3. Вихідні дані до роботи _____

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

1. Визначити мету проведення метеорологічних вимірювань на майданчиках фотоелектричних станцій та сформулювати основні завдання їх виконання.

2. Проаналізувати склад і функціональні можливості стаціонарних метеопостів і компактних мініметеостанцій у контексті потреб ФЕС

3. Оцінити вимоги до обладнання, розміщення та експлуатації метеорологічних пунктів на території фотоелектричних майданчиків.

4. Дослідити методи збору, передачі й первинної обробки метеоданих для подальшої візуалізації та аналізу.

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

2. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	доцент Яворський А. В.		
Нормоконтролер	доцент Яворський А. В.		
Перевірка на плагіат	доцент Миндюк В. Д.		

3. Дата видачі завдання “29” квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання (відповідно до наказу).	29.04.2025 р.	
2	Розроблення 1 розділу: «Аналіз метеорологічних інформаційно-вимірювальних систем для потреб фотоелектричних станцій».	14.05.2025 – 22.05.2025 р.	
3	Розроблення 2 розділу: «Розроблення апаратної частини інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції».	22.05.2025 – 29.05.2025 р.	
4	Розроблення 3 розділу: «Розроблення середовища відображення та візуалізації даних інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції».	29.05.2025 – 04.06.2025 р.	
5	Оформлення роботи.	06.06.2025 – 09.06.2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Гуцуляк В. В. «Розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції». Дипломна робота освітнього рівня - бакалавр, на правах рукопису. Спеціальність - 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». - Івано-Франківськ, 2025.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена темі розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції. Структурно робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг становить 55 сторінок, включаючи 45 рисунків і 6 таблиць. Бібліографія охоплює 24 офіційних та наукових джерел.

У першому розділі наведено огляд інформаційно-вимірювальних систем для ФЕС, визначено мету та завдання метеовимірювань, підкреслено роль стаціонарних і компактних метеостанцій у контролі ключових параметрів (радіація, температура, вітер).

У другому розділі описано апаратну частину на базі розумного лічильника smart-MAIC D105: вибір і підключення датчиків сонячного випромінювання, швидкості/напрямку вітру та температури повітря та фотоелектричних модулів, розроблено схеми підключення.

Третій розділ присвячено налаштуванню хмарного WEB-додатку smart-MAIC Dashboard: реєстрації пристроїв, формуванню дашбордів з віджетами.

Практична цінність системи полягає в її здатності забезпечити точний моніторинг метеоумов і підвищити ефективність роботи фотоелектричних станцій за допомогою готового хмарного рішення.

Ключові слова: фотоелектрична станція, метеорологічний моніторинг, метеостанція, інформаційно-вимірювальна система, сонячне випромінювання, датчик, дашборд.

ABSTRACT

Hutsulyak V. V. ‘Development of an information and measurement system for monitoring meteorological parameters for the operation of a photovoltaic station.’ Thesis for a bachelor's degree, manuscript. Speciality - 152 ‘Metrology and Information and Measurement Technology’. - Ivano-Frankivsk, 2025.

The bachelor's thesis is devoted to the development of an information and measurement system for monitoring meteorological parameters for the operation of a photovoltaic station. The work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references and appendices. The total volume is 55 pages, including 45 figures and 6 tables. The bibliography covers 24 official and scientific sources.

The first chapter provides an overview of information and measurement systems for solar power plants, defines the purpose and objectives of meteorological measurements, and emphasises the role of stationary and compact weather stations in monitoring key parameters (radiation, temperature, wind).

The second chapter describes the hardware based on the smart-MAIC D105 smart meter: selection and connection of solar radiation, wind speed/direction and air temperature sensors and photovoltaic modules, and connection diagrams are developed.

The third section is devoted to configuring the smart-MAIC Dashboard cloud web application: device registration, dashboard creation with widgets.

The practical value of the system lies in its ability to provide accurate monitoring of weather conditions and increase the efficiency of photovoltaic stations using a ready-made cloud solution.

Keywords: photovoltaic station, meteorological monitoring, weather station, information and measurement system, solar radiation, sensor, dashboard.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОТРЕБ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	10
1.1 Мета і задачі проведення метеорологічних вимірювань на площадках фотоелектричних станцій.....	10
1.2 Метеорологічні пости, мініметеостанції в складі фотоелектричних станцій.....	14
1.2.1 Огляд існуючих метеорологічних інформаційно-вимірювальних систем.....	16
1.3 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи.....	21
1.4 Висновки до розділу	22
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ	23
2.1 Підбір системи збору і опрацювання інформації інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції. Інтелектуальні пристрої Smart Maic.....	23
2.2 Побудова структури інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції.	28
2.3 Підбір і налаштування базових давачів інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції.....	29
2.3.1 Давачі повітря і температури поверхні фотоелектричних модулів.....	29
2.3.2. Давачі температури ФЕМ.....	34
2.3.3 Давачі швидкості та напрямку вітру	39
2.3.4 Давачі інтенсивності сонячного випромінювання.....	45
2.4 Висновки до розділу	48
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СЕРЕДОВИЩА ВІДОБРАЖЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ	48
3.1 Використання хмарного WEB-додатку smart-MAIC Dashboard для побудови середовища відображення та візуалізації даних інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції.....	48

3.1.1. Елементи інтерфейсу	49
3.1.2. Розроблення моделі Дашборду.....	52
3.2 Висновки до розділу	54
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Актуальність теми. Фотоелектричні станції є одним з найбільших джерел відновлюваної енергетики і набирають все більшого поширення. У звіті [1] вказано, що загальна світова потужність відновлюваної генерації на кінець 2023 р. становила 3 870 ГВт, з яких на сонячну енергію припадало 1 419 ГВт (найбільша частка серед усіх джерел). Критично важливим фактором, який впливає на ефективність роботи і надійність ФЕС є метеорологічні умови. Інтенсивність сонячного випромінювання, температура, вологість повітря, швидкість вітру безпосередньо впливають на продуктивність фотоелектричних модулів та стабільність роботи всієї системи.

Тому, для підвищення ефективності роботи, забезпечення точного прогнозування продуктивності, покращення надійності та підвищення термінів експлуатації обладнання потрібне метеорологічне забезпечення. Метеорологічні параметри на ФЕС отримуються завдяки метеорологічним постам чи мініметеостанціям. Для ФЕС, які займають велику площу, необхідне встановлення декількох постів.

При розробленні такої станції актуальними завданнями є підбір і об'єднання всіх давачів і приладів в єдину інформаційно-вимірювальну систему, можливість застосування цієї системи на ФЕС незалежно від встановленого на ній обладнання та можливість віддаленого доступу до отриманих даних.

Мета і завдання дослідження. Метою цієї роботи є забезпечення функціонування ФЕС, завдяки покращеному метеорологічному забезпеченню, шляхом розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів.

Щоб досягти поставленої мети в роботі потрібно виконати наступні завдання:

- Огляд наукової літератури та наявних досліджень за обраною тематикою
- Розроблення апаратної частини інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції

- Підбір базових датчиків інформаційно-виміральної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції
- Розроблення середовища відображення та візуалізації даних інформаційно-виміральної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції

Об'єкт дослідження. Процес контролю та вимірювання метеорологічних параметрів, що впливають на функціонування фотоелектричної станції.

Предмет дослідження. Апаратні та системні засоби для розробки інформаційно-виміральної системи контролю метеорологічних параметрів.

Методи дослідження. Для виконання поставлених завдань у роботі застосовуються такі методи дослідження:

Аналіз літературних джерел – вивчення наукових публікацій, стандартів (ГКД 34.20.507-2003 тощо), технічних документів виробників обладнання (smart-МАІС, датчикі) для формулювання вимог до системи та вибору обладнання. Моделювання– побудова структурних схем ІВС, підбір датчиків; використання програмних інструментів. Підтвердження достовірності залежностей між метеопараметрами й ефективністю ФЕС. Візуалізація – налаштування та тестування хмарного WEB-інтерфейсу smart-МАІС Dashboard.

Практичне значення одержаних результатів. Впроваджена система на базі розумного лічильника smart-МАІС D105 і хмарного WEB-додатку smart-МАІС Dashboard дозволяє в реальному часі стежити за ключовими метеопараметрами та оперативно виявляти відхилення – від забруднення панелей та перегріву до небезпечних погодних явищ – що допомагає запобігти втратам генерації та виявляти несправності. Система буде простою в реалізації і не вимагатиме спеціальних навичок для встановлення та використання. Система орієнтована на будь-які мережеві інвертори та легко адаптується до різних технічних умов і розмірів фотоелектричних майданчиків. Запропоноване рішення може слугувати як готова база для подальших досліджень у галузі енергоменеджменту.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОТРЕБ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Мета і задачі проведення метеорологічних вимірювань на площадках фотоелектричних станцій.

Ефективність роботи фотоелектричних станцій безпосередньо залежить від умов навколишнього середовища. Постійний доступ до актуальних метеоданих є критично важливим для стабільної роботи ФЕС, оскільки дозволяє прогнозувати виробіток електроенергії, контролювати стан обладнання та запобігати шкоді від екстремальних погодних умов.

Тому, метою проведення метеорологічних вимірювань на площадках фотоелектричних станцій є постійне метеорологічне забезпечення ФЕС, збір та аналіз метеорологічних даних для оптимізації роботи, підвищення продуктивності та економічної ефективності фотоелектричної станції.

Згідно галузевого керівного документа [2] до завдань метеорологічного забезпечення ВЕС і ФЕС повинно входити:

- автоматичне вимірювання і реєстрація фактичних параметрів вітру (напрямок і швидкість) на території ВЕС;
- автоматичне вимірювання і реєстрація даних про інтенсивність сонячного випромінювання на території розміщення ФЕС, температуру повітря навколишнього середовища, температуру на поверхні ФЕМ (ФЕБ), швидкість вітру та його напрямок тощо.
- отримання від постачальника метеоданих поточних і прогнозованих метеоданих для даної місцевості.

На підставі прогнозованих метеоданих планується ведення оптимального режиму роботи ВЕС і ФЕС загалом, вживаються заходи для запобігання і зменшення збитків від стихійних лих.

Вимірювання сонячного випромінювання, крім прогнозування виробітку електроенергії, дає змогу порівняти фактичну генерацію електроенергії з розрахунковою. Це, натомість, дозволяє визначити відхилення у роботі фотоелектричних модулів - якщо при високому рівні сонячного випромінювання спостерігається низький рівень генерації електроенергії, це може сигналізувати про забруднення панелей, затінення або технічні несправності.

Температура фотоелектричних модулів безпосередньо впливає на їх електричні характеристики - зі зростанням температури зменшується напруга холостого ходу і загальна потужність модулів. В статті [3] вказано, що, як правило, ефективність типового фотомодуля падає приблизно на 0,5% на кожен градус підвищення температури вище 25°C.

В посібнику [4] вказуються схожі дані: зі збільшенням температури зменшується значення фактору «заповнення» ВАХ, але при цьому на 0,4–0,45%/°C зменшується і значення напруги холостого ходу U_{xx} . Пропорційно зменшується й потужність СЕ.

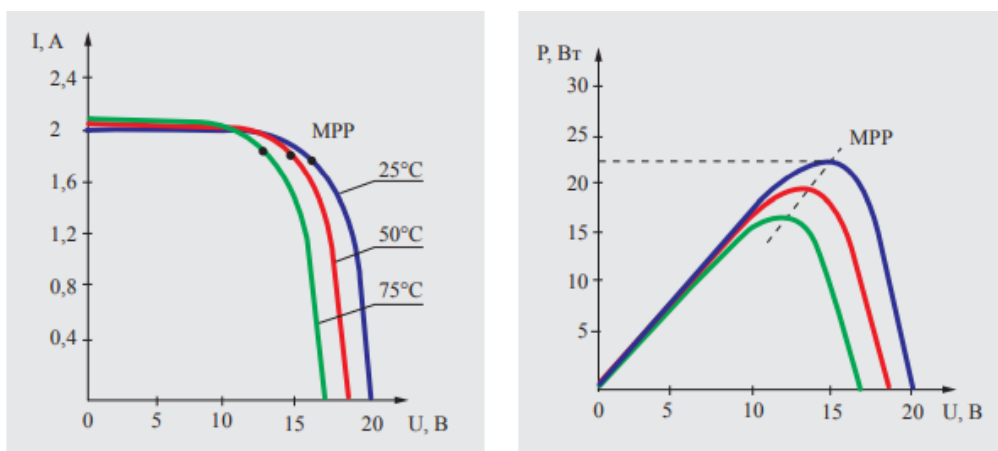


Рисунок 1.1 Діаграми залежностей напруги і струму та потужності від температури [4]

Максимальна напруга холостого ходу U_{xx} сонячного елемента досягається при температурі близько -25°C . При підвищенні температури до 65°C U_{xx} падає до 45% від цього значення, що відповідає зменшенню приблизно на 0,5В за кожен підйом температури на 1°C .

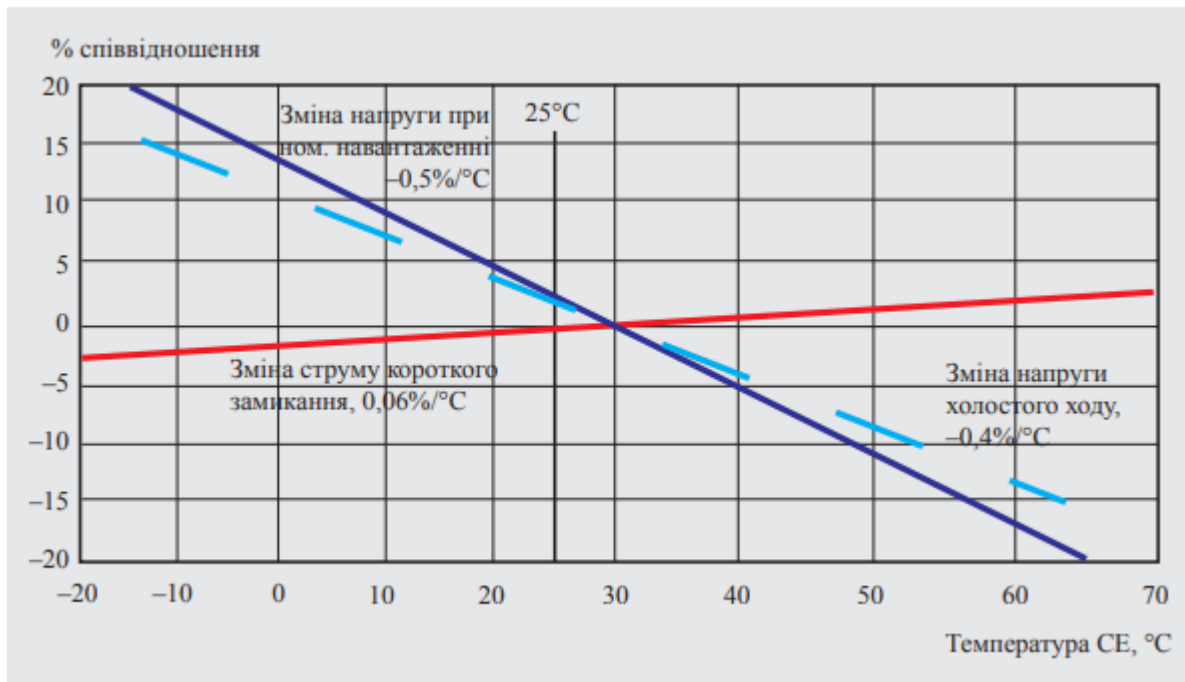


Рисунок 1.2 Залежність напруги і струму короткого замикання від температури[4]

Для моніторингу температури модуля використовуються датчики на тильній стороні модуля. Моніторинг температури модулів дозволяє виявляти локальні перегріву, що можуть вказувати на дефекти модулів.

Швидкість вітру визначає інтенсивність охолодження фотоелектричних модулів, що безпосередньо впливає на їх робочу температуру та ефективність. Дані про вітер важливі для забезпечення безпеки експлуатації – при перевищенні граничних швидкостей вітру необхідно переводити сонячні трекери у захисне положення або вимикати станцію.

Автори дослідження [5] провели порівняльне тестування двох ідентичних панелей: одна працювала в умовах обмеженого повітряного потоку, друга за нормальних умов з природною вентиляцією. Вимірювання проводились протягом світлового дня (9:00-17:00) з інтервалом 10 хвилин, реєструючи вихідну напругу, струм, температуру панелей та метеорологічні параметри.

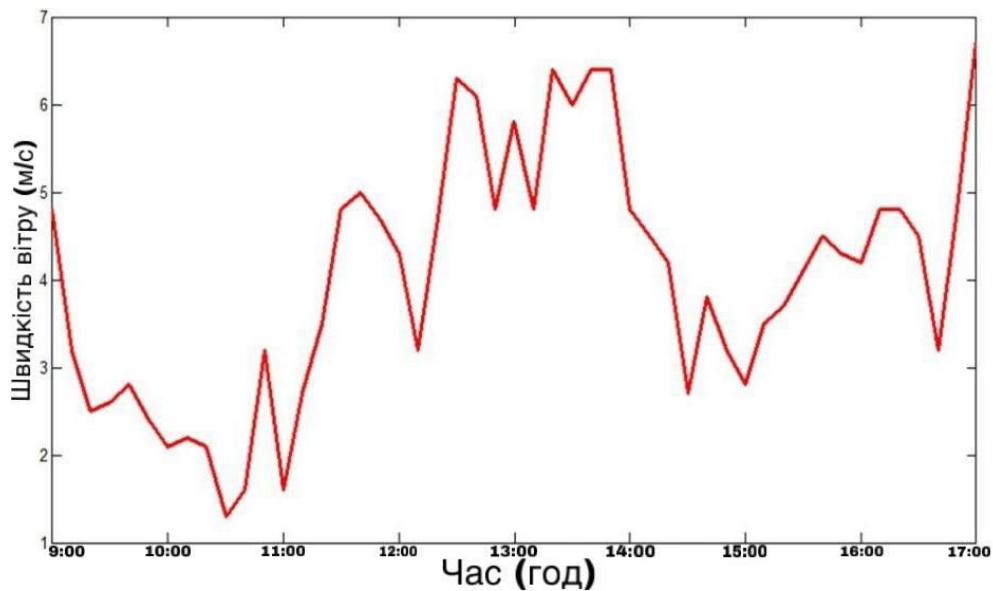


Рисунок 1.3 Швидкість вітру в залежності від часу протягом тестового дня[5]

Результати демонструють суттєву різницю в робочих характеристиках. Панель без охолодження вітром досягла максимальної температури $57,1^{\circ}\text{C}$ при середньому значенні $53,7^{\circ}\text{C}$, тоді як панель з природною вентиляцією нагрівалась до $51,7^{\circ}\text{C}$ із середнім показником $49,5^{\circ}\text{C}$. Тепловізійна зйомка підтвердила ці дані, показавши температурну різницю $4,2^{\circ}\text{C}$ між панелями.

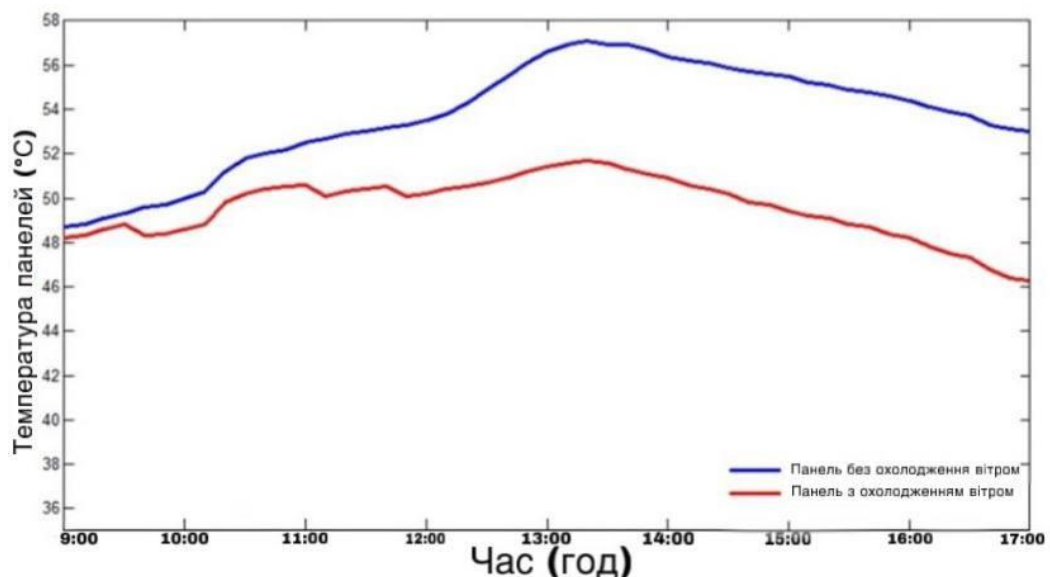


Рисунок 1.4 Зміна робочої температури фотоелектричних панелей протягом тестового дня[5]

Електричні параметри також демонструють покращення при вітровому охолодженні. Вихідна напруга збільшилась на $4,43\%$ (з $15,54\text{В}$ до $16,26\text{В}$ у

середньому), струм зріс на 10,56% (з 2,71А до 3,03А), що призвело до підвищення загальної потужності на 14,25% - з 42,42Вт до 49,47Вт.

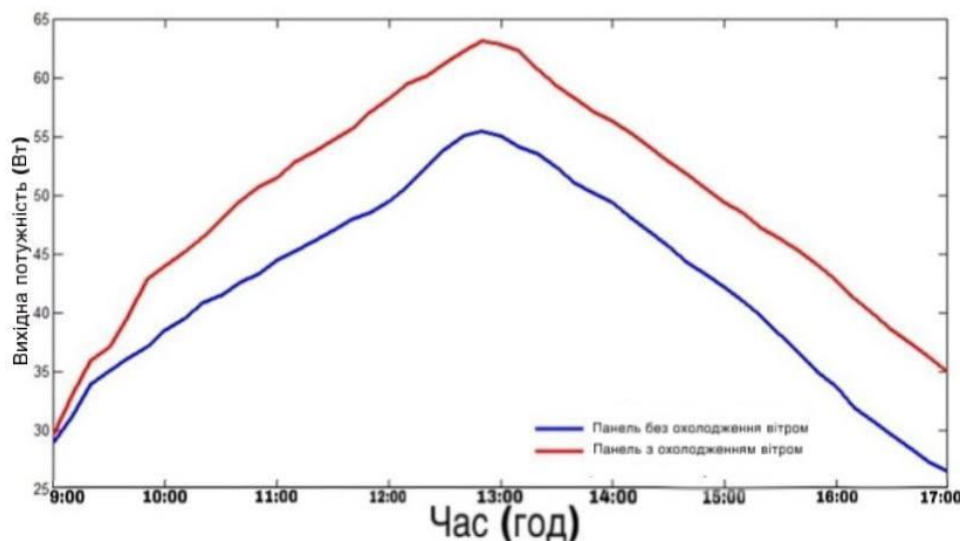


Рисунок 1.5 Вихідна потужність в залежності від часу[5]

1.2 Метеорологічні пости, мініметеостанції в складі фотоелектричних станцій.

Метеорологічні пости та мініметеостанції в складі ФЕС повинні забезпечувати збір та аналіз метеорологічних даних, які потрібні для ефективної роботи станції, і оснащені для цього відповідними приладами і установками.

Згідно галузевого керівного документа [2] вітрові і фотоелектричні електростанції повинні регулярно отримувати в обсязі, достатньому для забезпечення заявленої потужності і якості електричної енергії, поточні і прогнози метеодані щодо:

- швидкості і напрямку вітру;
- інтенсивності сонячної радіації;
- хмарності;
- температури, атмосферного тиску і вологості;
- кількості і виду опадів;
- утворення ожеледі;
- штормових попереджень;
- грозової діяльності.

Обсяг метеорологічних прогнозів і терміни їхнього надання повинні бути погоджені з постачальником метеоданих

Необхідне обладнання визначається залежно від потреб і побажань. У загальному випадку метеорологічний пост (чи автоматична мініметеостанція) у складі ФЕС повинен мати таке обладнання:

- метеорологічну вежу (опору);
- сенсори освітленості;
- сенсори температури;
- сенсор швидкості та напрямку вітру;
- пристрій для перетворення (кодування) сигналів від сенсорів і передавання інформації в систему керування ФЕС;
- кабельну мережу (за необхідності).

Зазначене обладнання включає широкий спектр давачів та вимірювальних приладів, які можуть бути об'єднані в єдину інформаційно-вимірювальну систему, з можливістю дистанційного моніторингу та управління.

Основними компонентами таких станцій є піранометри для вимірювання глобальної сонячної радіації, піргеліометри для контролю прямої сонячної радіації, давачі температури повітря та поверхні панелей, анемометри для визначення швидкості та напрямку вітру, гігрометри для контролю вологості, барометри для вимірювання атмосферного тиску та опадоміри для моніторингу кількості опадів.



Рисунок 1.6 загальний вигляд мініметеостанції[6]

1.2.1 Огляд існуючих метеорологічних інформаційно-вимірювальних систем

В роботі [7] йдеться про створення метеостанції, яка передає дані про погоду через тип зв'язку NB-IoT, який підходить для передачі невеликих обсягів даних з пристроїв, які працюють автономно, споживають мінімум енергії та можуть знаходитись навіть у місцях зі слабким покриттям зв'язку.

Метеостанція розділена на дві основні частини. Це система збору даних про навколишнє середовище (EDA) та головний блок управління (MCU). Процес EDA полягає у зчитуванні даних про навколишнє середовище, такі як швидкість і напрямок вітру, вологість і температуру, атмосферний тиск і кількість опадів. Процеси MCU полягають у вимірюванні рівня озону, зчитуванні даних з EDA та підключенні до плати NB-IoT.

В основі лежить контролер Arduino MKR NB 1500, до якого підключено кілька сенсорів: температури, вологості, атмосферного тиску, напрямку і швидкості вітру, кількості опадів та рівня озону в повітрі. Ці параметри автоматично зчитуються і надсилаються на віддалений сервер за допомогою протоколу CoAP.

Отримані дані передаються через NB-IoT модуль у хмару, зберігаються в базі даних MySQL, а далі візуалізуються через систему Grafana

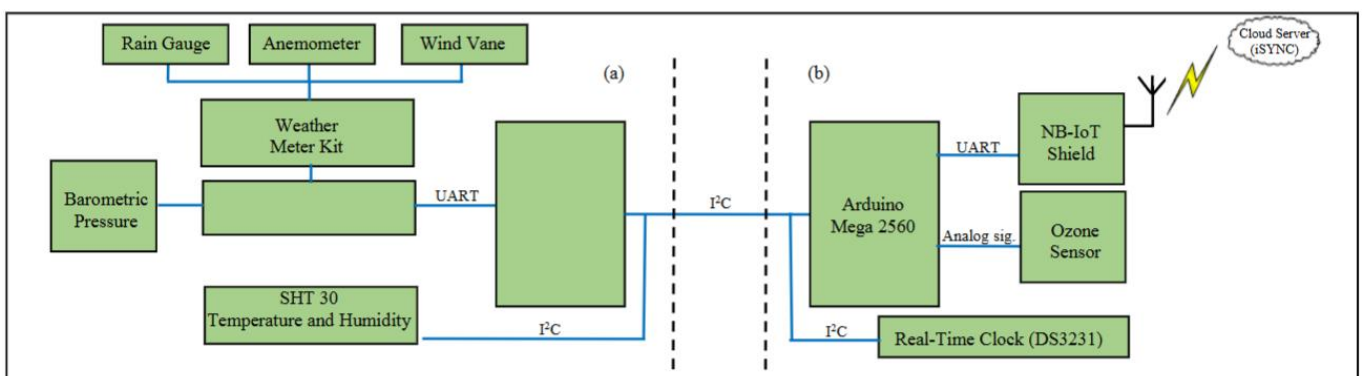


Рисунок 1.7 структурна схема ІВС [7]

Система була експериментально протестована в реальних умовах на узбережжі в Таїланді. Там було виявлено кілька практичних труднощів: наприклад,

через обмеження в пам'яті мікроконтролера, така система має вузьку пропускну здатність. Це означає, що передавати великі об'єми інформації (наприклад, кілька параметрів одночасно або часті оновлення) проблематично.



Рисунок 1.8 загальний вигляд метеостанції [7]

Робота [8] описує розробку, встановлення й випробування системи збору електричних та метеорологічних даних для трьох типів сонячних енергетичних установок автономної, гібридної та мережевої. Усе це реалізовано на невеликій мікромережі, встановленій у кампусі Університету Форт-Гейр у Південній Африці.

У центрі дослідження система збору даних, яка дозволяє одночасно відстежувати різні електричні параметри (наприклад, напругу, струм, потужність) і погодні умови (температуру, вологість, сонячну радіацію, вітер) для трьох типів фотомодулів. Це дає змогу зрозуміти, як різні конфігурації станцій поведуться в однакових зовнішніх умовах, що важливо для порівняння ефективності.

Метеостанцію встановлено на даху будівлі, де розміщено сонячні панелі, що дозволяє отримувати максимально репрезентативні показники. Установка складається з сонячного трекера SOLYS 2, пірометра, піргеометра, термогігрометра HMP60, анеометра та двох пірометрів Kipp & Zonen CMP 11, один з них орієнтований горизонтально, інший нахилений під кутом 12° , аналогічним куту нахилу дахових фотомодулів. Це дає змогу порівнювати глобальну горизонтальну радіацію з тією, яку фактично отримують панелі.



Рисунок 1.9 зовнішній вигляд метеостанції[8]

Усі сенсори підключено до реєстратора CR1000, що працює в циклі: збір даних кожні 10 хвилин, збереження даних кожні 30. Це дозволяє виявляти динаміку змін навіть при нестабільних погодних умовах.

Ще один важливий елемент це радіаційний екран, де розміщено давачі температури й вологості. Він білий, з ламелями, що не дає нагріватись від сонця, але забезпечує вільну вентиляцію.

Зібрані дані показали чітку залежність температури модулів від рівня сонячного випромінювання, зростання струму при підвищенні інсоляції та зниження напруги при перегріві. У звіті є спостереження за тиждень та окремо аналіз дощового дня, який показав стабільність роботи навіть у складних погодних умовах. Також було змодельовано розу вітрів.

В статті [9] йдеться про створення простої метеорологічної станції на базі технологій Інтернету речей (IoT), яка здатна в реальному часі вимірювати основні параметри навколишнього середовища: температуру, вологість, атмосферний тиск та наявність дощу.

Основою пристрою є контролер NodeMCU, який побудований на Wi-Fi модулі ESP8266. До нього підключено три основних давачі:

- DHT11 – для вимірювання температури та вологості;
- BMP180 – барометричний давач для вимірювання атмосферного тиску;

- Raindrop Sensor – сенсор, що реагує на наявність крапель води, фактично фіксує дощ.

Система працює у трикроковому режимі:

- Давачі зчитують значення навколишнього середовища.
- NodeMCU отримує ці дані, обробляє їх і надсилає у веб-інтерфейс через локальну Wi-Fi мережу.
- Користувач може відкрити браузер, перейти за IP-адресою пристрою та побачити оновлені показники погоди.

Передача даних здійснюється за допомогою HTTP-запитів, тобто як звичайний вебсайт. Усе програмування реалізовано через середовище Arduino IDE (код на мові C/C++), а для відображення даних HTML+JavaScript.

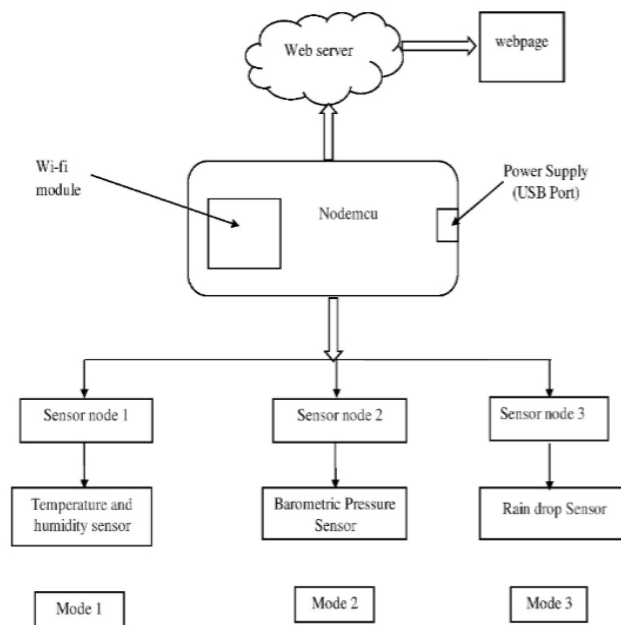


Рисунок 1.10 схема метеорологічної станції [9]

На практиці автори протестували систему в трьох різних точках та зафіксували результати у вигляді таблиць. Вони регулярно порівнювали показники із офіційними джерелами (наприклад, погодними сайтами) й виявили, що дані зі створеного пристрою дуже близькі до реальних значень. Наприклад, температурні значення відрізнялися в середньому на 1 градус, а вологість – на 1–3%.

У дослідженні [10] автори проаналізували роботу сонячної електростанції в Туреччині. Система підключена до загальної мережі та розташована в регіоні з доволі високим рівнем сонячного випромінювання. Мета дослідження оцінити, наскільки ефективно така станція генерує електроенергію, наскільки вона економічно виправдана, а також як її робота вписується у принципи сталого розвитку.

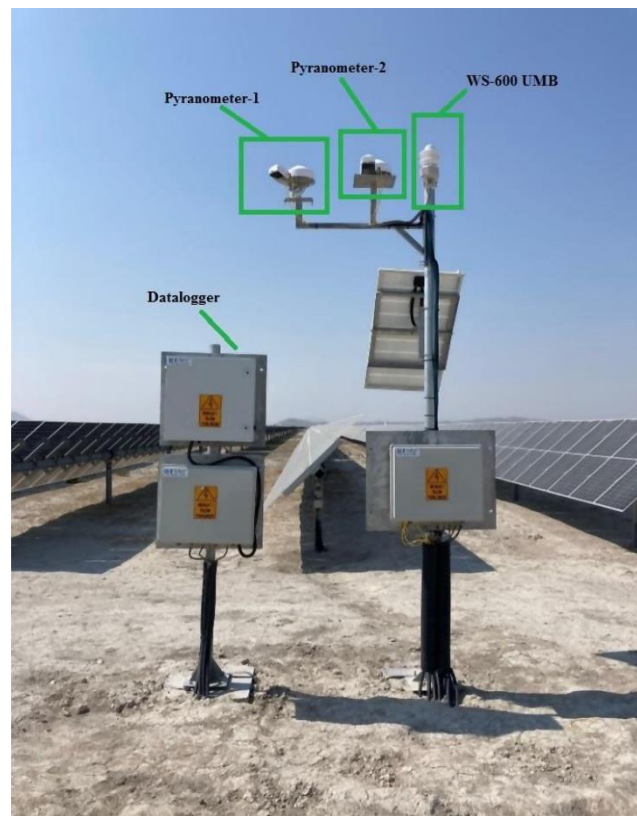


Рисунок 1.11 – загальний вигляд метеостанції[10]

Для отримання точних результатів автори збирали дані протягом шести місяців, з серпня по січень. Для цього вони використовували метеорологічну станцію, встановлену на території електростанції. Саме вона забезпечувала багато важливих показників для аналізу. Сонячне випромінювання фіксувалось за допомогою двох пірометрів Kipp & Zonen SMP10-A. Один з них був направлений угору, другий вниз, для вимірювання альбедо. Температура повітря та швидкість вітру вимірювались метеостанцією Lufft WS-600 UMB, а температура самих панелей окремим сенсором Tm-RS485-MB. Рівень забруднення поверхні панелей контролювався двома пристроями DustIQ.

Всі ці пристрої були під'єднані до логерів, які фіксували дані щохвилини. Далі ці дані передавались до системи SCADA на головній підстанції через оптоволоконні кабелі. Це дозволяло контролювати роботу станції в реальному часі і точно пов'язувати ефективність з погодними умовами.

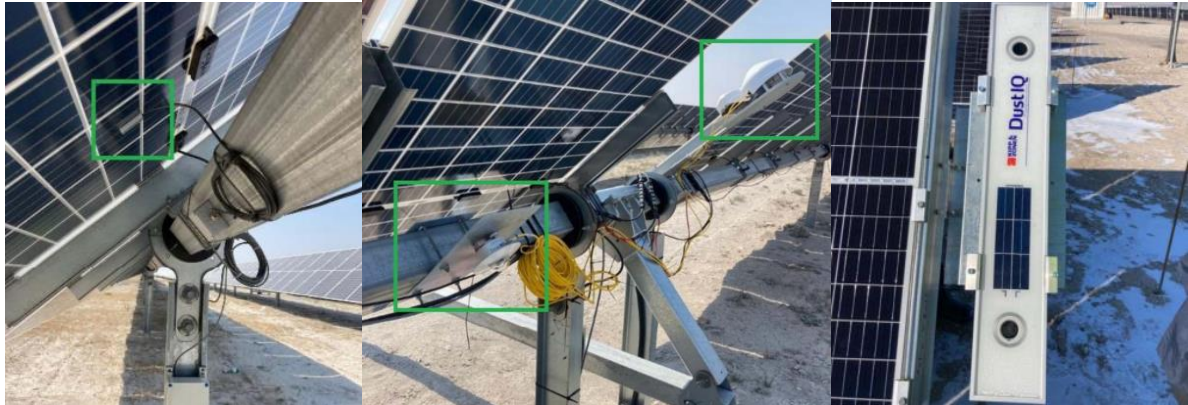


Рисунок 1.12 вигляд давачів на метеостанції[10]

Зібрані метеодані дозволили зрозуміти не тільки середні показники ефективності, але й сезонні зміни. Наприклад, у холодні місяці панелі працювали краще через зниження температури, однак забрудненість фотоелектричних модулів і опади знижували результат. Водночас влітку висока температура повітря негативно впливала на продуктивність через перегрів модулів. Завдяки цьому стало можливим зробити висновки про те, як зовнішні умови впливають на систему в різні періоди року. Крім технічних параметрів автори також провели економічну оцінку.

Метеорологічна станція у цьому проєкті не була просто додатковим компонентом, а була критично важливим елементом всіх розрахунків. Без точного вимірювання метеорологічних параметрів не вдалося б отримати достовірну картину щодо ефективності станції, її впливу на довкілля та економічну доцільність

1.3 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи.

Дослідження буде зосереджено на розробці апаратного забезпечення для системи вимірювання з використанням сучасних давачів та засобів збору інформації. Мета полягає у створенні системи контролю, яка зможе надійно

вимірювати інтенсивність сонячної радіації, швидкість та напрямок вітру, температуру повітря та температуру поверхні фотоелектричних модулів.

Другий напрямок роботи охоплює створення зручного інтерфейсу для відображення та візуалізації зібраних даних. Планується створити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для перегляду поточних показників та аналізу даних. Це забезпечить віддалений доступ до інформації, її аналіз та можливість налаштування сповіщень про зміни параметрів. Дослідження включатиме детальний аналіз технічних характеристик різних типів датчиків, обґрунтування їх вибору для конкретних завдань вимірювання. Очікуваним результатом є інформаційно-вимірювальна система контролю метеорологічних параметрів готова до практичного використання.

1.4 Висновки до розділу

У цьому розділі обґрунтовано необхідність моніторингу метеорологічних параметрів для ефективної роботи фотоелектричних станцій. Проведено огляд сучасних метеостанцій та систем збору даних, їхніх компонентів, характеристик і функціональності. Продемонстровано вплив основних метеопараметрів на ефективність роботи фотомодулів, а також наведено приклади реальних систем та досліджень, які підкреслюють критичну роль точних кліматичних даних у прогнозуванні генерації та виявленні несправностей.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

2.1 Підбір системи збору і опрацювання інформації інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції. Інтелектуальні пристрої Smart Maic.

Для реалізації апаратної частини ІВС було обрано розумні прилади і хмарний WEB-додаток від компанії smart-MAIC [11].

Лінійка пристроїв smart-MAIC може використовуватись для побудови систем моніторингу різноманітних параметрів та представлена розумними лічильниками імпульсів та електролічильниками.

В статті [12] описано інформаційно-вимірювальну систему (ІВС), здатну фіксувати погодинні та добові показники витрати ресурсів, контролювати кліматичні умови в приміщеннях (температура, вологість, вміст CO₂), передавати інформацію через Wi-Fi в хмару, де її можна аналізувати в реальному часі. У ролі основного технічного рішення виступили пристрої smart-MAIC, які прості у встановленні, автоматично підключаються до мережі, не потребують складного налаштування й передають дані до візуальної панелі у вигляді веб-додатку.

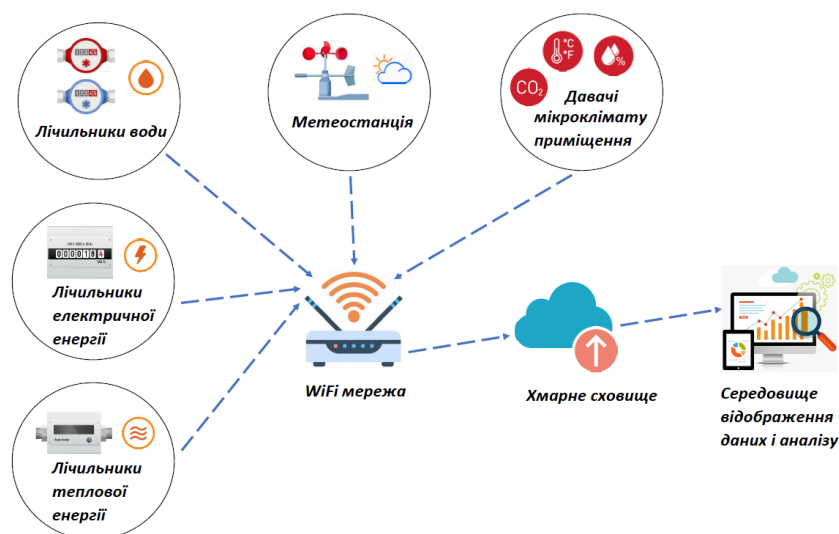


Рисунок 2.1 Структура інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу[12]

Система охопила десять аудиторій, де ведеться моніторинг споживання електроенергії, води й тепла. Окремо приділено увагу метеомодулю: на базі сенсора BME280 фіксуються температура, вологість, тиск зовнішнього повітря. Пристрій розміщено в радіаційному екрані на північній стіні будівлі, щоб уникнути впливу прямих сонячних променів. Це дає можливість порівнювати внутрішній мікроклімат із зовнішніми умовами й будувати температурно-енергетичні діаграми для оцінки ефективності опалення. У систему також інтегровано дозиметр-радіометр, що додає функцію контролю радіаційного фону.



Рисунок 2.2 реалізація дашборду інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу[12]

Приклади застосування системи демонструють її здатність виявляти нерациональне споживання наприклад, непотрібну роботу бойлера у неробочі години. Описано як збираються, передаються й аналізуються дані, як можна об'єднувати нові пристрої з уже наявними лічильниками через універсальні входи. Рішення масштабоване, і в перспективі може бути застосоване в інших корпусах університету або громадських будівлях

Також на сайті компанії є окремий розділ з прикладами підключень від клієнтів [13]

Для побудови ІВС контролю метеорологічних параметрів підходить розумний лічильник імпульсів smart-MAIC D105. Пристрій smart-MAIC D105 працює як централізований вузол збору та обробки даних від різноманітних давачів через

цифрові та аналогові інтерфейси з подальшою передачею інформації до хмарного сховища через Wi-Fi мережу.

В посібнику користувача smart-MAIC D105 [14] вказано що пристрій встановлюється на DIN-рейку в монтажну коробку зі ступенем захисту IP65/IP67. D105 живиться від мережі змінного струму 100-240 В до нижніх клем або від джерела живлення 5 В постійного струму до верхніх клем.

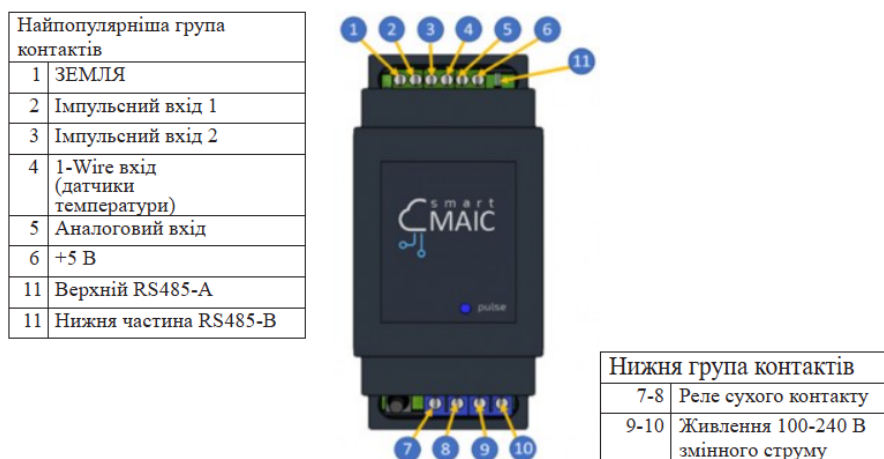


Рисунок 13 Схема підключення smart-MAIC D105[14]

Пристрій оснащений двома входами для підрахунку імпульсів. Імпульсом вважається замикання імпульсного входу на GND. Імпульсні входи призначені для підключення лічильників та/або давачів, які повідомляють про зміну свого стану шляхом замикання своїх вихідних контактів. Підрахунок імпульсів відбувається на двох входах незалежно один від одного.

Пристрій дозволяє підключити максимум 5 давачів температури типу DS18x20 або один давач температури та вологості DHT22 / D280 чи багато інших давачів. Аналоговий вхід призначений для підключення різних аналогових давачів. Аналоговий вхід вимірює постійне значення напруги в діапазоні 0-16 В постійного струму.

Пристрій оснащений керованим виходом типу «сухий контакт». Керований вихід призначений для автоматизації керування навантаженням. Вихід може керувати силовим реле або контактором, до яких підключені електроприлади. Вихід керується дистанційно, на веб-сторінці пристрою або з сервера. Також можливо

керувати виходом за заздалегідь визначеними правилами та/або розкладом. Керований вихід призначений для комутації навантажень потужністю < 50 Вт.

Інтерфейс RS485 призначений для підключення різноманітних давачів або отримання даних за стандартом RS485. Параметри RS485 9600 8-N-1. Запит на отримання даних у форматі JSON

Налаштування бездротового з'єднання відбувається аналогічно до інших пристроїв smart-MAIC. Для нормальної роботи пристрою необхідно, в місці його встановлення, забезпечити наявність сигналу від вашої бездротової мережі. Під час першого запуску або після відновлення заводських налаштувань пристрій переходить у режим бездротової точки доступу до якої можна підключитись за допомогою мобільного чи комп'ютера.

Початкові налаштування виконуються згідно статті [15]. Для підключення до бездротової мережі виконайте такі дії:

На комп'ютері або телефоні перейти до списку бездротових мереж і вибрати підключення до мережі “smartMAIC”+ (номер пристрою). Якщо мережа “smart-MAIC”+ (номер пристрою) відсутня, натиснути кнопку Reset на пристрої. Пароль для підключення за замовчуванням – відсутній.

Після успішного підключення налаштування пристрою відкриються автоматично або потрібно буде ввести <http://192.168.4.1> у адресному рядку браузера щоб перейти на вбудований WEB сайт пристрою.

У розділі «WiFi та Мережа» вибрати зі списку бездротових мереж ім'я мережі, натисніть «Підключити» та ввести пароль. Для нормальної роботи рівень сигналу WiFi повинен бути не гіршим за - 80дБ. Якщо у списку бездротових мереж немає імені мережі, потрібно оновити список, натиснувши кнопку «Оновити».

Перевантажити сторінку налаштувань пристрою та переконайтесь, що з'єднання успішно і в рядку статусу є внутрішня IP-адреса пристрою.

Далі потрібно від'єднатися від точки доступу пристрою та підключитися до мережі WiFi.

Налаштування параметрів продовжується на вбудованому WEB сайті пристрою, використовуючи отриману при підключенні IP адресу.

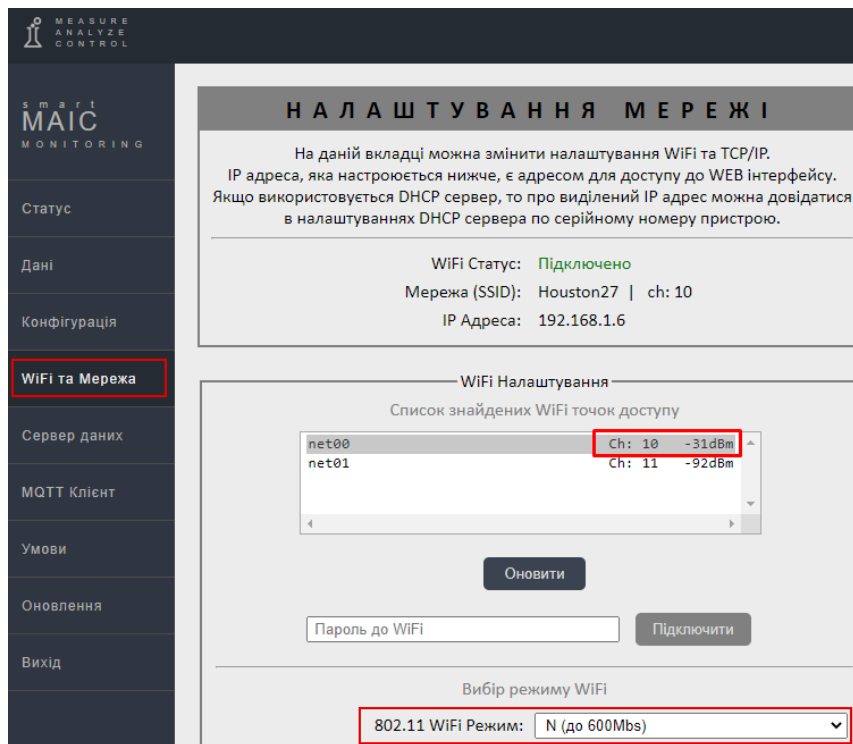


Рисунок 2.4 вкладка налаштувань Wi-Fi та TCP/IP [15]

Для завершення встановлення та підключення пристрою потрібно виконати наступні налаштування параметрів:

У розділі «Конфігурація» вибрати мову WEB інтерфейсу.

Змінити пароль для входу на WEB-інтерфейс пристрою.

Пароль повинен складатися з цифр і мати довжину не більше десяти. Новий пароль дозволить отримати доступ до даних від пристрою, що зберігається на хмарному сервері.

У розділі «Дані» можна встановити початкові значення накопичувальних лічильників.

У розділі «Сервер даних» перевірити підключення пристрою до сервера натиснувши «Перевірити».

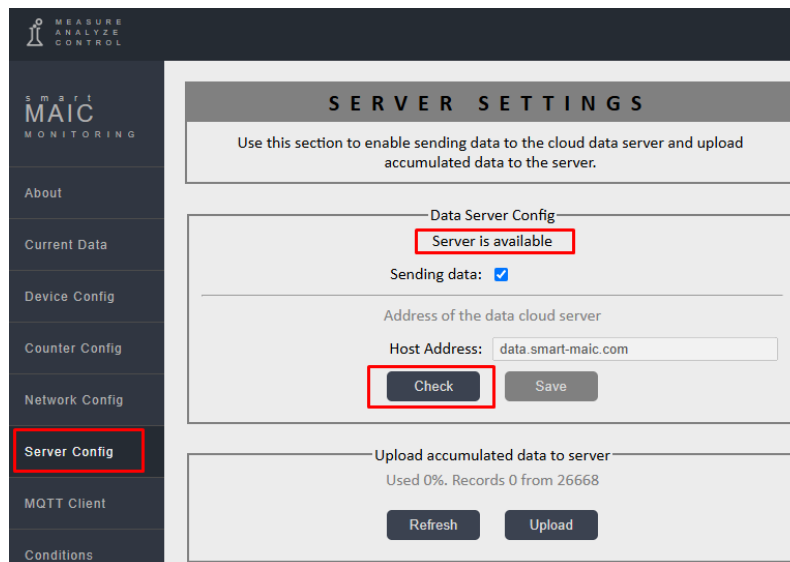


Рисунок 2.5 вкладка налаштувань сервера [15]

У розділі «Статус» ID пристрою. ID пристрою знадобиться для підключення пристрою до «хмарного сервера».

Пристрій передає зібрані дані на хмарний сервер з інтервалом в одну хвилину, забезпечуючи детальну статистику споживання ресурсів. Розширена версія D105 надає додаткові можливості, включаючи режим мотогодинника для обліку часу роботи обладнання, функцію теплолічильника та підтримку протоколу Modbus для інтеграції з промисловими системами автоматизації.

2.2 Побудова структури інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції

Загалом структура інформаційно-вимірювальної системи має наступні елементи:

- Набір давачів
- Контролер для обробки даних з давачів
- Бездротова Wi-Fi мережа
- Хмарне сховище
- Середовище відображення та візуалізації даних

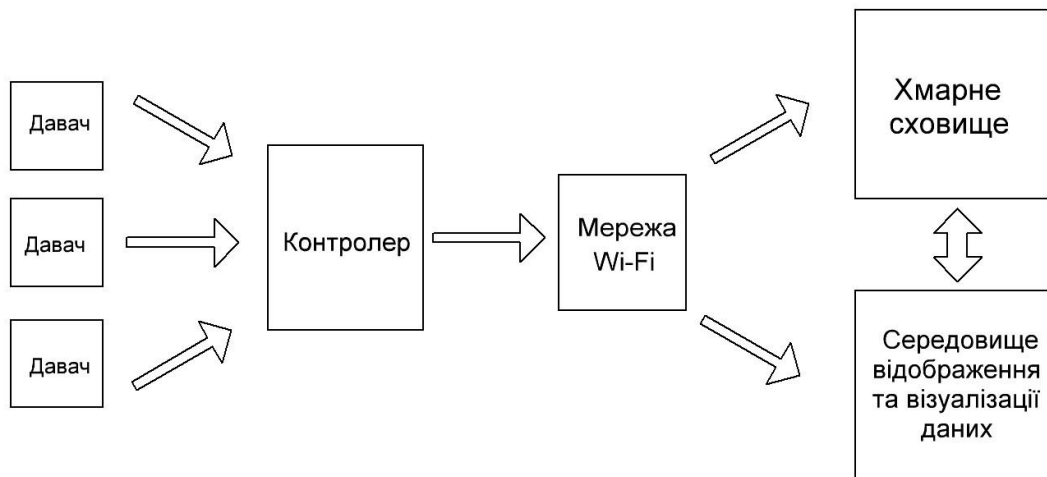


Рисунок 2.6 загальна структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів

Набір давачів, які призначені для вимірювання метеорологічних параметрів, включає первинні перетворювачі різних типів для контролю ключових погодних характеристик, необхідних для метеорологічного забезпечення ФЕС.

Контролер, необхідний для обробки даних з давачів, це центральний елемент системи на базі мікропроцесорної платформи, що забезпечує збір, первинну обробку, аналіз та передачу інформації від всіх підключених давачів.

Бездротова Wi-Fi мережа забезпечує надійний канал зв'язку між контролером та хмарним сховищем даних через існуючу інфраструктуру локальної мережі або спеціально організовану бездротову мережу для безперервної передачі даних.

Середовище відображення та візуалізації даних представляє собою багатокomпонентну систему користувацьких інтерфейсів, що забезпечують візуалізацію метеорологічних даних у вигляді графіків, діаграм, карт та дашбордів.

2.3 Підбір і налаштування базових давачів інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції

2.3.1 Давачі повітря і температури поверхні фотоелектричних модулів.

До smart-МАС D105 можна підключити один давач температури/вологості та атмосферного тиску D280. D280 це цифровий 1-wire давач температури / вологості / атмосферного тиску на з основою сенсора від компанії Bosch – BME280 [16]. Цей давач буде використовуватись для вимірювання температури повітря та давати додаткові дані про показники вологості та атмосферного тиску.

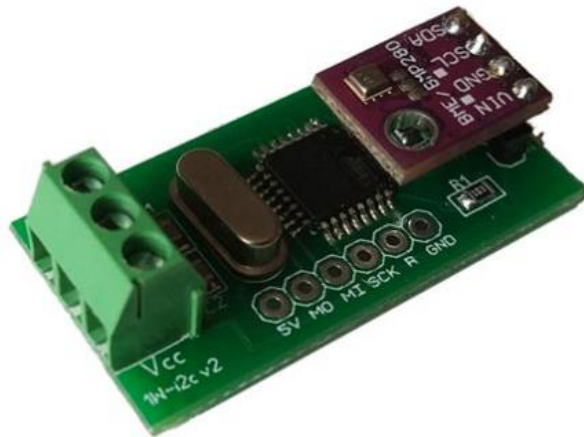


Рисунок 2.7 давач температури/вологості та атмосферного тиску D280 [17]

Технічні характеристики давачів BME280 наведено в наступних таблицях:

Таблиця 2.1. Технічні характеристики давача температури BME280[16]

Діапазон робочих температур	від -40 °C до 85 °C
Точний діапазон вимірювання	від 0 до 65 °C.
Споживання струму	1 мкА
Точність	±0,5 °C від 0 до 65 °C
Роздільна здатність	0,01 °C.

Таблиця 2.2. Технічні характеристики давача вологості[16]

Час відгуку	1 сек (при 25°C)
Точність	±3% (при 25°C)
Діапазон робочих температур	від -40 °C до 85 °C
Максимальний струм споживання давача	2,8 мкА
Роздільна здатність	0,008 %RH

Таблиця 2.3 Технічні характеристики давача тиску[16]

Діапазон робочих температур	від -40 °С до 85 °С
Діапазон робочих температур для точних вимірювань	від 0 до 65 °С
Діапазон робочого тиску	від 300 до 1100 гПа
Максимальний струм споживання давачом	4,2 мкА
Найвища роздільна здатність	18 Па

Температура навколишнього повітря вимірюється за допомогою температурних давачів, розташованих у захисних екранах, які вентилюються для вільного проходження навколишнього повітря. [18]

Давачі повинні мати роздільну здатність $\leq 0,1$ °С і точність ± 1 °С або краще. Давачі слід розміщувати на відстані не менше 1 м від найближчого фотоелектричного модуля і в місцях, де на них не впливатимуть джерела або поглиначі тепла, такі як вихлопи від інверторів або захиснихкожухів обладнання, асфальт, покрівельні матеріали тощо

Вимірювання відносної вологості можна використовувати для оцінки змін у спектрі падаючого світла, які можуть вплинути на вихідну потужність фотомодуля, а також на показання давача освітленості. Дані про вологість разом з даними про температуру також можуть бути використані для розрахунку часу зволоження внаслідок конденсації.

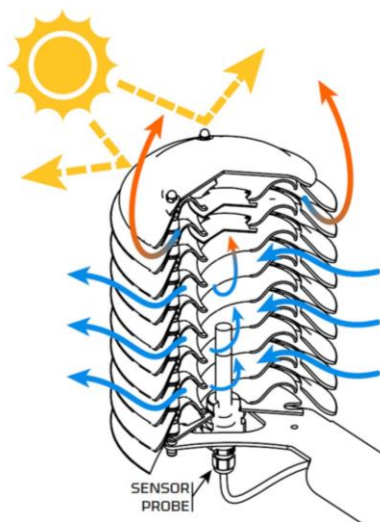


Рисунок 2.8 Зображення захисного екрана [19]

Схема підключення датчика D280[17]:

- Контакт GND датчика підключити до клемки 1: GND (Земля або -5В)
- Середній контакт датчика підключити до клемки 4: Data 1-Wire
- Контакт Vcc датчика підключити до клемки 6: +5В

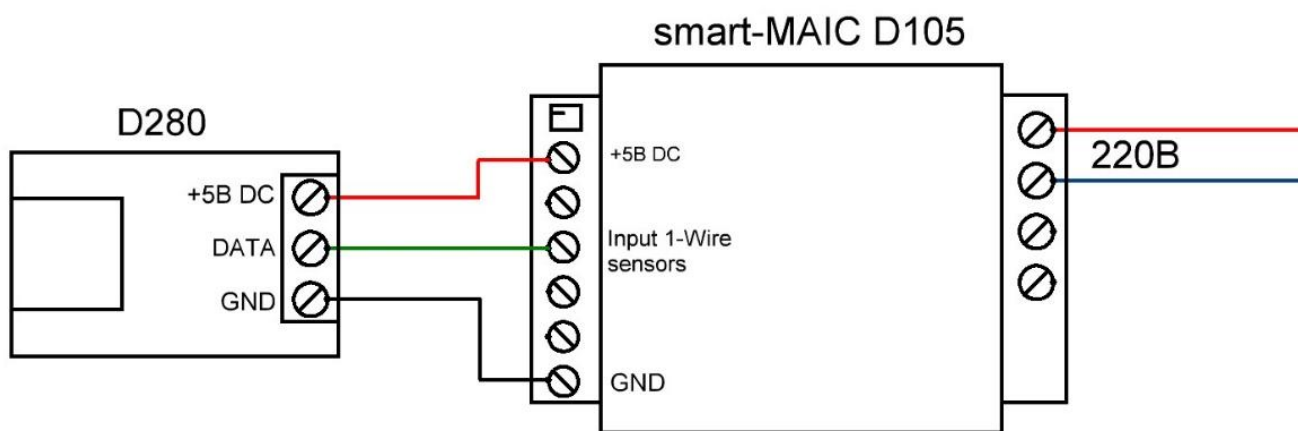


Рисунок 2.9 Схема підключення датчика D280

Після підключення датчика відкрити налаштування пристрою, розділ "Лічильник", вибрати відповідний тип датчика: Температура/Вологість/Тиск (D280) та натиснути "Зберегти".

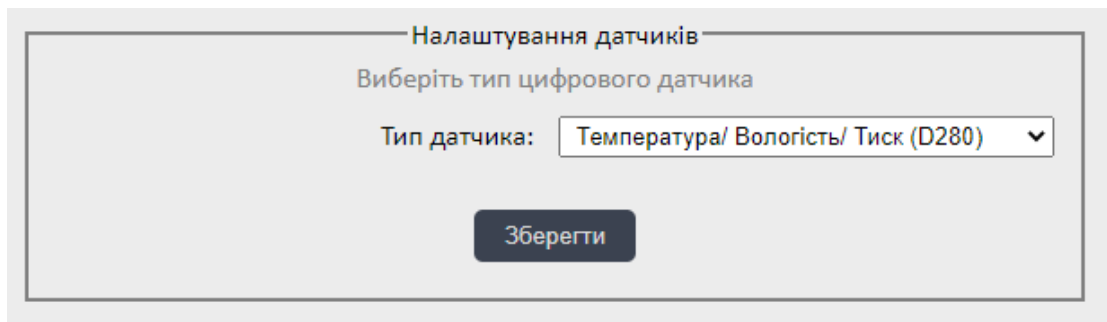


Рисунок 2.10 Інтерфейс вибору датчика температури та вологості D280[17].

Дані датчика зберігатимуться у параметрах:

T1 - температура $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$

T2 - відносна вологість $0 \dots 100\% \text{ RH}$

T3 - атмосферний тиск $300 \text{ гПа} \dots 1100 \text{ гПа}$

Щоб графік не спотворювався при короткочасній втраті зв'язку з датчиком у налаштуваннях віджету треба прописати прості формули:

Для температури:

$$d.T1 < -77 ? ' - -' : d.T1$$

Для вологості:

$$d.T2 < -77 ? ' - -' : d.T2$$

Для атмосферного тиску:

$$d.T3 < -77 ? ' - -' : d.T3$$

Після налаштування пристрою виведення даних на дашборді матиме вигляд як на рисунку



Рисунок 2.11 приклад візуалізації даних на Дашборді з давача D280[17].

2.3.2. Давачі температури ФЕМ

Для вимірювання температури фотоелектричних модулів обрано давач температури DS18b20



Рисунок 2.12 давач температури DS18b20[20]

До універсального лічильника smart-MAC D105 можна під'єднати 5 температурних давачів DS18b20[20].

Технічні характеристики:

- Діапазон напруги живлення: від 3,0 В до 5,5 В
- Вимірює температуру від -55 °C до +125 °

- Точність $\pm 0,5$ °C від -10 °C до +85 °C
- Роздільна здатність термометра вибирається користувачем від 9 до 12 біт Унікальний інтерфейс 1-Wire вимагає лише одного портового контакту для зв'язку
- Можливість багатоточкового підключення спрощує розподілені системи вимірювання температури
- Може жититися від лінії передачі даних

DS18B20 це цифрові 1-wire датчі температури, всі підключаються на один контакт, клема 4.

Максимальна довжина – до 10 метрів.

При підключенні кількох датчів використовується підключення на послідовній шині.

- Чорний (або білий) провід всіх датчів об'єднати та під'єднати до клеми 1: GND (Земля або -5В)
- Червоний провід всіх датчів об'єднати та під'єднати до клеми 6: +5В
- Жовтий (або синій) провід всіх датчів об'єднати та під'єднати до клеми 4: Data 1-Wire

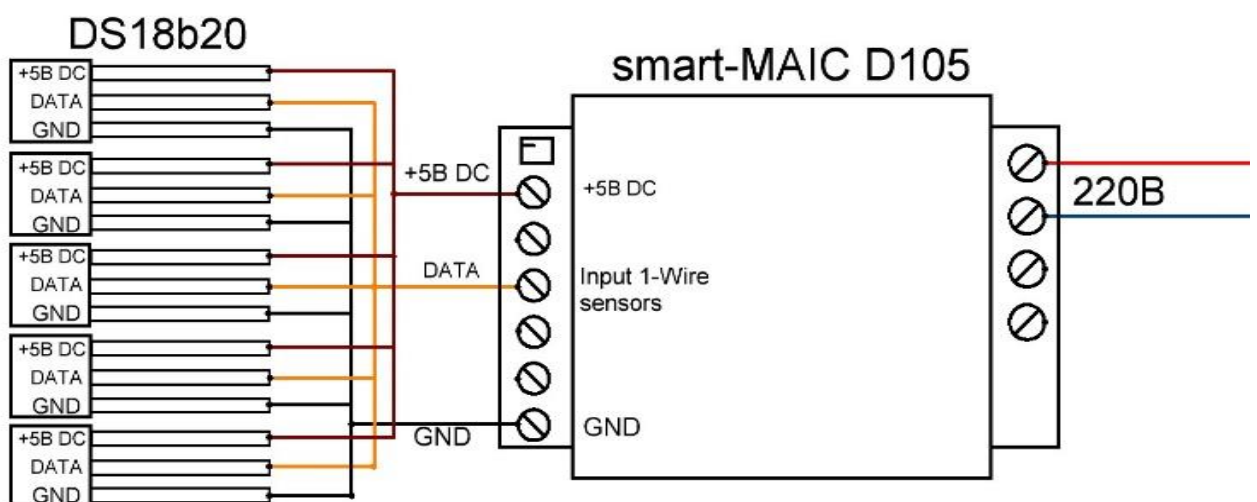


Рисунок 2.13 Схема підключення датчів DS18B20

Після підключення датчиків в налаштуваннях, у розділі Лічильник, потрібно обрати відповідний тип датчиків DS18x20 Температура, далі натиснути «Зберегти». Далі натиснути «Оновити» для пошуку датчиків[20].

Рисунок 2.14 Інтерфейс налаштування датчиків температури[20]

У списку виявлених датчиків для кожного нового елемента призначається потрібний параметр (Т1–Т5) і вказується власна назва. В полі «Підключено» вручну вказується реальну кількість встановлених термодатчиків. Щоб упевнитися в коректній роботі, потрібно відкрити розділ «Дані» та переглянути поточні показники температури. Якщо все відображається правильно в Дашборді налаштовуються віджети.

У разі обриву зв'язку з датчиком система поверне значення «-80». Щоб це не спотворювало графік, у налаштуваннях віджета в розділі «Арифметична операція» потрібно обрати $f(x)$ і ввести формулу:

$$d.T1 < -77 ? ' - -' : d.T1$$

Де d.T1 - це значення параметра температури T1. . T5

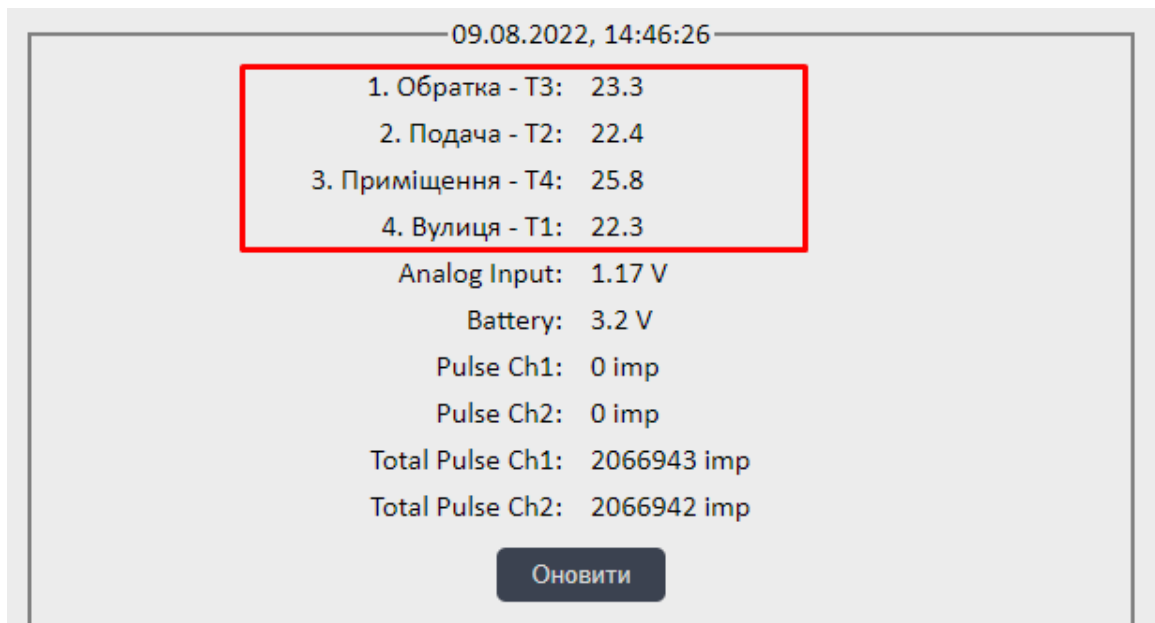


Рисунок 2.15 показання датчиків температури в налаштуваннях присирою[20]

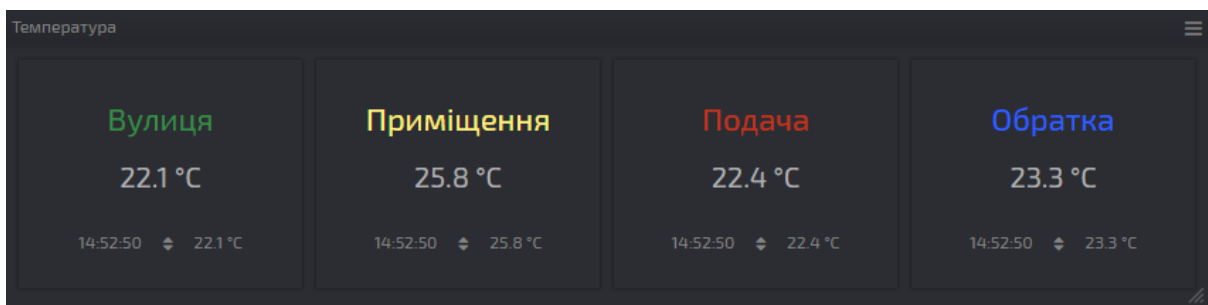


Рисунок 2.16 показання датчиків температури у віджетах[20]

В міжнародному стандарті [18] вказані вимоги до встановлення датчиків вимірювання температури ФЕМ.

Температура фотомодуля вимірюється за допомогою датчиків температури, прикріплених до задньої сторони фотомодуля.



Рисунок 17 – приклад кріплення давача температури фотоелектричного модуля[21]

Для двосторонніх модулів давачі температури та проводка на задній стороні не повинні закривати 10 % площі будь-якої комірки, а проводка повинна бути прокладена між комірками, якщо це можливо. Давачі температури повинні мати роздільну здатність $\leq 0,1$ °C і точність ± 1 °C або краще.

Якщо для прикріплення давача температури до задньої поверхні модуля використовується клей, він повинен бути придатним для тривалого використання на відкритому повітрі в умовах майданчика і повинен бути перевірений на сумісність з матеріалом поверхні на задній панелі модуля, щоб запобігти його руйнуванню під дією клею.

Клей або проміжний матеріал між давачом температури та задньою поверхнею модуля повинен бути теплопровідним. Загальна теплопровідність клею або проміжного шару повинна становити $500 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ або більше, щоб утримувати максимальну різницю температур між задньою поверхнею модуля та давачом температури на рівні приблизно 1 К. Наприклад, цього можна досягти за допомогою теплопровідного клею з теплопровідністю більше $0,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ у шарі товщиною не більше 1 мм.

Клейкі накладки та стрічки повинні бути виготовлені з матеріалів, стійких до впливу температури, вологості та ультрафіолетового випромінювання. Уникайте стрічок, не призначених для кріплення давачів до поверхонь, таких як ізоляційна

стрічка, клейка стрічка, алюмінізована тканинна стрічка, фольгована стрічка або пакувальна стрічка, оскільки вони можуть бути структурно слабкими, а їхній клей має властивість висихати з часом або розтікатися при підвищеній температурі. Відомо, що поліімідні стрічки (наприклад, каптон) схильні до крихкості під впливом ультрафіолетового випромінювання і вологи в присутності кисню (повітря), тому їх слід уникати при довготривалих інсталяціях. Поліестер, ймовірно, є найбільш підходящим матеріалом для накладання, оскільки багато підкладок виготовляються з багат шарового поліестеру, і цей матеріал добре витримує вплив вологи, температури та ультрафіолетового випромінювання. На поліефірні стрічки зазвичай наносять чутливий до тиску силіконовий клей, який рекомендується використовувати.

Використовуючи накладку або стрічку, мінімізуйте повітряні проміжки, наскільки це можливо. Пухирці повітря уповільнюють спрацьовування давача, що негативно впливає на точність вимірювання.

На показники давача температури може впливати вітер, що може призвести до того, що вони будуть нижчими за температуру камери. Для зменшення впливу вітру можна наклеїти на давач термоізоляційну стрічку. Для цього в стандарті передбачено використання стрічки зі спіненої смоли з алюмінієвим покриттям над давачом температури, приклеєної до поверхні задньої панелі фотоелектричного модуля.

2.3.3 Давачі швидкості та напрямку вітру

Давачі швидкості та напрямку вітру передають інформацію по шині RS485, дана шина примітна стійкою роботою на великих відстанях.



Рисунок 2.18 Давачі швидкості вітру та напрямки вітру[22]

Давачі вітру підключаються на вхід розумного лічильника RS485 smart-MAIC D105 G2.

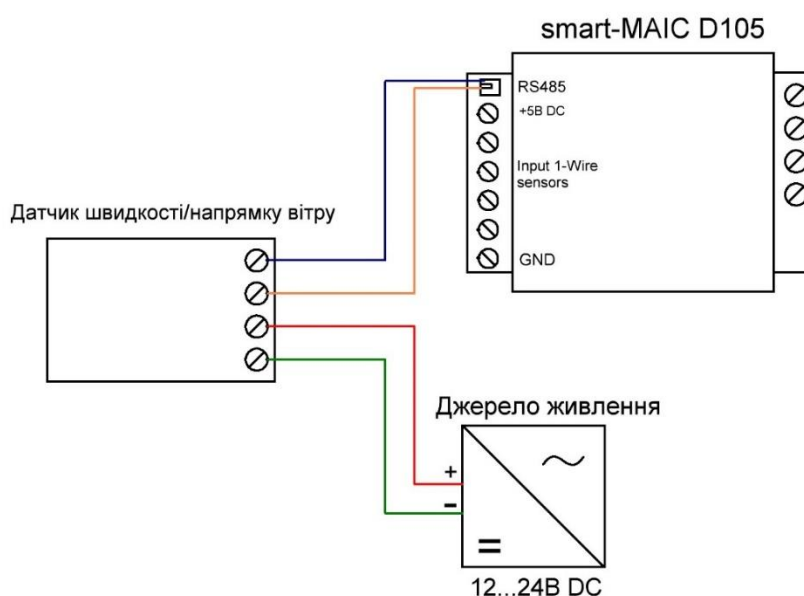


Рисунок 2.19 Схема підключення датчиків вітру

Таблиця 2.4 Технічні характеристики анемометра [22]

Ефективний діапазон вимірювання	від 0,4 до 30 м/с
Точність	±3%
Кут вимірювань	360 градусів
Роздільна здатність	0,1 м/с
Джерело живлення	12-24 В
Інтерфейс зв'язку	RS485 - 1-wire
Робоча температура	-40+50
Робоча вологість	до 100% RH
Рівень захисту	IP45

Таблиця 2.5 Технічні характеристики давача напрямку вітру[22]

Діапазон вимірювань	0-360 градусів
Напруга живлення	9 ... 24В DC
Робоча температура	-20 °С...+80 °С
Інтерфейс зв'язку	RS485
Значення напрямку вітру	0 -16 (0 градусів Північного напрямку)
Похибка	±3%

Підключення відбувається наступним чином:

У налаштуваннях пристрою в меню «Лічильник» у розділі «Налаштування інтерфейсу RS485» потрібно вибрати тип давача вітру: SPEED та/або DIRECTION. Після збереження налаштувань пристрій виконає пошук підключених давачів.

Дані давачів передаються в наступні параметри:

- швидкість вітру в T4;
- Напрямок вітру в T5.

Для давача швидкості вітру даних буде відразу готове значення швидкості в метрах в секунду.

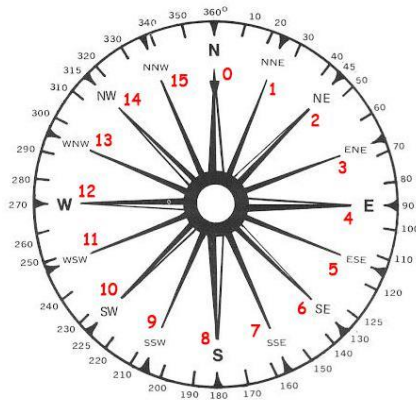


Рисунок 2.20 градація значень напрямку вітру[22]

Давач напрямку вітру генерує цифрові значення в діапазоні від 0 до 15, що відповідає шістнадцяти позиціям навколо повного кола. Ці значення покривають весь азимутальний діапазон 0-360°, де початкова позиція (значення 0) орієнтована строго на північ.

Кожна одиниця виміру давача відповідає кутовому сектору 22,5° (результат ділення 360° на 16 градацій). Таким чином, послідовні показання давача представляють напрямки з інтервалом у 22,5°, починаючи від північного напрямку.

Критично важливим етапом є правильне позиціювання давача відносно географічних координат. Необхідно орієнтувати пристрій таким чином, щоб його нульове положення точно збігалось з північним напрямком. Якщо на корпусі давача є заводська позначка півночі, використовуйте її для орієнтування.

У разі відсутності такої мітки потрібно виконати калібрування вручну: підключити давач до системи моніторингу, повернути його до отримання показання "0" та самостійно нанести відповідну позначку північного напрямку.

Для отримання кутового значення в градусах у налаштуваннях віджета в секції "Арифметичні операції" слід активувати функцію множення та встановити коефіцієнт 22,5. Це забезпечить автоматичне перетворення дискретних значень давача в стандартні кутові градуси

Для відображення напрямку вітру у вигляді традиційних назв румбів (Пн, ПнС, Сх, ПдС тощо) замість числових значень, у розділі "Арифметичні операції" потрібно обрати функцію $f(x)$ та запрограмувати відповідний алгоритм перетворення числових діапазонів у текстові позначення восьмирумбової або шістнадцятирумбової системи:

$d.T2 > 13 ? 'ПнЗ' :$

$d.T2 > 11 ? 'З' :$

$d.T2 > 9 ? 'ПдЗ' :$

$d.T2 > 7 ? 'Пд' :$

$d.T2 > 5 ? 'ПдС' :$

$d.T2 > 3 ? 'С' :$

$d.T2 > 1 ? 'ПнС' : 'Пн';$

Де $d.T2$ - відповідне значення якого прив'язаний давач напрямку вітру в налаштуваннях пристрою.

Давачі вітру можна також під'єднати до аналогового входу ADC (5) пристрою Smart-MAC D105.

Для визначення швидкості вітру на основі показань аналогового давача потрібно встановити математичний зв'язок між вихідною напругою сенсора та фактичною швидкістю повітряного потоку.

Процес калібрування базується на встановленні відповідності між двома основними параметрами: робочим діапазоном швидкостей, які здатен реєструвати давач (припустимо, від 0 до 30 м/с), та діапазоном електричних сигналів на його аналоговому виході (наприклад, від 0 до 5 вольт).

Оскільки більшість сучасних анемометрів демонструють лінійну характеристику перетворення, розрахунок масштабуючого коефіцієнта здійснюється шляхом простого математичного співвідношення. Цей коефіцієнт отримують діленням максимального значення швидкості на максимальне значення напруги в робочому діапазоні.

У наведеному прикладі розрахунок виглядатиме наступним чином: коефіцієнт перетворення дорівнюватиме результату ділення 30 м/с на 5 В, що дасть нам значення масштабування для подальшого програмного перерахунку напруги в одиниці швидкості вітру.

$$K = 30 / 5 = 6$$

У налаштуваннях віджету обираються дані [ADC] Analog, у розділі "Арифметична операція" помножити на 6.

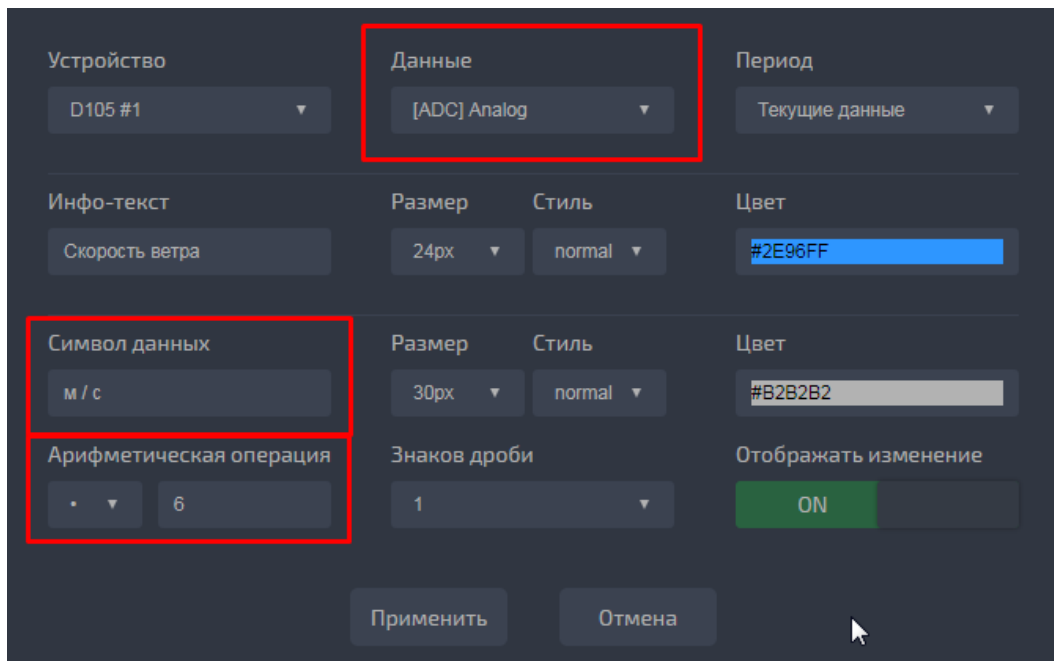


Рисунок 2.21 налаштування віджету анемометра підключеного через аналоговий вхід[22]

Для визначення напрямку вітру використовується аналоговий давач з вихідною напругою 0-5В, що відповідає азимутальному діапазону 0-360°. Нульова напруга калібрується на північний напрямок (0°), для чого давач встановлюється за північною міткою на корпусі. Сенсор має 16 градацій напруги, розподілених рівномірно по колу, що дозволяє розрахувати основні параметри перетворення: кутовий крок 22,5° (360°/16), напруговий крок 0,3125В (5В/16) та коефіцієнт перетворення 72°/В (360°/5В).

$$\text{Крок напруги} = 5\text{В} / 16 = 0.3125\text{В}$$

$$\text{Крок кута напрямку} = 360^\circ / 16 = 22.5^\circ$$

$$\text{Значення напрямку вітру} = \text{ADC} / 0.3125 * 22.5 = \text{ADC} * (22.5 / 0.3125) = \text{ADC} * 72$$

Тобто коефіцієнт перерахунку напруги в кут напрямку дорівнює 72. У налаштуваннях віджету виберемо дані [ADC] Analog, у розділі "Арифметична операція" помножити на 72. [22]

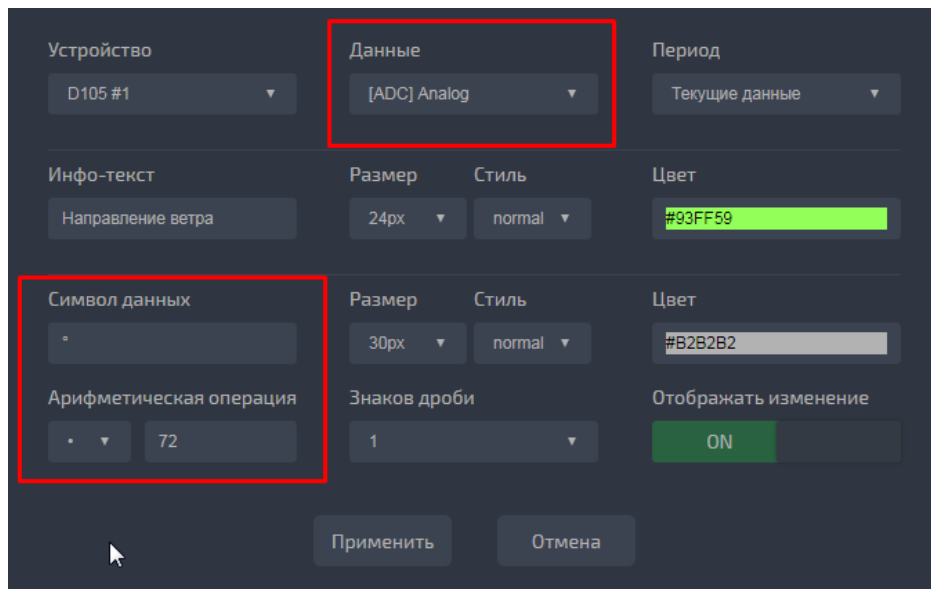


Рисунок 2.22 налаштування віджету давача напряму вітру підключеного через аналоговий вхід [22]

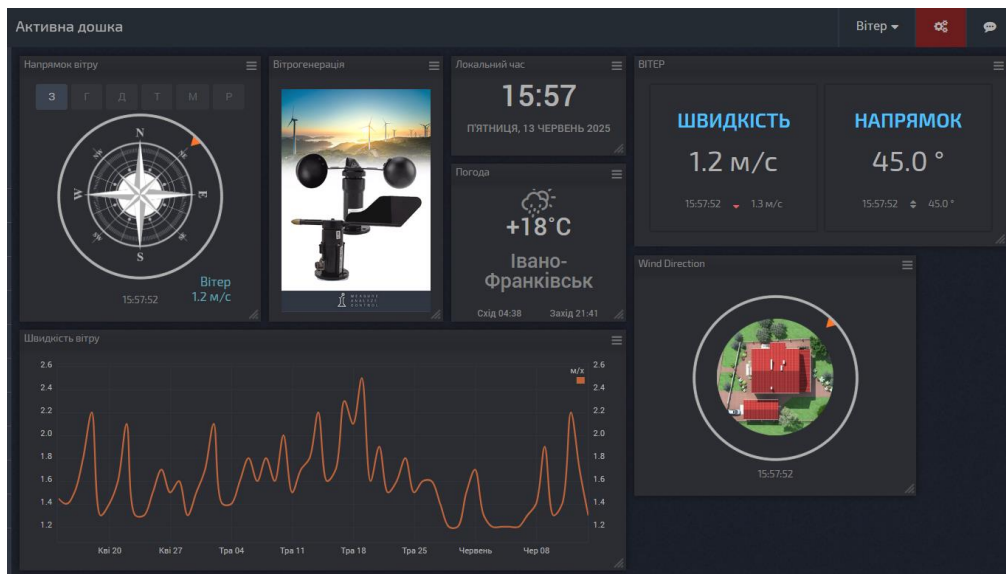


Рисунок 2.23 Дашборд з віджетами прикладами моніторингу швидкості та напрямку вітру[23]

2.3.4 Давачі інтенсивності сонячного випромінювання.



Рисунок 2.23 Давач сонячної радіації[24]

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики давача сонячної радіації[24]

Діапазон сигналу	0-1800 W/m ²
Чутливість	W/m ²
Спектр вимірювання	300-3000nm (0,3-3 мкм)
Вихідний сигнал	0.. 10VDC
Режим живлення	DC 24V
Нелінійність	< 3%
Робоча температура	-40°C.. +60°C
Робоча вологість	0%-100% RH

В міжнародному стандарті [18] вказані вимоги до встановлення давачів сонячної радіації

Розташування передніх давачів вимірювання сонячної радіації повинно бути обрано таким чином, щоб бути репрезентативним і, за можливості, уникати умов затінення від сходу до заходу сонця. Затінення повинно відбуватися тільки протягом півгодини після сходу або заходу сонця, і будь-яке затінення повинно бути задокументоване.

Для вимірювання опромінення давачі повинні підтримуватися на тих самих кутах нахилу та азимуту, що й модулі. Цього можна досягти, розмістивши давачі або безпосередньо на каркасі модуля, або на окремих опорах чи подовжувачах, якщо це можливо.

Давач вимірювання рівня сонячної радіації під'єднується до аналогового входу універсального лічильника D105.

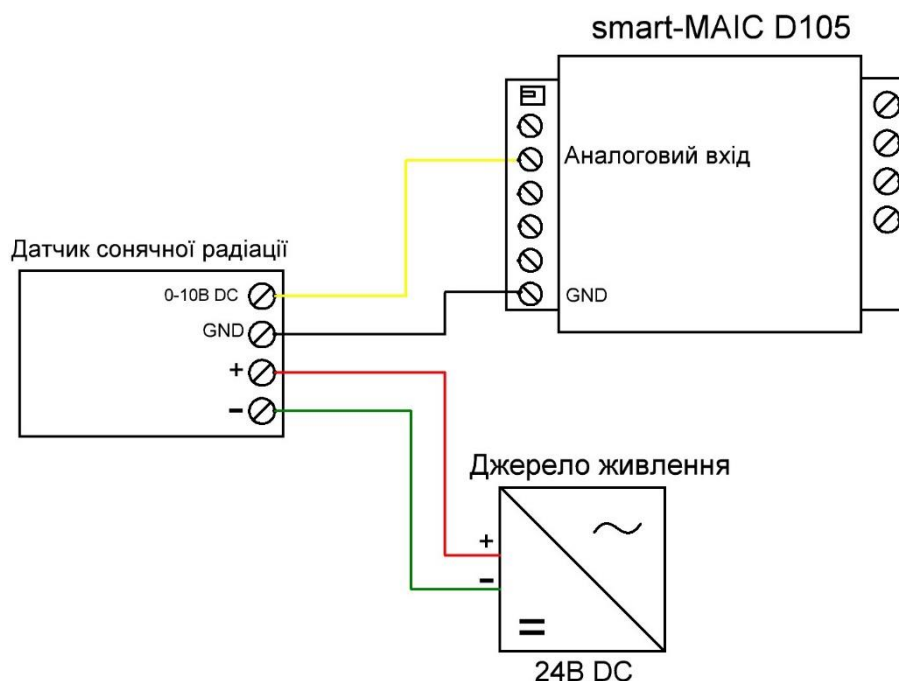


Рисунок 2.24 схема підключення давача вимірювання рівня сонячної радіації до лічильника D105

Також давач сонячної радіації має інтерфейс RS485 Modbus. Підключається до універсального лічильника D105 в розширеній версії, що має режим Modbus Server.

D105 з інтерфейсом RS485 у режимі Modbus Server може приймати дані з давачів та лічильників по протоколу Modbus ASCII через інтерфейс RS485, зберігати дані на хмарному сервері та візуалізувати на дашборді.

Можна підключити до 5-ти давачів з миттєвими значеннями (температура, вологість, тиск, CO₂, напруга) та до 2-х лічильників з накопичувальними значеннями (лічильники води, газу, тепла)

В налаштуваннях пристрою D105 потрібно прописати конфігурацію для режиму Modbus Server[24]

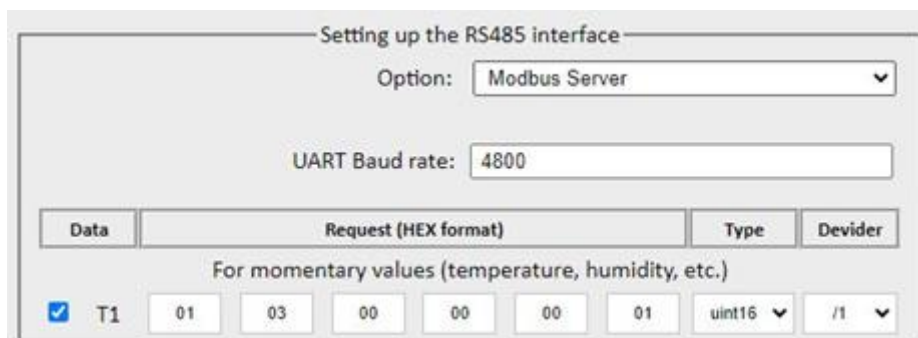


Рисунок 2.24 налаштування режиму Modbus [25]

Але для цього лічильник D105 повинен мати тип ліцензії Extended. Розширена ліцензія для D105 коштує 10€.

2.4 Висновки до розділу

Розділ присвячено створенню фізичної частини системи на базі smart-MAIC D105. Детально описано підбір, підключення та налаштування датчиків для вимірювання температури, вологості, атмосферного тиску, сонячної радіації, швидкості та напрямку вітру.

Розроблено структурну схему системи та визначено всі елементи, які забезпечують повноцінну роботу: датчики, універсальний лічильник D105, інтерфейси підключення та канали зв'язку. Особлива увага приділена стандартам встановлення та точності вимірювань.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СЕРЕДОВИЩА ВІДОБРАЖЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

3.1 Використання хмарного WEB-додатку smart-MAIC Dashboard для побудови середовища відображення та візуалізації даних інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції

Хмарний WEB-додаток smart-MAIC Dashboard – це платформа, що дозволяє зберігати зібрані дані, зручно виводити їх на екран, будувати графіки, відстежувати динаміку, налаштовувати сповіщення.

Дані з датчиків потрапляють у контролер, а він через вбудований модуль Wi-Fi передає всю інформацію на хмарний сервер. У налаштуваннях лічильника

вибирається тип підключеного датчика (наприклад, режим “SPEED” чи “DIRECTION” для вітру), після чого пристрій автоматично читає показники і пересилає їх у хмару.

Після надходження даних у хмарне середовище smart-MAIC вони доступні в Dashboard. Користувач з особистого кабінету отримує доступ до хмарного сервера і може в будь-який момент переглядати як актуальні (реального часу), так і архівні показники. В інформаційних панелях («дашбордах») легко реалізувати відображення даних зі встановлених датчиків. Доступні різні види віджетів: цифрові індикатори, стрілочні шкали, гістограми та лінійні графіки.

3.1.1. Елементи інтерфейсу

Інтерфейс smart-MAIC Dashboard доволі простий. Можна створювати власні панелі, обирати, які саме параметри відображати, змінювати тип графіків – лінійні, гістограми, комбіновані, тощо. Є можливість встановити колірні межі для кожного з параметрів, щоб наочно бачити критичні значення. Наприклад, якщо температура панелей перевищує певний поріг, графік підсвічується червоним.

Дошка – це головне робоче середовище, де користувач спостерігає та аналізує показники. Вся інформація на ній відображається за допомогою віджетів – окремих елементів, які показують значення або графіки. Розміри і розташування віджетів фіксовані, тому дизайн не адаптується автоматично до різних екранів. Щоб дані коректно виглядали на комп’ютері, планшеті чи телефоні, для кожного пристрою слід створити окрему версію дошки з відповідним розміщенням елементів. Зроблені зміни обов’язково потрібно зберігати.



Рисунок 3.1 - інтерфейс smart-MAIC Dashboard «Дошка»

У меню «Пристрої» можна додавати нові пристрої та керувати тими, що вже підключені. Для під'єднання нового пристрою потрібно натиснути «Додати пристрій» та ввести його ID та PIN-код. Останній краще задати при першому запуску через веб-інтерфейс самого пристрою. В налаштуваннях кожного з пристроїв можна змінювати перелік параметрів, які вимірюються, та керувати виходом на зовнішнє навантаження. Якщо видалити пристрій, усі пов'язані з ним віджети на дошці перестануть оновлюватись. Але після повторного додавання пристрою вони знову запрацюють без втрати налаштувань – достатньо оновити дашборд.

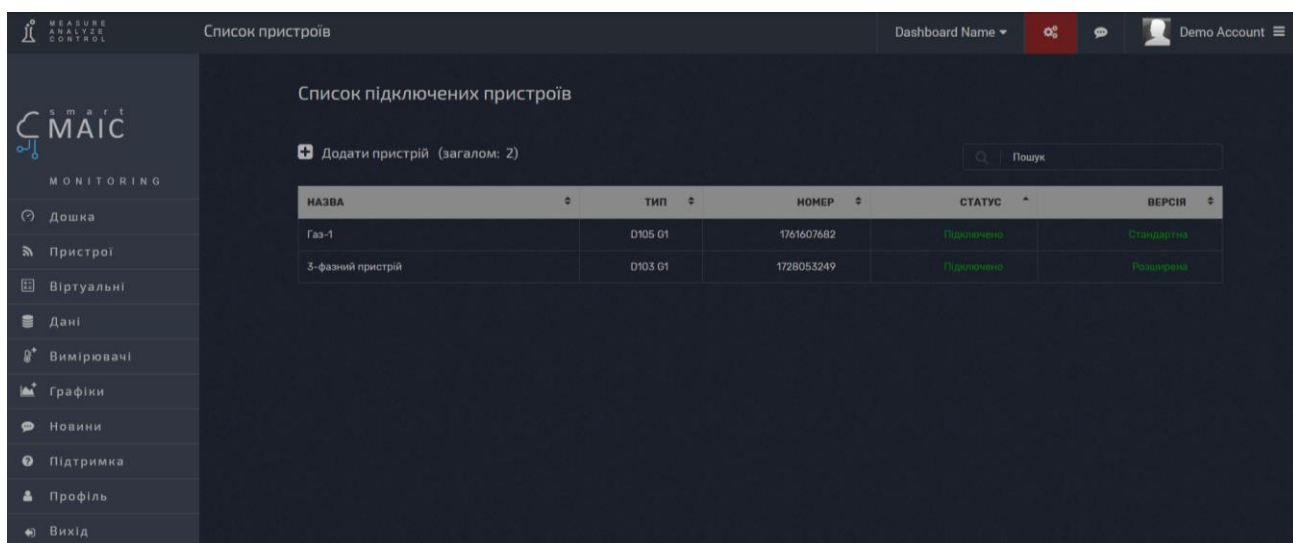


Рисунок 3.2 - інтерфейс smart-MAIC Dashboard «Пристрої»

У розділі «Віртуальне» можна створювати нові розрахункові дані на основі значень з будь-яких пристроїв. Доступні прості арифметичні операції – додавання та віднімання, і можна об'єднувати дані з кількох об'єктів чи ліній. Це зручно, коли потрібно аналізувати загальні витрати або споживання для групи пристроїв.

У розділі «Дані» є можливість переглядати показники за будь-який період та зберігати їх у файл CSV. На екрані одночасно відображається до 100 рядків, а у файл можна експортувати до 1500 рядків даних із хвилинною роздільністю, до 40 днів – з годинною, і без обмежень – для більших інтервалів. Відредагувати можна тільки ті дані, що мають часову прив'язку, і лише через саму платформу. Для масового імпорту або внесення великих обсягів інформації потрібно звертатися до техпідтримки.

Time	V1	A1	W1	rW1	Wh1	rWh1	PF1	V2	A2
2025-06-13 04:00	237.31	2.1	53	0	76664364	0	0.91	238.68	1.44
2025-06-13 03:00	232.82	2	400	0	76664319	0	0.83	240.36	0.57
2025-06-13 02:00	231.97	2.02	408	0	76663919	0	0.84	242.48	0.56
2025-06-13 01:00	229.53	2.71	585	0	76663511	0	0.92	239.45	0.57
2025-06-13 00:00	231.1	3.25	728	0	76662926	0	0.95	238.04	1.06
2025-06-12 23:00	226.73	4.53	992	0	76662198	0	0.95	236.3	0.87
2025-06-12 22:00	222.79	4.83	1040	0	76661206	0	0.95	229.55	0.56
2025-06-12 21:00	222.12	4.68	1009	0	76660166	0	0.95	227.36	0.53
2025-06-12 20:00	228.19	3.78	832	0	76659157	0	0.93	221.71	0.55

Рисунок 3.3 інтерфейс smart-MAIC Dashboard «Дані»

Меню «Вимірювачі» та «Графіки» це набори віджетів для моніторингу даних. «Вимірювачі» для вимірювання в реальному часі, а «Графіки» аналізу архівних даних.

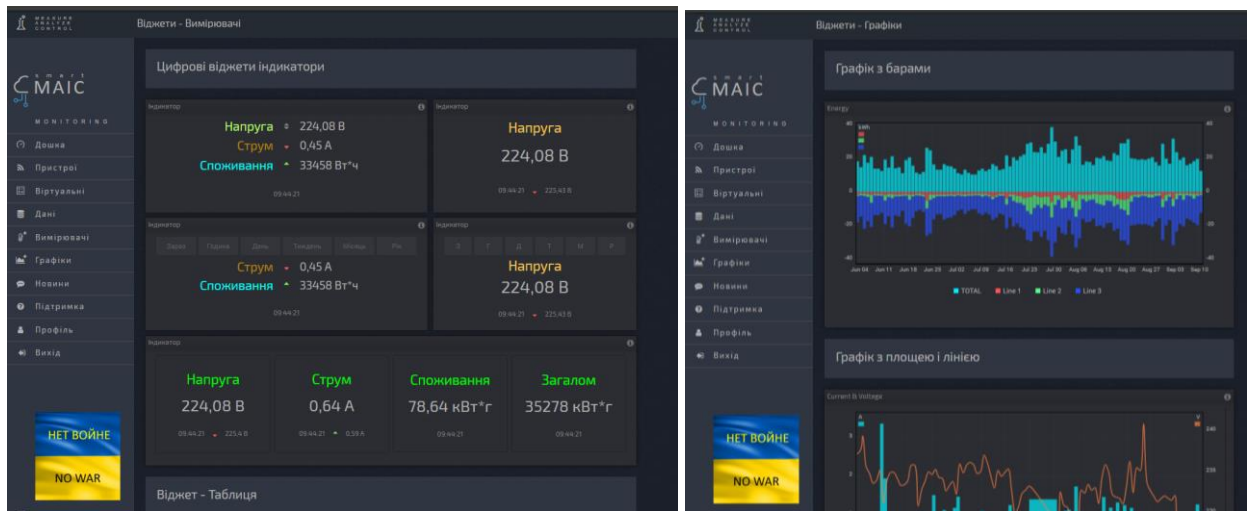


Рисунок 3.4 - інтерфейс smart-MAIC Dashboard «Вимірювачі» та «Графіки»

3.1.2. Розроблення моделі Дашборду

В розділі «Пристрої» потрібно натиснути на пункт «Додати пристрій»

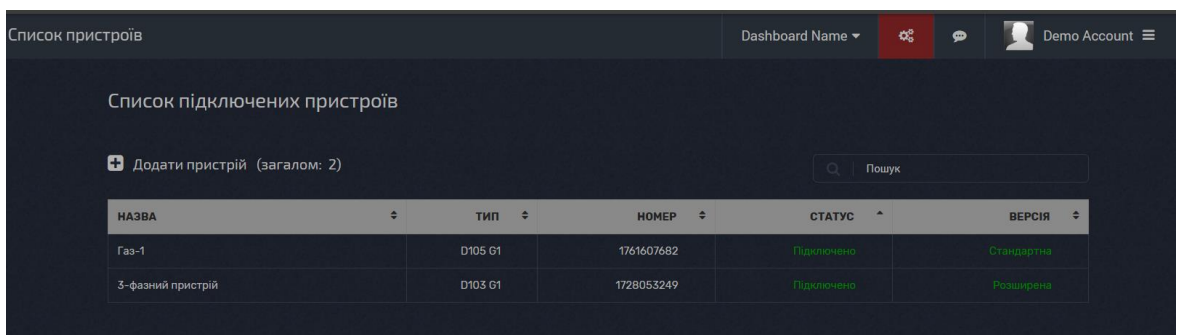


Рисунок 3.5 - інтерфейс smart-MAIC Dashboard «Пристрої»

Після цього з'явиться вікно, в якому потрібно ввести назву та – дані пристрою ID та PIN-код. Після чого пристрій з'явиться у списку підключених пристроїв.

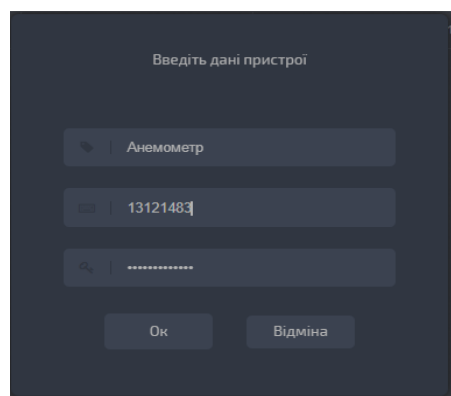


Рисунок 3.6 підключення пристрою до smart-MAIC Dashboard

Для візуалізації даних з пристрою потрібно вивести його на «Дошку» і вказати пристрій для виведення даних.

Щоб відобразити віджет на «Дошці» потрібно натиснути на нього, після цього з'явиться вікно, яке зображено на рисунку. Після натискання «Ок» віджет з'являється на обраній дошці

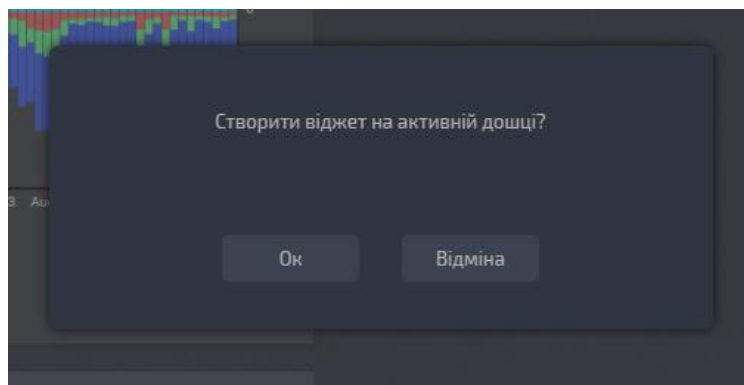


Рисунок 3.7 - додавання віджету на Дошку

Меню налаштування віджетів зображене на рисунку. В розділі «Пристрій» можна обрати підключений пристрій з якого будуть виводитись дані, розділ «Дані» відповідає за вибір типу даних, а в розділі «Період» обираються часові межі виводу даних. Інші налаштування відповідають за персоналізацію віджета згідно бажань і потреб користувача.

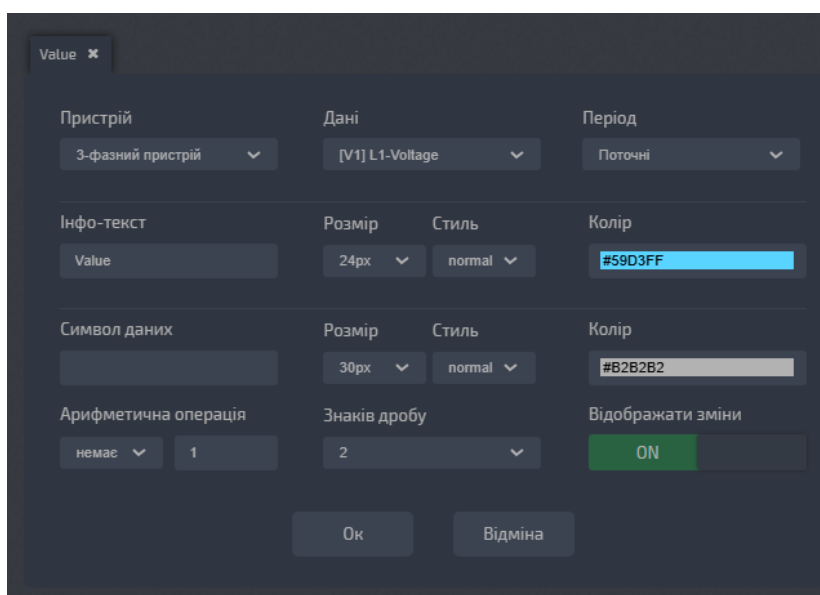


Рисунок 3.8 - Меню налаштування віджету

Віджети на самій дошці також мають можливість персоналізації. Їх можна перетягувати, замінювати, міняти в розмірах, додавати до них кнопки і легенди і тд.

Спроектований приклад дашборду для інформаційно-вимірювальної системи контролю метеорологічних параметрів для функціонування фотоелектричної станції зображено на рисунку.

Дані на віджетах не відповідають дійсним, оскільки відсутній набір приладів для підключення. Тому цей дашборд є тільки прикладом реалізації.

На дашборд виведено віджети які відображають дані, які вимірюються давачами на метеорологічній станції. Візуалізація температури повітря, вологості та тиску з давача D280. Відображення температури п'ятьох ФЕМ завдяки давачам DS18B20. Виведення даних про вітер та інсоляцію та відображення даних у вигляді графіків, протягом різних проміжків часу.



Рисунок 3.9 - Спроектований приклад дашборду

3.2 Висновки до розділу

У цьому розділі реалізовано програмну частину системи – побудову хмарного середовища моніторингу на базі WEB-додатку smart-MAIC Dashboard. Проведено налаштування підключення пристроїв, побудову дашбордів та конфігурацію віджетів для відображення поточних значень метеопараметрів. Забезпечено

можливість виведення даних у зручній формі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни кліматичних умов та потенційні загрози.

ВИСНОВКИ

У першому розділі роботи проведено ґрунтовний огляд існуючих інформаційно-вимірювальних систем для моніторингу метеорологічних параметрів на майданчиках фотоелектричних станцій. З'ясовано, що для оцінки продуктивності ФЕС вирішальну роль відіграють інтенсивність сонячного випромінювання, температура модулів, швидкість і напрямок вітру, а також вологість і атмосферний тиск. Експериментальні дослідження підтвердили, що, наприклад, контроль вітрового охолодження фотомодулів може підвищувати вихідну потужність, тому комплексний моніторинг кліматичних умов є критично важливим. Окрему увагу приділено стандартам встановлення давачів: збереженню мінімальної відстані від модулів, уникненню затінення та застосуванню радіаційних екранів, що гарантує мінімізацію похибок і стабільність отриманих даних.

У другому розділі детально описано апаратну складову розробленої системи на базі інтелектуального контролера smart-MAIC D105. Вибір цього пристрою обґрунтований його універсальністю: він підтримує цифрові інтерфейси 1-Wire і RS485, а також аналогові входи, що дозволяє підключити до п'яти температурних давачів DS18B20, давач D280 для вимірювання температури, вологості та тиску, анемометр і пірометр. Для кожного з цих сенсорів наведено схеми електричного

підключення та алгоритми підключення, що забезпечують коректне зчитування сигналів із заданою періодичністю. Крім того, описано налаштування пристрою для передачі зібраних даних у хмарне сховище із інтервалом у одну хвилину, що дає змогу здійснювати оперативний моніторинг та виявляти відхилення в режимі реального часу.

Третій розділ присвячено розробці середовища відображення і візуалізації зібраних метеоданих із використанням WEB-додатку smart-MAIC Dashboard. Розглянуто процес реєстрації пристроїв у хмарі, створення індивідуальних дашбордів із налаштованими віджетами для кожного параметра, а також алгоритми побудови графіків і інтеграції правил оповіщення при перевищенні критичних значень. Завдяки цьому користувач отримує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє переглядати історичні дані, аналізувати тренди та оперативно реагувати на зміни кліматичних умов.

Загальний висновок полягає в тому, що виконане дослідження продемонструвало можливість створення простої в монтажі, універсальної й масштабованої інформаційно-вимірювальної системи для контролю метеопараметрів на ФЕС. Використання доступного обладнання і хмарного сервісу забезпечує високу точність, гнучкість налаштувань і можливість оперативного реагування на небезпечні погодні явища, що в комплексі сприяє підвищенню ефективності й надійності роботи фотоелектричних станцій.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA). Renewable Capacity Highlights 2024 [Електронний ресурс] / IRENA. – Абу-Дабі : IRENA, 2024. – 28 с. –
Режим доступу: <https://www.irena.org/publications/2024/Jun/Renewable-Capacity-Highlights-2024> (дата звернення: 15.05.2025).
2. ГКД 34.20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (у редакції наказу від 21.06.2019 № 271)
3. S. Dubey, J. N. Sarvaiya, and B. Seshadri, “Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world—a review,” Energy procedia, vol. 33, pp. 311–321, 2013
4. Р. Титко, В.М. Калініченко Відновлювальні Джерела Енергії (досвід Польщі для України).: Навчальний посібник. – Варшава: OWG, 2010 - 530 с
5. Leow W.Z., Irwan Y.M., Irwanto M., Amelia A.R., Safwati I. Influence of wind speed on the performance of photovoltaic panel // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2019. – Vol. 15, № 1. – С. 60–68.
6. Phoenix Contact GmbH & Co KG. Реєстрація метеорологічних даних: Метеорологічна станція – ефективне рішення для реєстрації метеорологічних даних

[Електронний ресурс] // Phoenix Contact. – Режим доступу: <https://surli.cc/mcnoap>
(дата звернення: 16.05.2025)

7. Kaewwongsri K., Silanon K. Design and Implement of a Weather Monitoring Station using CoAP on NB-IoT Network // 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Phuket, Thailand, 2020. – С. 230–233.

8. Meyer E.L., Apeh O.O., Overen O.K. Electrical and meteorological data acquisition system of a commercial and domestic microgrid for monitoring PV parameters [Електронний ресурс] // Applied Sciences. – 2020. – Т. 10, № 24. С. 9092. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/9092> (дата звернення: 16.05.2025).

9. Sharma P., Prakash S. Real Time Weather Monitoring System Using IoT [Електронний ресурс] // ITM Web Conf. – 2021. – Т. 40. – С. 01006. – doi:10.1051/itmconf/20214001006.

10. Ozturk M.C., Dogan B., Yesilyurt M.K. Energy, exergy, sustainability, and economic analyzes of a grid-connected solar power plant consisting of bifacial PV modules with solar tracking system on a single axis [Електронний ресурс] // Science and Technology for Energy Transition. – 2023. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2516/stet/2023015> (дата звернення: 18.05.2025).

11. Smart-MAIC. Розумні лічильники та система моніторингу ресурсів [Електронний ресурс] // Smart-MAIC. – Режим доступу: <https://smart-maic.com/uk/>
(дата звернення: 20.05.2025).

12. Яворський, А. В., Цих, В. С., Карпаш, М. О., & Жовтуля, Л. Я. (2022). Інформаційно-вимірювальна система моніторингу споживання енергоресурсів для будівлі університету. Методи та прилади контролю якості, (2(49)), 46–57. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2\(49\)-46-57](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2(49)-46-57)

13. Smart-MAIC. Приклади підключень та фотозвіт [Електронний ресурс] // Support Smart-MAIC. – Режим доступу: <https://surli.li/swtorl> (дата звернення: 22.05.2025).

14. Smart-MAIC. Інструкція користувача D105 G2 User Manual [Електронний ресурс] // Smart-MAIC. – Режим доступу: <http://smart-maic.com/manual/d105.html> (дата звернення: 22.05.2025).
15. Smart-MAIC. Підключення до бездротової мережі Wi-Fi 2,4 ГГц [Електронний ресурс] // Support Smart-MAIC. – Режим доступу: <https://surl.li/rbncan> (дата звернення: 23.05.2025).
16. Bosch Sensortec GmbH. Humidity sensor BME280: measurements of relative humidity, barometric pressure, ambient temperature [Електронний ресурс] // Bosch Sensortec. – Режим доступу: <https://surl.li/cc/rkpnda> (дата звернення: 24.05.2025).
17. Smart-MAIC support. D105: Підключення датчиків температури, вологості та атмосферного тиску D280 [Електронний ресурс] // Support Smart-MAIC. – 2020. – Режим доступу: <https://surl.li/zotisy> (дата звернення: 24.05.2025).
18. IEC 61724-1:2021 Фотовольтаїчні системи. Моніторинг ефективності. Частина 1: Загальні положення / Міжнародна комісія електротехніки. – Женева: IEC, 2021.
19. Barani Design Technologies. MeteoHelix IoT Pro weather station [Електронний ресурс] // Barani Design. – Режим доступу: <https://surl.li/gqlvhr> (дата звернення: 25.05.2025).
20. Smart-MAIC support. D105: Підключення датчиків температури DS18B20 [Електронний ресурс] // Support Smart-MAIC. – Режим доступу: <https://surl.li/dhkwjq> (дата звернення: 25.05.2025).
21. TrackSo. Surface Module Temperature Sensor MSPT-100 [Електронний ресурс] // TrackSo – Online Store. – Режим доступу: <https://trackso.in/shop/product/surface-module-temperature-mspt-100/> (дата звернення: 25.05.2025).
22. Smart-MAIC support. D105: Підключення датчиків швидкості вітру та напрямку вітру [Електронний ресурс] // Support Smart-MAIC. – Режим доступу: <https://surl.li/djhtmlb> (дата звернення: 25.05.2025).
23. Smart-MAIC Dashboard Demo [Електронний ресурс] // Smart-MAIC. – Режим доступу: <https://dash.smart-maic.com/demo> (дата звернення: 26.05.2025).

24. Smart-MAIC. Давач рівня сонячної радіації [Електронний ресурс] // Store.smart-MAIC. – Режим доступу: <https://surl.li/shkykc> (дата звернення: 27.05.2025).

25. smart-MAIC support. Підключення давача сонячної радіації [Електронний ресурс] // smart-MAIC support. – Режим доступу: <https://surl.lu/iuciei> (дата звернення: 27.05.2025).