

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут інформаційних технологій  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Гнипа Віктора Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5  
(індекс)

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

"Універсальна інформаційно-вимірювальна система моніторингу мережевої фотоелектричної станції"  
(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики

(назва освітньої програми)

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Яворський Андрій Вікторович, канд. техн. наук, доцент

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

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) О. Є. Середюк  
(ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківськ - 2024

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій

О. Є. Середюк

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Гнип Віктор Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Універсальна інформаційно-вимірювальна система моніторингу мережевої фотоелектричної станції

керівник роботи Яворський Андрій Вікторович, канд. техн. наук, доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “24” квітня 2024 року №271/7

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

1. Проаналізувати побудову і функціонування систем моніторингу мережевих фотоелектричних станцій

2. Розробка універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу фес на базі інтелектуальних приладів smart-maic

3. Дослідження роботи універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу фес

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

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтролер</i>	<i>доцент Яворський А.В.</i>		
<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>доцент Миндюк В.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання (відповідно до наказу)	24.04.2024 р.	
2	Розроблення 1 розділу: “Аналіз побудови і функціонування систем моніторингу мережевих фотоелектричних станцій”.	24.04.2024 - 12.05.2024 р.	
3	Розроблення 2 розділу: “Розробка універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу фес на базі інтелектуальних приладів smart-maic”.	13.05.2024 - 23.05.2024 р.	
4	Розроблення 3 розділу: “Дослідження роботи універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу фес”.	24.05.2024 - 06.06.2024 р.	
5	Оформлення роботи.	07.06.2024 - 14.06.2024 р.	

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить 84 сторінок, 35 рисунків, 3 таблицю, 15 джерел.

Об'єктом бакалаврської роботи є процес моніторингу мережевих фотоелектричних станцій з використанням інтелектуальних приладів smart-МАІС.

Мета роботи полягає у вирішенні науково-практичної задачі в галузі відновлювальної енергетики – розробці універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу для оптимізації роботи мережевих фотоелектричних станцій.

У ході виконання бакалаврської роботи було проведено аналіз побудови і функціонування систем моніторингу мережевих фотоелектричних станцій. Вивчено принципи роботи та сфери застосування мережевих ФЕС, а також проаналізовано український ринок мережевих і гібридних інверторів. Розглянуто системи моніторингу від компаній Huawei, Solax, Deye та Fronius, виявлено їхні переваги та недоліки.

Розроблено універсальну інформаційно-вимірювальну систему моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС, розглянуто її апаратну та програмну частини. Змонтовано навчальну мережеву фотоелектричну станцію кафедри, проведено інтеграцію та тестування системи.

Проведено порівняння роботи розробленої системи моніторингу з штатною системою моніторингу Fronius Solar Web.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ,  
SMART-МАІС, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПРИЛАДИ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНА  
ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis contains 84 pages, 35 figures, 3 table, 10 sources.

The object of the bachelor's thesis is the process of monitoring grid-connected photovoltaic stations using smart-MAIC intelligent devices.

The aim of the thesis is to solve a scientific and practical problem in the field of renewable energy – the development of a universal information and measurement monitoring system to optimize the operation of grid-connected photovoltaic stations.

During the bachelor's thesis, an analysis of the construction and functioning of monitoring systems for grid-connected photovoltaic stations was conducted. The principles of operation and application areas of grid-connected photovoltaic stations were studied, and the Ukrainian market of grid-connected and hybrid inverters was analyzed. Monitoring systems from Huawei, Solax, Deye, and Fronius were reviewed, and their advantages and disadvantages were identified.

A universal information and measurement monitoring system based on smart-MAIC intelligent devices was developed, considering its hardware and software components. A training grid-connected photovoltaic station of the department was installed, and the system was integrated and tested.

A comparison was made between the developed monitoring system and the standard Fronius Solar Web monitoring system.

**MONITORING SYSTEM, PHOTOVOLTAIC STATION, SMART-MAIC,  
INTELLIGENT DEVICES, RENEWABLE ENERGY, ENERGY EFFICIENCY**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	10
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ І ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖЕВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ...</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Принцип роботи і сфера застосування мережеских     фотоелектричних станцій</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1.1 Будова мережевої фотоелектричної станції під власне         споживання</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 Сонячна енергетика України, її важливість для     енергосистеми</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3 Аналіз українського ринку мережеских і гібридних інверторів     для побудови ФЕС</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3.1 Мережескі інвертори</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3.2 Гібридні інвертори</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.3 Основні гравці ринку</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.4 Виклики та перспективи ринку</b> .....	<b>21</b>
<b>1.4 Система моніторингу ФЕС від компанії Huawei</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4.1 Основні компоненти системи моніторингу Huawei</b> .....	<b>23</b>
<b>1.4.2 Функції системи моніторингу Huawei</b> .....	<b>23</b>
<b>1.4.3 Програмне забезпечення для моніторингу: FusionSolar</b> ....	<b>24</b>
<b>1.4.4 Приклади використання системи моніторингу Huawei</b> ....	<b>25</b>
<b>1.4.5 Переваги системи моніторингу Huawei</b> .....	<b>25</b>
<b>1.5 Система моніторингу ФЕС від компанії Solax</b> .....	<b>26</b>
<b>1.6 Система моніторингу ФЕС від компанії Deye</b> .....	<b>29</b>
<b>1.7 Система моніторингу ФЕС від компанії Fronius</b> .....	<b>31</b>
<b>1.8 Недоліки в роботі існуючих інформаційно-вимірювальних     систем моніторингу роботи ФЕС</b> .....	<b>33</b>
<b>1.8.1 Приклади недоліків систем моніторингу</b> .....	<b>34</b>
<b>1.9 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи</b> .....	<b>37</b>

<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ФЕС НА БАЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ SMART-МАІС .....</b>	<b>38</b>
<b>2.1 Принцип дії та побудови систем моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС .....</b>	<b>38</b>
2.1.1 Принцип дії системи smart-МАІС .....	38
2.1.2 Архітектура системи smart-МАІС .....	39
2.1.3 Можливості системи smart-МАІС .....	40
2.1.4 Технічні особливості smart-МАІС .....	40
2.1.5 Приклади використання системи smart-МАІС .....	42
2.1.6 Переваги системи smart-МАІС .....	42
2.1.6 Переваги системи smart-МАІС .....	42
2.1.7 Схема підключення СЕС на базі smart-МАІС .....	42
<b>2.2 Навчальна мережева фотоелектрична станція кафедри .....</b>	<b>43</b>
2.2.1 Функціональні можливості СЕС .....	48
2.2.2 Переваги та значення навчальної СЕС .....	49
<b>2.3 Розроблення системи моніторингу мережевої ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС .....</b>	<b>50</b>
2.3.1 Визначення вимог до системи .....	50
2.3.2 Вибір та встановлення інтелектуальних сенсорів .....	50
2.3.3 Інтеграція контролера smart-МАІС .....	51
2.3.4 Налаштування комунікаційного модуля .....	51
2.3.5 Встановлення сервера та програмного забезпечення .....	52
2.3.6 Інтеграція та тестування системи .....	52
2.3.7 Експлуатація та обслуговування .....	53
<b>2.4 Апаратна частина системи моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС .....</b>	<b>53</b>
2.4.1 Основні компоненти апаратної частини .....	54
2.4.2 Функціональні можливості апаратних компонентів .....	53
2.4.3 Інтеграція апаратних компонентів .....	57

2.5 Програмна частина системи моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC .....	57
2.5.1 Основні компоненти програмного забезпечення .....	59
2.5.2 Функціональні можливості програмної частини .....	60
2.5.3 Інтеграція програмної та апаратної частин .....	61
2.6 Висновки до розділу 2 .....	62
<b>РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ФЕС .....</b>	<b>65</b>
3.1 Тестування роботи розробленої роботи універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC .....	65
3.1.1 Мета тестування .....	65
3.1.2 Smart-MAIC Dashboard .....	65
3.1.3 Можливості Smart-MAIC Dashboard .....	66
3.1.4 Візуалізація даних .....	67
3.1.5 Переваги використання Smart-MAIC Dashboard .....	70
3.2 Порівняння роботи розробленої системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC зі штатною системою моніторингу Fronius Solar Web .....	70
3.2.1 Функціональні можливості .....	70
3.2.2 Зручність використання .....	72
3.2.3 Точність даних .....	73
3.2.4 Інтеграція та сумісність .....	77
3.2.5 Переваги та недоліки .....	78
3.3 Висновки до розділу 3 .....	79
3.3.1 Тестування роботи розробленої універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC .....	80

<b>3.3.2 Порівняння роботи розробленої системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС зі штатною системою моніторингу Fronius Solar Web.....</b>	<b>80</b>
<b>3.3.3 Загальні висновки .....</b>	<b>81</b>
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>82</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>83</b>

## **ВСТУП**

### **Актуальність роботи**

На сьогоднішній день розвиток відновлюваної енергетики є пріоритетним завданням для багатьох країн, включаючи Україну. Впровадження фотоелектричних станцій (ФЕС) сприяє зниженню залежності від традиційних джерел енергії та зменшенню негативного впливу на довкілля. Однак, для забезпечення ефективної роботи ФЕС необхідно використовувати сучасні системи моніторингу, які дозволяють контролювати та оптимізувати їхню роботу в режимі реального часу. Зокрема, важливою є розробка універсальних інформаційно-вимірювальних систем моніторингу, які можуть працювати з різними типами обладнання.

### **Мета і задачі дослідження**

Мета роботи полягає у вирішенні науково-практичної задачі в галузі відновлюваної енергетики – розробці універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу для оптимізації роботи мережевих фотоелектричних станцій.

#### **Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:**

- 1) Проаналізувати принципи роботи та сфери застосування мережевих фотоелектричних станцій.
- 2) Дослідити український ринок мережевих та гібридних інверторів.
- 3) Розглянути існуючі системи моніторингу від компаній Huawei, Solax, Deye та Fronius, виявити їхні переваги та недоліки.
- 4) Розробити універсальну інформаційно-вимірювальну систему моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC, розглянути її апаратну та програмну частини.
- 5) Провести інтеграцію та тестування системи на навчальній мережевій фотоелектричній станції кафедри.
- 6) Провести порівняння роботи розробленої системи моніторингу з штатною системою моніторингу Fronius Solar Web.

**Об'єкт дослідження**

Процес моніторингу мережевих фотоелектричних станцій з використанням інтелектуальних приладів smart-МАІС.

**Предмет досліджень**

Визначення енергетичної ефективності мережевих фотоелектричних станцій за допомогою універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу.

**Методи дослідження**

У дослідженні використовувалися методи аналізу і оброблення даних, прийняті в практиці моніторингу та управління роботою фотоелектричних станцій, з використанням сучасних інформаційно-вимірювальних технологій.

**Практичне значення одержаних результатів**

Впровадження універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу на базі smart-МАІС дозволить підвищити ефективність роботи мережевих фотоелектричних станцій, забезпечити точний контроль за їхньою роботою та оптимізувати використання енергетичних ресурсів.

**Апробація роботи**

Основні результати роботи заслуховувалися на XXXVI науково-технічній конференції студентів (2023/2024 н.р.) і зайнятими I призовим місцем.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПОБУДОВИ І ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖЕВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Мережеві фотоелектричні станції (ФЕС) є ключовим елементом у переході до відновлювальної енергетики. Ефективне функціонування таких станцій залежить від точного і своєчасного моніторингу їх роботи. Системи моніторингу відіграють вирішальну роль у забезпеченні максимальної продуктивності, зменшенні часу простоїв та своєчасному виявленні й усуненні несправностей.

#### **1.1 Принцип роботи і сфера застосування мережевих фотоелектричних станцій.**

Мережеві фотоелектричні станції (ФЕС) працюють за принципом перетворення сонячного світла в електричну енергію і подальшої передачі цієї енергії до електричної мережі. Основні етапи роботи включають:

1) Поглинання сонячної енергії: Фотоелектричні модулі (панелі) складаються з фотогальванічних елементів, які поглинають сонячне випромінювання. Кожен елемент складається з напівпровідникових матеріалів, зазвичай кремнію, які генерують електричний струм під впливом світла.

2) Генерація електричного струму: Коли сонячне світло потрапляє на фотоелектричні елементи, воно збуджує електрони, створюючи пару електрон-дірка. Це призводить до утворення електричного поля, яке змушує електрони рухатися, генеруючи постійний струм (DC).

3) Перетворення постійного струму на змінний: Оскільки більшість електричних мереж використовують змінний струм (AC), постійний струм від фотоелектричних модулів подається на інвертори, які перетворюють його на змінний струм.

4) Передача енергії в мережу: Змінний струм передається через трансформатори та інші комутаційні пристрої до електричної мережі, де він може використовуватися для живлення будівель, підприємств або продаватися назад до енергосистеми.

Основні компоненти мережевих ФЕС включають:

1) Фотоелектричні модулі (панелі): Виробляють електричну енергію з сонячного світла.

2) Інвертори: Перетворюють постійний струм від модулів у змінний струм, сумісний з мережею.

3) Системи захисту та управління: Включають захисні реле, автомати, системи контролю і моніторингу, що забезпечують безпечну і стабільну роботу станції.

4) Електрична інфраструктура: Кабелі, трансформатори, розподільчі щити та інші компоненти, необхідні для підключення до електричної мережі.

Мережеві фотоелектричні станції застосовуються в різних галузях, зокрема:

1) Житловий сектор:

- Домашні установки: Власники будинків встановлюють ФЕС на дахах для зменшення витрат на електроенергію та підвищення енергетичної незалежності.

- Житлові комплекси: Великі житлові забудови можуть використовувати спільні фотоелектричні установки для забезпечення електроенергією спільних потреб.

2) Комерційний сектор:

- Офісні будівлі: Компанії використовують ФЕС для зниження витрат на електроенергію і покращення екологічної стійкості.

- Торгові центри: Встановлення ФЕС на дахах великих торгових комплексів дозволяє значно скоротити витрати на енергопостачання.

3) Промисловий сектор:

- Заводи і фабрики: Використання ФЕС для забезпечення

виробничих потреб сприяє зменшенню залежності від традиційних джерел енергії.

- Склади і логістичні центри: ФЕС можуть використовуватись для зниження витрат на електроенергію і підвищення енергоефективності.

4) Сільське господарство:

- Ферми: Використання сонячної енергії для живлення обладнання, зрошувальних систем і інших сільськогосподарських потреб.

- Сільськогосподарські підприємства: Використання ФЕС для забезпечення енергопотреб великих аграрних комплексів.

5) Громадський сектор:

- Школи і університети: Використання ФЕС для освітніх закладів, що сприяє економії коштів і екологічному вихованню студентів.

- Лікарні та інші медичні установи: Використання сонячної енергії для забезпечення надійного енергопостачання медичних закладів.

б) Інфраструктурні проекти:

- Транспортні вузли: Використання ФЕС для освітлення та живлення інфраструктури на залізничних станціях, аеропортах і автостанціях.

- Вуличне освітлення: Використання сонячної енергії для живлення систем вуличного освітлення, що дозволяє знизити витрати на електроенергію в містах.

### **1.1.1 Будова мережевої фотоелектричної станції під власне споживання**

Компоненти мережевої ФЕС

1) Сонячні панелі: Генерують електричну енергію з сонячного випромінювання. Панелі встановлюються на дахах будинків або на землі.

- 2) Інвертор: Перетворює постійний струм (DC), вироблений сонячними панелями, на змінний струм (AC), який використовується в електромережах.
- 3) Моніторингова система: Відстежує продуктивність сонячних панелей і інвертора, а також дозволяє отримувати дані про виробництво та споживання електроенергії.
- 4) Лічильник електроенергії: Реєструє кількість електроенергії, що передається в мережу і отримується з неї.
- 5) Електрична мережа: Підключення до загальної електричної мережі для передачі надлишкової енергії та отримання енергії, коли виробництво недостатнє.



Рисунок 1.1 – Схема мережевої сонячної електростанції під власне споживання

Забезпечення автономності за допомогою сонячної електростанції має наступні переваги:

- 1) Доступність джерела та легкість впровадження технології;
- 2) Безпечне використання як для приватних будинків, так і для бізнесу;
- 3) Великий вибір обладнання та готових комплектів сонячних електростанцій;
- 4) Можливість модернізації та збільшення потужності станції під час експлуатації;

- 5) Зменшення залежності від загальної електромережі;
- 6) Економія коштів завдяки зниженню споживання електроенергії з мережі;
- 7) Можливість заробітку за "зеленим тарифом", продаючи надлишок електроенергії;
- 8) Тривалий термін служби — якісна мережева сонячна електростанція для будинку може служити понад 30 років;
- 9) Мінімальні витрати на обслуговування;
- 10) Вигідна інвестиція — різні типи систем окупаються протягом 3,4 років

## **1.2 Сонячна енергетика України, її важливість для енергосистеми.**

Сонячна енергетика є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку відновлюваних джерел енергії в Україні. З 2014 року в країні спостерігається значне зростання кількості сонячних електростанцій (СЕС). За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, на початок 2023 року встановлена потужність СЕС перевищувала 7,4 ГВт, що становить значну частку в загальному енергетичному балансі країни.

Сонячна енергетика відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки та незалежності України. Це обумовлено кількома факторами:

- 1) Зниження залежності від імпорту енергоресурсів: Розвиток СЕС сприяє зменшенню імпорту традиційних енергоресурсів, таких як газ та вугілля.
- 2) Екологічні переваги: Використання сонячної енергії зменшує викиди парникових газів та інших шкідливих речовин в атмосферу, що позитивно впливає на екологічну ситуацію.
- 3) Економічний розвиток: Інвестиції в сонячну енергетику сприяють розвитку інфраструктури, створенню нових робочих місць та залученню іноземного капіталу.

### Приклади сонячних електростанцій

СЕС «Північний»: Ця станція, розташована в Херсонській області, має потужність 50 МВт. Її щорічне виробництво електроенергії становить близько 60 млн кВт·год, що дозволяє забезпечити електроенергією понад 20 тисяч домогосподарств.

СЕС «Дніпро»: Розташована у Дніпропетровській області, станція має встановлену потужність 40 МВт і виробляє близько 55 млн кВт·год електроенергії на рік.

СЕС «Кам'янець-Подільський»: З потужністю 63 МВт ця станція є однією з найбільших в Україні. Вона виробляє більше 75 млн кВт·год електроенергії щорічно.



Рисунок 1.2 – СЕС «Північний» потужністю 50МВт

Незважаючи на значні досягнення, розвиток сонячної енергетики в Україні стикається з певними викликами, які потребують уваги та вирішення для подальшого сталого зростання цього сектора.

Однією з головних перепон для розвитку сонячної енергетики в Україні є нестабільність та непрозорість законодавчої бази. Для залучення інвесторів необхідні чіткі, передбачувані та стабільні правові умови, які гарантують захист інвестицій та забезпечують прозорість ринку. Це включає:

- 1) Прозорі правила гри: Законодавство повинно бути ясным та стабільним, щоб інвестори могли планувати довгострокові проекти без ризику раптових змін у правилах.
- 2) Стимулюючі заходи: Необхідно розробити та впровадити інструменти підтримки, такі як податкові пільги, субсидії та гарантії на закупівлю електроенергії за "зеленим" тарифом.
- 3) Регуляторна підтримка: Ефективне регулювання, яке сприяє швидкому та безперешкодному підключенню нових СЕС до мережі, а також захищає права інвесторів та споживачів.

Для ефективного інтегрування великих обсягів сонячної енергії в національну енергосистему необхідна модернізація існуючої інфраструктури:

- 1) Оновлення електромереж: Сучасні мережі повинні бути адаптовані для роботи з відновлюваними джерелами енергії. Це вимагає модернізації трансформаторних підстанцій, ліній електропередач та інших елементів інфраструктури.
- 2) Розумні мережі (smart grids): Впровадження інтелектуальних мереж дозволить ефективніше керувати потоками енергії, забезпечуючи баланс між виробництвом та споживанням. Це зменшить ризики перенавантаження мереж та сприятиме стабільній роботі системи.
- 3) Зберігання енергії: Розвиток технологій зберігання енергії, таких як акумуляторні системи, дозволить зберігати надлишкову енергію, вироблену в сонячні дні, для використання у періоди низької генерації.

Залучення інвестицій є ключовим для реалізації великих проектів у сфері сонячної енергетики:

- 1) Інвестиційні фонди та кредити: Важливо створити сприятливі умови для доступу до фінансових ресурсів, зокрема за рахунок спеціалізованих інвестиційних фондів та кредитних програм з низькими процентними ставками.

- 2) Підтримка міжнародних фінансових інституцій: Співпраця з міжнародними фінансовими організаціями, такими як Світовий банк та Європейський банк реконструкції та розвитку, може забезпечити необхідні кошти та експертизу для реалізації великих проектів.
- 3) Ризик-менеджмент: Необхідно розробити механізми для зниження інвестиційних ризиків, такі як страхування ризиків та державні гарантії, що зробить інвестиції в сонячну енергетику більш привабливими.

Сонячна енергетика є ключовим елементом стратегії енергетичної незалежності та екологічного розвитку України. Зростання встановлених потужностей сонячних електростанцій, підтримка державних програм та сприятливе інвестиційне середовище сприяють подальшому розвитку цього сектора. У майбутньому сонячна енергетика може стати основним джерелом чистої енергії для країни, забезпечуючи стабільний і екологічно безпечний розвиток

### **1.3 Аналіз українського ринку мережевих і гібридних інверторів для побудови ФЕС.**

Український ринок фотоелектричних станцій (ФЕС) активно розвивається завдяки сприятливим кліматичним умовам та державній підтримці у формі "зеленого" тарифу. Важливою складовою ефективної роботи ФЕС є вибір інверторів, які відповідають сучасним вимогам щодо надійності, ефективності та функціональності. Існують два основні типи інверторів для ФЕС: мережеві та гібридні.

#### **1.3.1 Мережеві інвертори**

Мережеві інвертори використовуються в системах, які підключені до

загальної електричної мережі. Їх основні функції:

1) Перетворення постійного струму (DC) в змінний струм (AC): Фотоелектричні панелі генерують постійний струм, який мережеві інвертори перетворюють у змінний струм, сумісний з електричною мережею.

2) Синхронізація з електромережею: Інвертор синхронізує частоту і фазу вихідного струму з параметрами мережі, забезпечуючи безперебійну передачу енергії.

3) Максимізація потужності (MPPT): Використання технології Maximum Power Point Tracking (MPPT) для забезпечення максимальної потужності від фотоелектричних модулів.

### **1.3.2 Гібридні інвертори**

Гібридні інвертори поєднують функції мережевих інверторів і інверторів для систем зберігання енергії. Основні їх функції:

1) Перетворення постійного струму в змінний струм: Як і мережеві інвертори, гібридні інвертори перетворюють DC в AC.

2) Управління системами зберігання енергії: Гібридні інвертори можуть керувати акумуляторами, забезпечуючи їх зарядку і розрядку залежно від потреб.

3) Автономна робота: Забезпечення живлення об'єкта в разі відключення центральної мережі.

4) Оптимізація споживання енергії: Максимізація використання власної генерації і мінімізація споживання з мережі.

### **1.3.3 Основні гравці ринку**

Український ринок інверторів представлений як міжнародними, так і місцевими виробниками. До основних гравців належать:

1) Huawei: Пропонує широкий асортимент мережевих та гібридних інверторів з високою ефективністю.

2) Solax: Відомі своїми надійними і ефективними інверторами для різних застосувань.

3) Solis: Спеціалізуються на інверторах з оптимізаторами потужності для максимізації продуктивності.

4) Fronius: Пропонують як мережеві, так і гібридні інвертори, відомі своєю якістю і довговічністю.

5) Deye: один з найпопулярніших виробників гібридних інверторів на ринку

### **1.3.4 Виклики та перспективи ринку**

Основні виклики українського ринку інверторів включають:

- 1) Економічна нестабільність: Впливає на інвестиції в ФЕС.
- 2) Ринкові бар'єри: Висока конкуренція і технологічні вимоги.
- 3) Інфраструктура: Потреба в модернізації електричних мереж для інтеграції ВДЕ.

Проте перспективи залишаються позитивними завдяки:

- 1) Державній підтримці: Програми стимулювання розвитку ВДЕ.
- 2) Зростаючій обізнаності: Підвищення інтересу до енергоефективних технологій.
- 3) Інноваціям: Розробка нових технологій та продуктів.

Український ринок мережевих і гібридних інверторів для ФЕС є різноманітним і динамічним. Вибір між мережевими та гібридними інверторами залежить від специфічних потреб проекту, економічних міркувань та функціональних вимог. Мережеві інвертори є оптимальними для систем, що працюють в умовах стабільної мережі і спрямовані на максимізацію виробництва електроенергії. Гібридні інвертори підходять для систем, які вимагають додаткової гнучкості та незалежності від мережі.

## 1.4 Система моніторингу ФЕС від компанії Huawei.

Система моніторингу сонячної електростанції (СЕС) – це комплекс програмних та апаратних засобів, призначених для контролю, аналізу та управління роботою сонячних електростанцій. Основною метою такої системи є забезпечення максимальної ефективності та надійності роботи СЕС шляхом постійного спостереження за її параметрами та оперативного реагування на будь-які відхилення чи несправності.

Компанія Huawei є одним з провідних постачальників обладнання для фотоелектричних станцій (ФЕС), включаючи інвертори та системи моніторингу. Їхні рішення відомі високою ефективністю, надійністю та інноваційними технологіями, що дозволяють оптимізувати роботу ФЕС. Система моніторингу від Huawei дозволяє власникам і операторам ФЕС відстежувати продуктивність станції в режимі реального часу, виявляти та вирішувати проблеми, а також аналізувати дані для підвищення ефективності.

Маючи доступ до онлайн-кабінету, який підключений до всіх станцій, ми можемо моніторити всі показники роботи сонячної установки:

- 1) Вольт-амперні характеристики,
- 2) Графіки виробництва електроенергії,
- 3) Ефективність роботи всієї станції та окремих інверторів.

Розуміючи загальну вартість станції, онлайн-кабінет дозволяє оцінити ефективність вкладених коштів. Цей комплекс показників дозволяє оцінити, наскільки коректно працює станція, виконуючи часткове сервісне обслуговування.

Правильні налаштування онлайн-кабінету дають змогу отримувати оперативні повідомлення про некоректні показники через електронну пошту або SMS.

### 1.4.1 Основні компоненти системи моніторингу Huawei

Система моніторингу Huawei складається з кількох основних компонентів:

1) Інвертори: Основний елемент, який перетворює постійний струм (DC), вироблений фотоелектричними панелями, в змінний струм (AC). Інвертори Huawei також виконують функції моніторингу та збору даних.

2) Data Logger: Пристрій, який збирає дані з інверторів і сенсорів, передаючи їх на сервер для подальшого аналізу.

3) Комунікаційні модулі: Забезпечують зв'язок між інверторами, Data Logger і сервером.

4) Сервер: Центральний вузол, де зберігаються і обробляються дані.

5) Програмне забезпечення для моніторингу: Інтерфейс, який дозволяє користувачам відстежувати стан ФЕС, аналізувати дані і генерувати звіти.

### 1.4.2 Функції системи моніторингу Huawei

Система моніторингу Huawei має ряд функцій, які роблять її ефективним інструментом для управління ФЕС:

1) Реальний час моніторинг: Відстеження продуктивності системи в режимі реального часу через веб-портал або мобільний додаток.

2) Збір даних і аналітика: Збір детальних даних про роботу інверторів, панелей і всієї системи. Аналіз даних для виявлення аномалій та підвищення ефективності.

3) Виявлення і діагностика помилок: Автоматичне виявлення несправностей і відправлення сповіщень користувачам.

4) Звіти і візуалізація даних: Генерація звітів про продуктивність і візуалізація даних у вигляді графіків і діаграм.

5) Віддалене управління: Можливість віддаленого управління інверторами і налаштуваннями системи.

### 1.4.3 Програмне забезпечення для моніторингу: FusionSolar

Huawei пропонує платформу FusionSolar для моніторингу ФЕС. Основні можливості FusionSolar включають:

- 1) Веб-портал і мобільний додаток: Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для доступу до даних системи з будь-якого пристрою.
- 2) Дашборди: Налаштовувані дашборди для відображення ключових показників продуктивності.
- 3) Аналіз продуктивності: Детальний аналіз продуктивності кожної панелі і інвертора.
- 4) Сповіщення про помилки: Налаштування сповіщень про помилки і несправності через SMS, електронну пошту або мобільний додаток.
- 5) Звіти: Автоматичне генерування звітів для аналізу продуктивності і прийняття рішень.

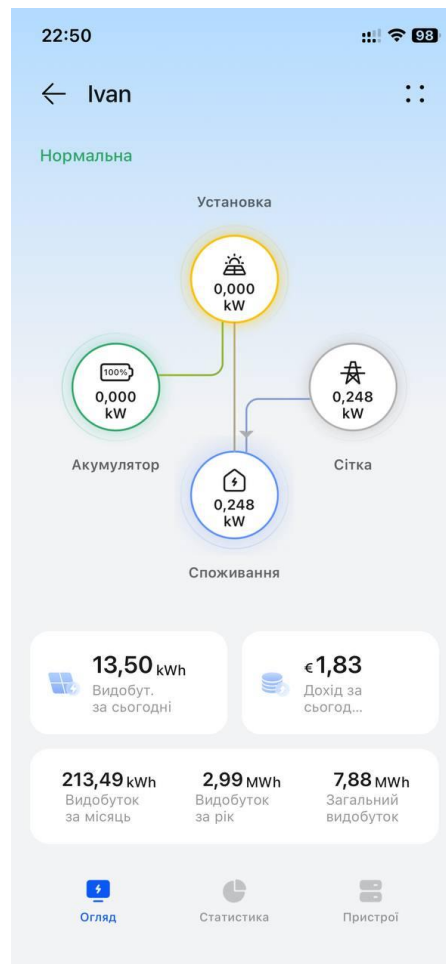


Рисунок 1.3 – Додаток Fusion Solar на мобільному пристрої

На рисунку 1.3 наведено ілюстрацію застосування додатку Fusion Solar, який надає користувачу зручний засіб для моніторингу стану сонячної енергетичної системи. Цей додаток дозволяє користувачеві в реальному часі отримувати інформацію про поточний статус системи, таку як потужність генерації, рівень заряду акумулятора, обсяг споживання навантаження та інші важливі параметри. Використання додатку Fusion Solar робить процес моніторингу більш доступним та зручним для кінцевого користувача, дозволяючи йому ефективно керувати та контролювати роботу сонячної енергетичної системи.

#### **1.4.4 Приклади використання системи моніторингу Huawei**

1) Приватні домогосподарства: Власники домашніх ФЕС можуть використовувати систему FusionSolar для відстеження виробництва електроенергії і оптимізації використання енергії.

2) Комерційні установки: Підприємства можуть забезпечити ефективне управління великими ФЕС, отримуючи детальні звіти і виявляючи можливості для підвищення продуктивності.

3) Промислові об'єкти: Великі промислові ФЕС можуть використовувати систему для моніторингу і управління складними установками, забезпечуючи безперебійну роботу і мінімізацію витрат.

#### **1.4.5 Переваги системи моніторингу Huawei**

1) Висока надійність: Використання надійного обладнання і програмного забезпечення для безперебійного моніторингу.

2) Інноваційні технології: Використання передових технологій для збору, аналізу і візуалізації даних.

3) Гнучкість і масштабованість: Система може бути легко адаптована

для різних типів установок і масштабів ФЕС.

4) Економічна ефективність: Оптимізація роботи ФЕС дозволяє знизити експлуатаційні витрати і підвищити доходи від виробництва електроенергії.

Система моніторингу ФЕС від компанії Huawei є потужним інструментом для ефективного управління фотоелектричними станціями. Завдяки сучасним технологіям, високій надійності та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу, вона дозволяє забезпечити максимальну продуктивність і мінімізувати витрати на обслуговування. Використання системи FusionSolar дає можливість власникам і операторам ФЕС оперативно реагувати на несправності, аналізувати дані та приймати обґрунтовані рішення для оптимізації роботи системи.

### **1.5 Система моніторингу ФЕС від компанії Solax.**

Система моніторингу Solax, як і система Huawei, надає широкі можливості для моніторингу та управління сонячною енергетичною системою. Обидві системи дозволяють користувачам в реальному часі відстежувати різноманітні параметри, такі як потужність генерації, рівень заряду акумулятора, споживання навантаження та інші ключові дані.

Проте, у порівнянні з системою Huawei, візуальний дизайн інтерфейсу системи моніторингу Solax може виглядати застарілою. Незважаючи на це, важливо підкреслити, що вигляд інтерфейсу не завжди відображає функціональність і ефективність системи. Система моніторингу Solax все ще забезпечує користувачам доступ до важливої інформації та можливість керування їхніми сонячними енергетичними системами.

Отже, хоча інтерфейс системи моніторингу Solax може виглядати менш сучасним у порівнянні з Huawei, вона все ще може ефективно виконувати свої функції та задовольняти потреби користувачів у моніторингу сонячної енергії.



Рисунок 1.4 - Система моніторингу Solax

Можливість налаштування великого переліку параметрів у системі моніторингу Solax є важливою перевагою для інсталяторів. Це надає їм широкі можливості для максимально ефективного налаштування сонячної енергетичної системи (СЕС) з урахуванням конкретних потреб та умов експлуатації.

Завдяки великому переліку налаштувань, інсталятори можуть:

- 1) Оптимізувати продуктивність: Налаштування параметрів, таких як напруга, струм, час заряду та розряду акумуляторів, дозволяє досягти максимальної ефективності генерації енергії та збереження її для подальшого використання.
- 2) Підтримувати оптимальний рівень роботи: Інсталятори можуть налаштовувати режими роботи системи в залежності від поточних умов, таких як погода, сезонні зміни та споживання електроенергії, забезпечуючи оптимальний рівень продуктивності.
- 3) Вдосконалювати безпеку та надійність: Налаштування параметрів безпеки та захисту дозволяє забезпечити надійну роботу СЕС і попередити можливі негативні наслідки, такі як перенапруга, коротке

замикання тощо.

Отже, доступ до великого переліку налаштувань у системі моніторингу Solax створює сприятливі умови для інсталяторів, дозволяючи їм максимально ефективно використовувати потенціал сонячної енергії та задовольняти потреби своїх клієнтів (рисунок 1.5).

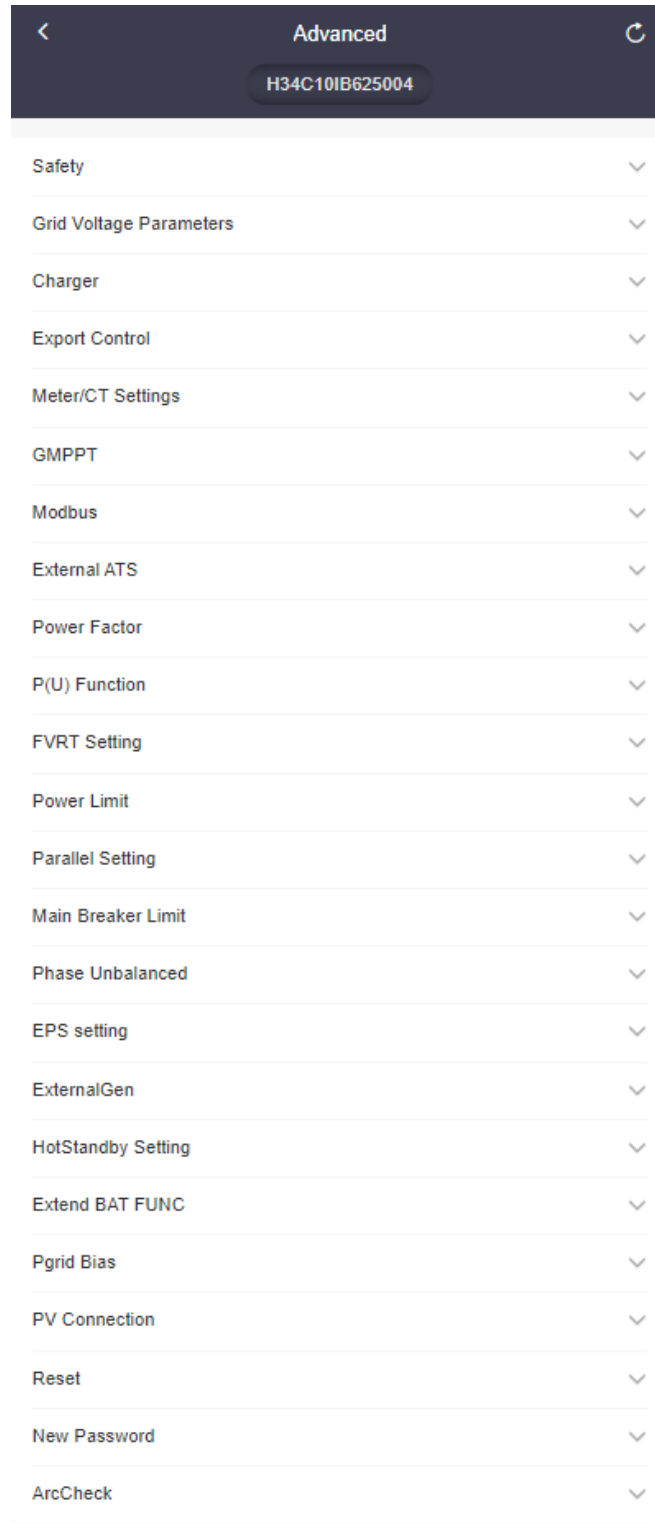


Рисунок 1.5 – Перелік налаштувань інвертора Solax

## 1.6 Система моніторингу ФЕС від компанії Deye.

Система моніторингу Deye надає користувачам можливість використовувати два окремі додатки Solarman для ефективного контролю та управління сонячною енергетичною системою:

- 1) Solarman Smart: Цей додаток призначений для кінцевих користувачів і має обмежений функціонал. Він забезпечує доступ до основних функцій моніторингу, які може зручно використовувати кінцевий користувач для відстеження продуктивності своєї сонячної енергетичної системи. Серед можливостей можна виділити відображення поточної генерації електроенергії, статус заряду акумулятора та інші основні показники (рисунок 1.6).
- 2) Solarman Business: Цей додаток має повний функціонал і призначений для використання інсталяторами та бізнес-клієнтами. Він надає розширені можливості моніторингу, управління та аналізу даних сонячних енергетичних систем. Інсталятори можуть використовувати цей додаток для налагодження, діагностики та керування багатьма системами з одного інтерфейсу, а також для здійснення більш детального аналізу даних (рисунок 1.7).



Рисунок 1.6 - Застосунок Solarman Smart

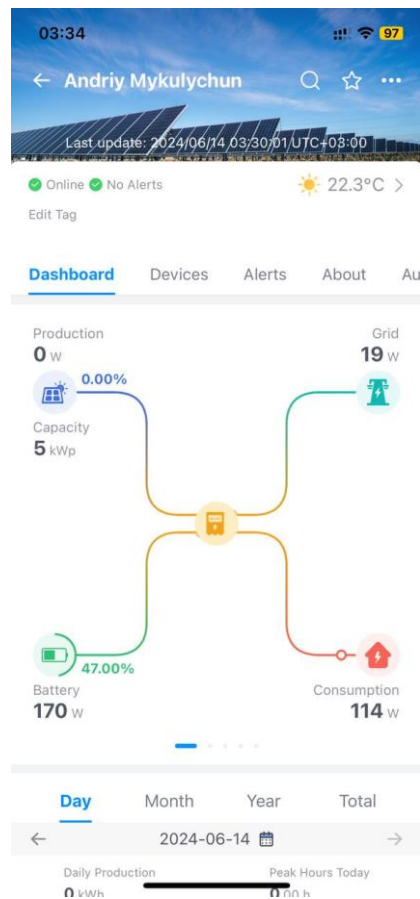


Рисунок 1.7 - Застосунок Solarman Business

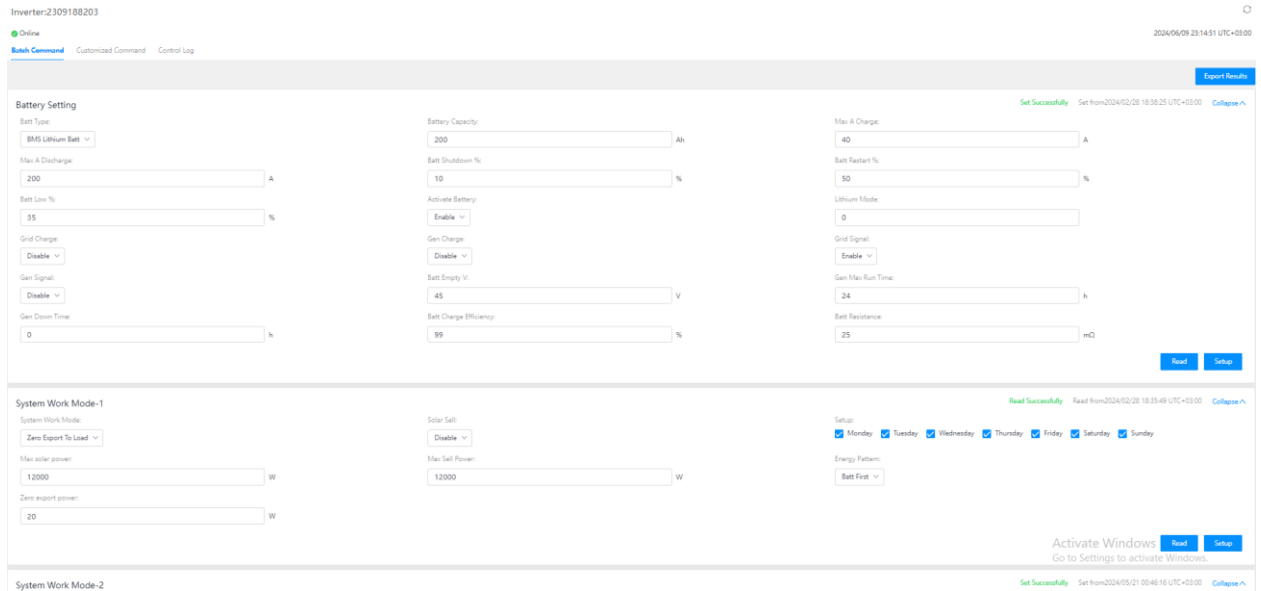


Рисунок 1.8 – Можливості налаштувань в системі Solarmen Business

Таке розділення на два окремі додатки дозволяє кожному типу користувачів, які мають різні потреби та вимоги, використовувати систему моніторингу Deye Solarman зручним і ефективним способом. Кінцеві користувачі можуть скористатися простим та зрозумілим інтерфейсом Smart для базового моніторингу, тоді як інсталювачі мають доступ до розширених функцій та аналітики завдяки додатку Business.

## 1.7 Система моніторингу ФЕС від компанії Fronius.

Система моніторингу Fronius є неповноцінною. Факт, що система вимагає платну підписку для отримання повного функціоналу за 20 €, може бути важливим фактором для користувачів, які шукають ефективний та доступний спосіб моніторингу своїх сонячних енергетичних систем. У порівнянні з іншими системами моніторингу, які можуть пропонувати безкоштовний доступ до свого функціоналу, це може викликати певні обмеження або незручності для деяких користувачів.

Хоча платна підписка може надавати доступ до додаткових функцій або розширеного функціоналу, варто врахувати, що деякі користувачі можуть

вважати це не вигідним, особливо у порівнянні з конкурентами, які пропонують аналогічні функції безкоштовно. Вирішення, чи варто оплачувати підписку за додатковий функціонал, буде залежати від конкретних потреб та вимог кожного користувача, а також від їхніх фінансових можливостей та призначення системи моніторингу.

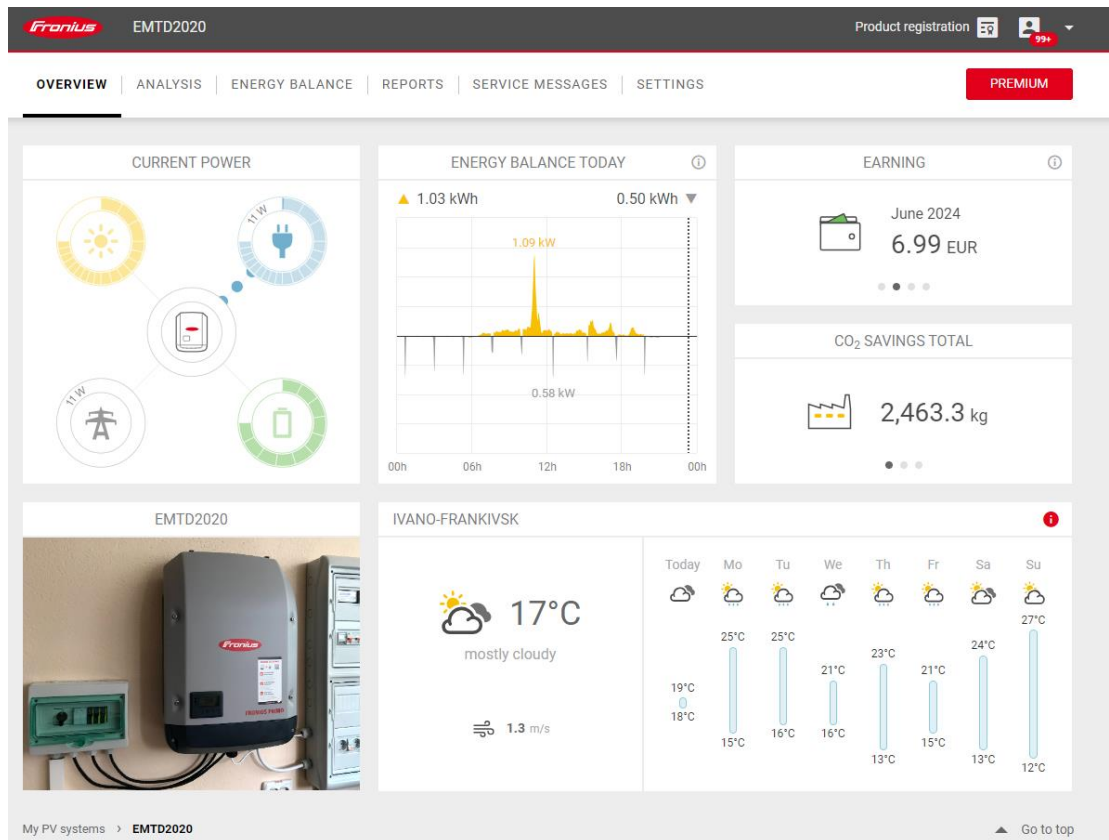


Рисунок 1.9 – Система моніторингу Fronius Solar Web

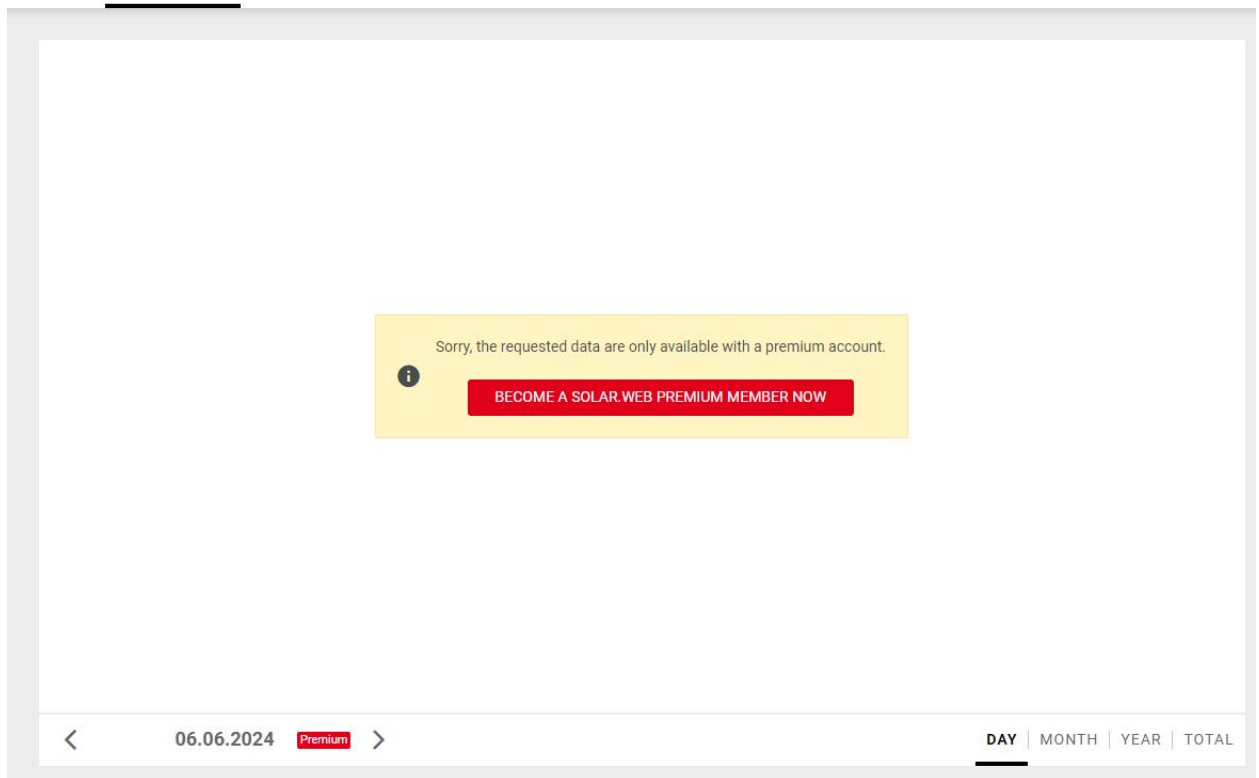


Рисунок 1.10 – Обмеження системи Solar Web через відсутність платної підписки

## 1.8 Недоліки в роботі існуючих інформаційно-вимірювальних систем моніторингу роботи ФЕС.

1) Недоліки в роботі існуючих інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) моніторингу роботи фотоелектричних станцій (ФЕС) можуть бути різноманітними і залежать від конкретних характеристик цих систем. Ось деякі потенційні недоліки, які можуть виникати:

2) Недостатня точність вимірювань: ІВС можуть не завжди забезпечувати достатньо високу точність вимірювань параметрів роботи ФЕС, таких як потужність виробництва електроенергії, напруга, струм тощо. Це може призвести до неточностей у моніторингу роботи ФЕС та управлінні ними.

3) Відсутність забезпечення безпеки даних: ІВС можуть бути уразливі до кібератак або не мати достатніх заходів для захисту конфіденційної

інформації про роботу ФЕС, що може призвести до несанкціонованого доступу до цих даних або їх втрати.

4) Обмеженість функціональності: Деякі існуючі ІВС можуть мати обмежені можливості або функціонал, що ускладнює або унеможлиблює здійснення деяких видів моніторингу або аналізу роботи ФЕС, які можуть бути важливими для ефективного управління ними.

5) Складність інтеграції з іншими системами: ІВС можуть бути складно інтегрувати з іншими системами управління енергосистемами або системами моніторингу, що може ускладнювати автоматизацію процесів управління ФЕС або обмежувати їх ефективність.

6) Відсутність адаптивності до змінних умов: Деякі ІВС можуть бути недостатньо адаптивними до змін умов експлуатації, таких як зміни погоди або технічних параметрів ФЕС, що може призвести до зменшення їх ефективності.

7) Відсутність масштабованості: Якщо ІВС не можуть ефективно масштабуватися для включення додаткових ФЕС або розширення функціональності, це може обмежувати їхню корисність для великих або зростаючих енергетичних систем.

8) Низька надійність і відмовостійкість: ІВС можуть мати проблеми з надійністю або відмовостійкістю, що може призвести до перерв у моніторингу роботи ФЕС або втраті даних.

### **1.8.1 Приклади недоліків систем моніторингу**

Головною проблемою існуючих систем моніторингу є недостатня частота оновлення даних, яка може бути лише кожні п'ять хвилин. Це створює ситуацію, коли протягом цього часу ніхто не отримує інформації про те, що відбувалося в системі. Наприклад, якщо споживання електроенергії у будинку раптово зростає з 100 до 3000 Вт протягом 5 хвилин, а потім знову опускається до 100 Вт, то в моніторинговій системі буде зафіксовано лише споживання на

рівні 100 Вт, не відображаючи деталізованої динаміки. Такий підхід ускладнює аналіз роботи системи та управління несправностями чи несподіваними змінами в споживанні електроенергії. В результаті, оператори системи можуть пропускати важливі події та несправності, що може негативно впливати на ефективність та надійність енергетичних систем (рисунок 1.11).

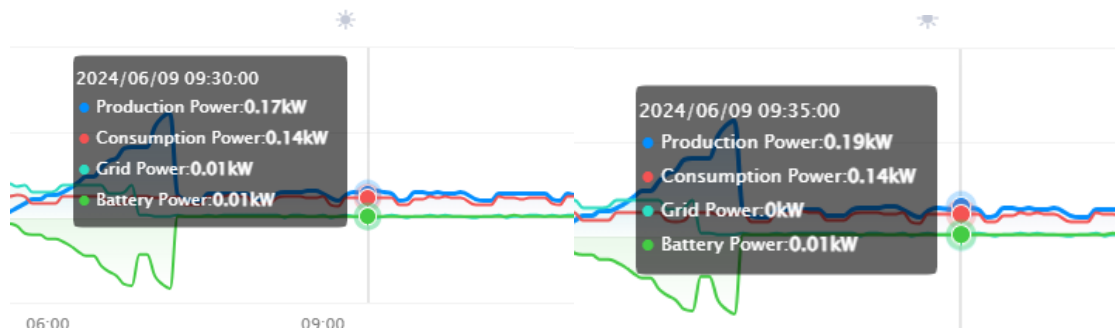


Рисунок 1.11 – Факт періоду оновлення даних системою моніторингу в 5хв

Додатковою значущою проблемою, яка виникає у систем моніторингу, є втрата даних. Іншими словами, якщо система втрачає зв'язок з Інтернетом, то після відновлення зв'язку вона не може надати інформацію про те, що траплялося з системою під час періоду втрати зв'язку. Така ситуація створює ризик втрати важливих даних про роботу системи, що може ускладнити аналіз подій та прийняття рішень. Це особливо критично у випадку виникнення проблем або аварійних ситуацій, коли точна інформація про стан системи важлива для швидкого реагування та вирішення проблем (рисунок 1.12).

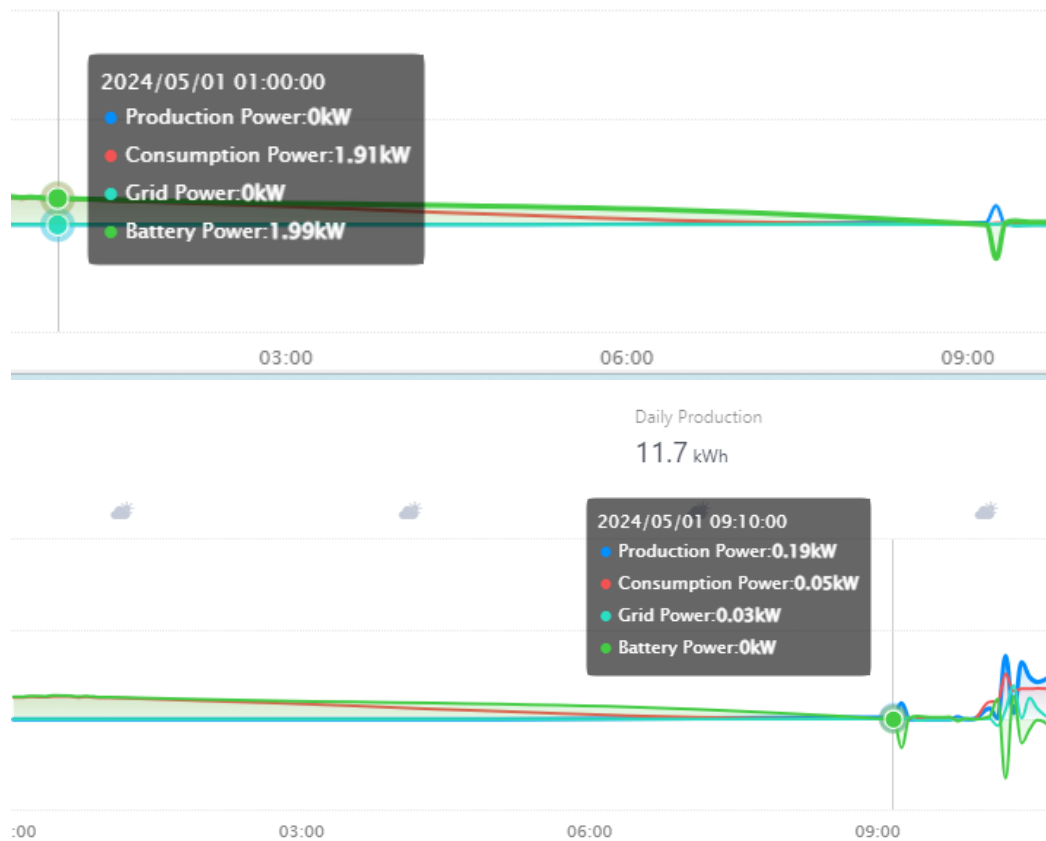


Рисунок 1.12 – Факт втрати даних через відсутність інтернету

Іншим важливим недоліком стандартних систем моніторингу є обмеження у функціоналі, яке обмежує можливості як кінцевих користувачів, так і інсталяторів. Зазвичай такі системи демонструють лише те, що було передбачено виробником, а отже, не забезпечують можливості підключення зовнішніх датчиків чи лічильників. Наприклад, неможливо відслідковувати споживання окремих пристроїв або інтегрувати систему моніторингу ФЕС у систему розумного будинку. Це створює обмеження у зборі та аналізі даних, а також у впровадженні розширених функцій управління та моніторингу енергосистемами. Такі обмеження ускладнюють розвиток і використання інтегрованих систем моніторингу, які б могли забезпечити більш гнучкий та індивідуалізований підхід до управління енергоефективністю та споживанням електроенергії в будинках.

### **1.9 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи.**

В результаті виконання бакалаврської роботи буде розроблена високофункціональна та універсальна інформаційно-вимірювальна система для моніторингу фотоелектричних станцій (ФЕС), що базується на передових інтелектуальних приладах smart-МАІС. Основною метою цієї системи буде надійний та ефективний збір даних про роботу ФЕС, їх подальший аналіз та візуалізація. Головним завданням цього проекту буде оптимізація процесів управління ФЕС з метою підвищення їхньої продуктивності та ефективності використання відновлювальних джерел енергії.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ФЕС НА БАЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ SMART-МАІС.

#### 2.1 Принцип дії та побудови систем моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС.

Інтелектуальні прилади smart-МАІС (Monitoring, Analysis, and Intelligent Control) є сучасними рішеннями для моніторингу та управління фотоелектричними станціями (ФЕС). Вони поєднують можливості збору даних, аналізу та автоматичного управління системою для досягнення максимальної ефективності та надійності роботи ФЕС.

Розглянемо принципи дії, архітектуру і основні функції систем моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС.

##### 2.1.1 Принцип дії системи smart-МАІС

Система моніторингу smart-МАІС працює за наступними принципами:

- 1) Збір даних: Інтелектуальні сенсори та прилади вимірюють ключові параметри ФЕС, такі як напруга, струм, температура, освітленість тощо.
- 2) Передача даних: Зібрані дані передаються на центральний контролер через бездротові або провідні комунікаційні канали.
- 3) Аналіз даних: Центральний контролер обробляє отримані дані, здійснюючи їх аналіз для виявлення відхилень та аномалій.
- 4) Інтелектуальне управління: На основі аналізу даних система приймає рішення щодо оптимізації роботи ФЕС, наприклад, регулювання робочих параметрів інверторів або зміни конфігурації панелей.
- 5) Візуалізація та сповіщення: Користувачі можуть відстежувати стан системи через веб-портал або мобільний додаток, отримуючи сповіщення про

будь-які несправності чи важливі події.

### 2.1.2 Архітектура системи smart-МАІС

Система smart-МАІС може складатись з таких компонентів:

1) Інтелектуальні сенсори:

- Температурні сенсори: Вимірюють температуру панелей та оточуючого середовища.
- Сенсори освітленості: Вимірюють інтенсивність сонячного випромінювання.
- Електричні сенсори: Вимірюють напругу, струм і потужність.

2) Контролер smart-МАІС:

- Збір даних: Збирає дані від всіх сенсорів і передає їх для обробки.
- Обробка даних: Здійснює первинний аналіз даних і виявлення аномалій.
- Управління: Приймає рішення на основі аналізу даних і управляє роботою інверторів та інших компонентів системи.

3) Комунікаційний модуль:

- Бездротовий зв'язок: Використання Wi-Fi, Zigbee або інших протоколів для передачі даних.
- Провідний зв'язок: Використання Ethernet або інших провідних протоколів.

4) Сервер:

- Зберігання даних: Зберігання великих обсягів даних для подальшого аналізу.
- Аналітика: Застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування продуктивності і виявлення прихованих проблем.

5) Програмне забезпечення для моніторингу:

- Веб-портал: Інтерфейс для відстеження стану системи, аналізу даних і генерації звітів.

- Мобільний додаток: Мобільний інтерфейс для віддаленого моніторингу і отримання сповіщень.

### **2.1.3 Можливості системи smart-MAIC**

Система smart-MAIC (Smart Monitoring and Intelligent Control) пропонує широкий спектр можливостей для моніторингу та управління роботою сонячних електростанцій (СЕС). Ця система інтегрує передові технології для забезпечення максимальної ефективності та надійності роботи СЕС. Ось деякі ключові можливості системи smart-MAIC:

- 1) Моніторинг електроенергії, води, газу, тепла ...
- 2) Температур, вологості, тиску, CO<sub>2</sub>, TDS, pH ...
- 3) Бездротовий інтерфейс Wi-Fi та GSM
- 4) Безкоштовний хмарний сервер даних
- 5) Дашборд для візуалізації даних
- 6) Деталізація даних по хвилинам
- 7) Віддалене керування навантаженням
- 8) API інструменти для розробників
- 9) MQTT клієнт
- 10) Монтаж на DIN рейку

### **2.1.4 Технічні особливості smart-MAIC**

Канал передачі даних

- 1) Бездротовий інтерфейс WiFi: забезпечує стабільне з'єднання з мережею для передачі даних.
- 2) Мобільний інтернет GPRS: використовується для зв'язку в умовах відсутності WiFi, забезпечуючи мобільність і гнучкість системи.

Протокол передачі даних

- 1) Пристрій <-> сервер: використовується протокол TCP, що

гарантує надійну передачу даних між пристроями та сервером.

- 2) Сервер <-> клієнт: використовується протокол WebSocket, що дозволяє забезпечити двосторонній обмін даними в режимі реального часу.

#### Керування пристроєм

- 1) Конфігурація: здійснюється через WEB інтерфейс, що забезпечує зручний та інтуїтивний доступ до налаштувань пристрою.
- 2) Прив'язка користувача: здійснюється в «хмарі», що дозволяє легко керувати доступом та інтегрувати нових користувачів.
- 3) OTA (Over-the-Air): віддалене оновлення ПЗ пристрою, що забезпечує актуальність програмного забезпечення без необхідності фізичного втручання.

#### Розробка, виробництво та сервіс

В Україні: усі етапи розробки, виробництва та сервісного обслуговування здійснюються в Україні, що забезпечує високу якість та швидку підтримку користувачів.

Технічні характеристики

Кількість фаз (ліній)	три
Вимірювання сили струму по одній лінії	от 50mA до 600A (залежить від трансформатора струму)
Похибка	< 1%
Внутрішній діаметр, струм/мм	300A/23mm; 600A/32mm;
Потужність навантаження на керованому виході	до 50W
Споживана потужність	< 1.2W
Бездротовий протокол зв'язку	2.4 ГГц / IEEE 802.11 (b, g, n)
Інтервал оновлення даних	5 сек.
Інтервал збору даних	1 хвилина
Накопичення даних за відсутності зв'язку з сервером	10 діб
Встановлений робочий діапазон температури	-40 . . +70 °C.
Розміри ДхВхШ	90x67x52 мм.
Вага (без трансформаторів)	0,1 кг

Рисунок 2.1 – Технічні характеристики Енергомонітору D103-300/600

### **2.1.5 Приклади використання системи smart-МАІС**

1) Приватні домогосподарства: Власники домашніх ФЕС можуть використовувати систему smart-МАІС для оптимізації споживання енергії і мінімізації витрат.

2) Комерційні установки: Бізнеси можуть забезпечити ефективне управління великими ФЕС, використовуючи дані для прийняття обґрунтованих рішень.

3) Промислові об'єкти: Промислові ФЕС можуть використовувати систему для забезпечення безперебійної роботи і мінімізації простоїв.

### **2.1.5 Переваги системи smart-МАІС**

1) Інтелектуальне управління: Використання передових алгоритмів для оптимізації роботи ФЕС.

2) Швидке виявлення несправностей: Миттєве сповіщення про будь-які проблеми дозволяє оперативно їх усунути.

3) Ефективність: Підвищення ефективності роботи ФЕС за рахунок автоматизації і оптимізації.

4) Гнучкість і масштабованість: Система легко адаптується до різних типів і масштабів ФЕС.

5) Економічна вигода: Зниження витрат на обслуговування і підвищення доходів від виробництва електроенергії.

### **2.1.6 Схема підключення СЕС на базі smart-МАІС**

Якщо СЕС встановлена на території домогосподарства, то для комплексного моніторингу цікаві три точки:

- точка А - генерація СЕС, змінний струм з інвертора
- точка В - споживання самим домогосподарством

- точка C\_D – продаж у загальну мережу та споживання з мережі

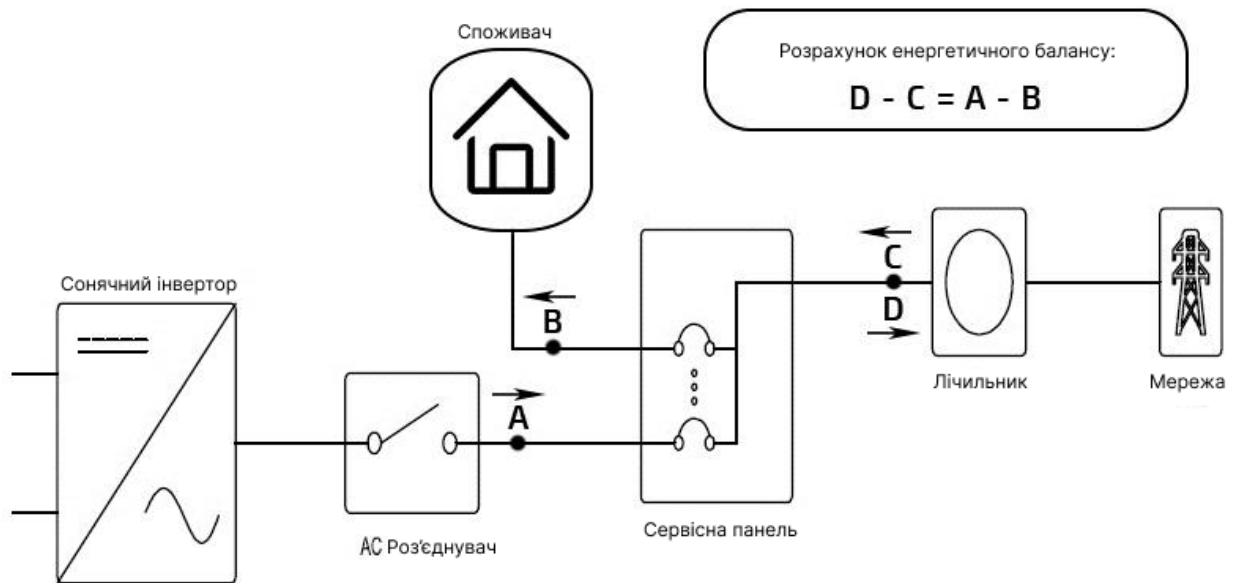


Рисунок 2.2 – Схема підключення мережевої СЕС на базі smart-МАІС

За допомогою наших рішень можна контролювати будь-яку з цих точок або одночасно.

1. Якщо встановити енергомонітор одразу за інвертором (А), то буде моніторинг генерації.
2. Якщо додати другий енергомонітор на ТП (C\_D), можна реалізувати моніторинг в обидві сторони, скільки було віддано на ТП (вдень) і скільки було відібрано (вночі).
3. Споживання домогосподарством (В) обчислюється на Дашборді за рівнянням Енергетичного Балансу

## 2.2 Навчальна мережева фотоелектрична станція кафедри

Сонячна електростанція встановлена у лабораторії фізичних основ відновлюваних джерел енергії, що знаходиться на кафедрі ЕМіТД. Вона розміщена в доступному для огляду місці, що дозволяє студентам і відвідувачам детально ознайомитись з принципами роботи та конструкцією

станції.



Рисунок 2.3 – Мережева сонячна електростанція в аудиторії 9201

Конструкція СЕС базується на мережевій схемі і включає такі основні компоненти:

- 1) Масив фотоелектричних панелей: Перетворюють сонячне випромінювання на постійну напругу.
- 2) Мережевий інвертор: Перетворює постійну напругу від панелей у змінну напругу, що подається в електричну мережу.
- 3) Смарт-лічильник: Забезпечує з'єднання СЕС з електричною мережею та дозволяє здійснювати моніторинг і облік споживаної та виробленої енергії.



Рисунок 2.4 – 12 фотоелектричних модулів на даху кафедри

Мережевий інвертор потужністю 3 кВт є центральним компонентом цієї СЕС. Він перетворює постійну напругу від фотоелектричних панелей у змінну напругу, яка використовується в електричній мережі. Електроцист постійної напруги містить пристрої захисту і комутації для безпечного управління постійною напругою від фотоелектричних панелей. Електроцист змінної напруги забезпечує приєднання до електричної мережі і облік енергоспоживання.

Масив фотоелектричних панелей загальною потужністю 3420 Вт складається з 12 панелей, розміщених на даху прилеглої одноповерхової будівлі. Потужність масиву обрана вищою, ніж потужність мережевого інвертора, щоб компенсувати падіння продуктивності панелей під час нагріву. Постійна напруга, вироблена масивом, передається до інвертора за допомогою повітряної лінії. Мережевий інвертор перетворює постійну напругу в змінну, яка подається до електроциста змінної напруги. Далі електроенергія інтегрується в загальну електричну мережу та враховується для енергоспоживання.

#### CONFIGURATION DIAGRAM

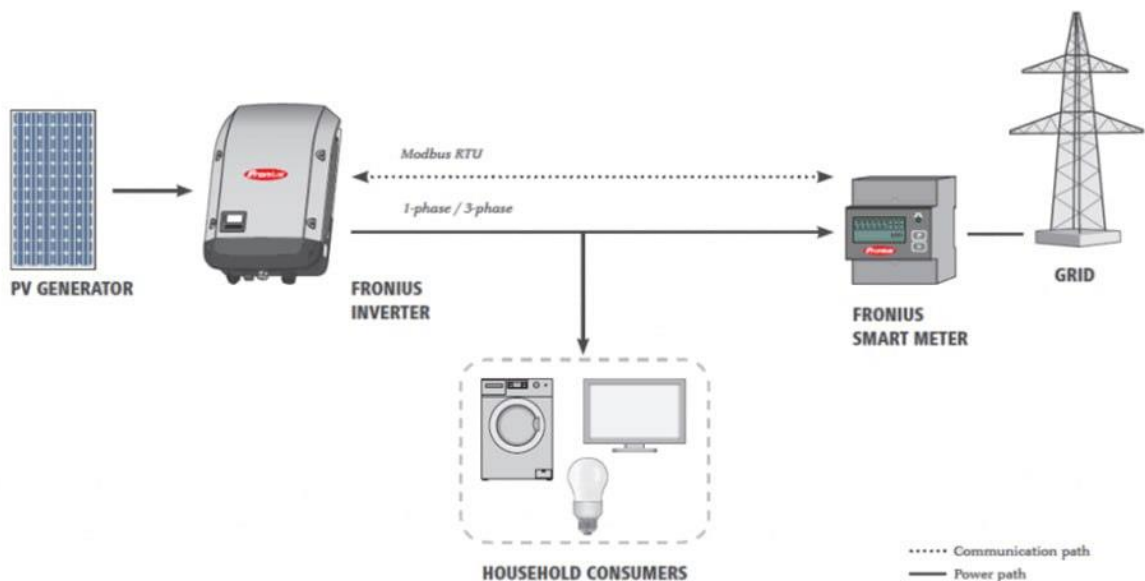


Рисунок 2.5 – Схема підключення навчальної мережевої СЕС

Окрім смарт-лічильника, що встановлений в електрощиті змінної напруги, для моніторингу електроспоживання та роботи сонячної електростанції (СЕС) у режимі компенсації використовуються енергомонітори smart-МАС. Для прямого вимірювання загального споживання електроенергії та генерації з боку СЕС застосовується енергомонітор D103 smart-МАС, який оснащений накладними трансформаторами струму.

Для визначення споживання електричної енергії окремими споживачами, такими як електробойлер та система освітлення місць загального користування кафедри, застосовуються універсальні енергомонітори D105 smart-МАС. Вони підключені до телеметричних імпульсних виходів електромеханічних електролічильників, що розміщені в електрощиті (рисунок 2.4).

Для відображення роботи демонстраційної сонячної електростанції створена веб-сторінка у веб-додатку системи енергетичного моніторингу для університетської будівлі.



Рисунок 2.6 - Електрощит змінної напруги демонстраційної СЕС з встановленими засобами моніторингу і обліку електричної енергії

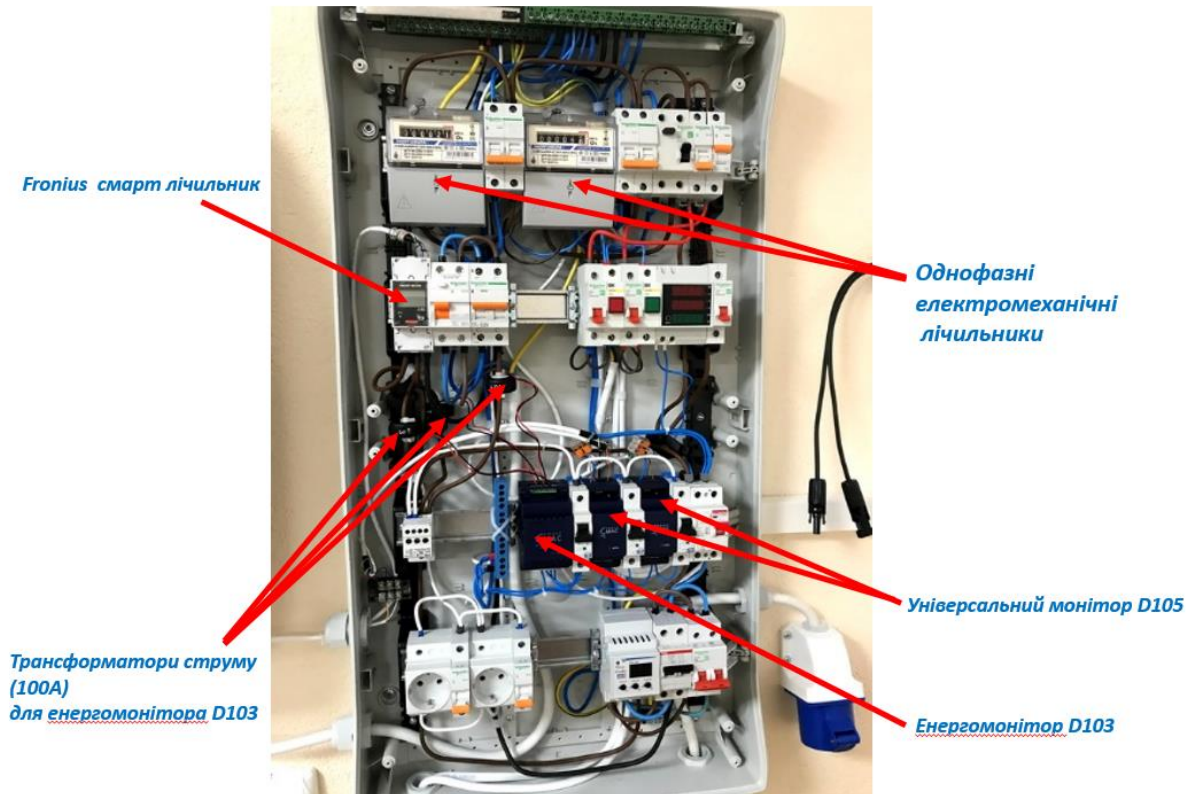


Рисунок 2.7 - Приклад встановлення системи (Демонстраційна сонячна електростанція)

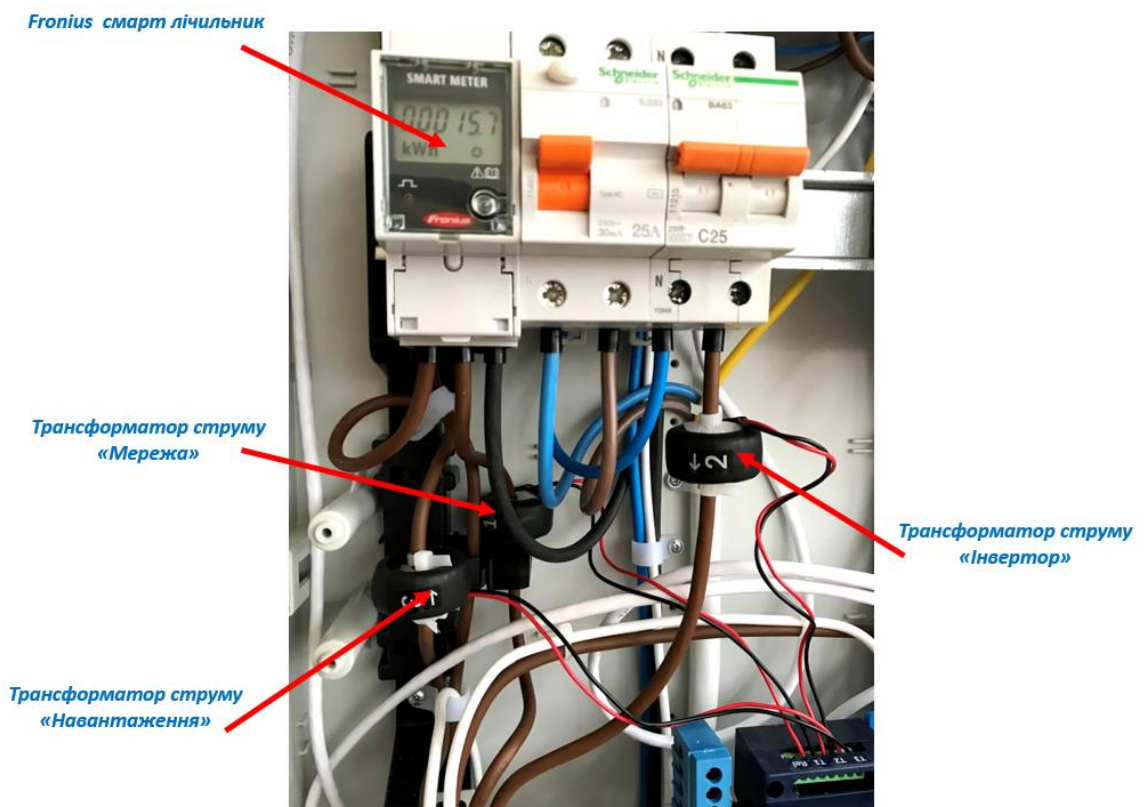


Рисунок 2.8 – Приклад встановлення трансформаторів струму

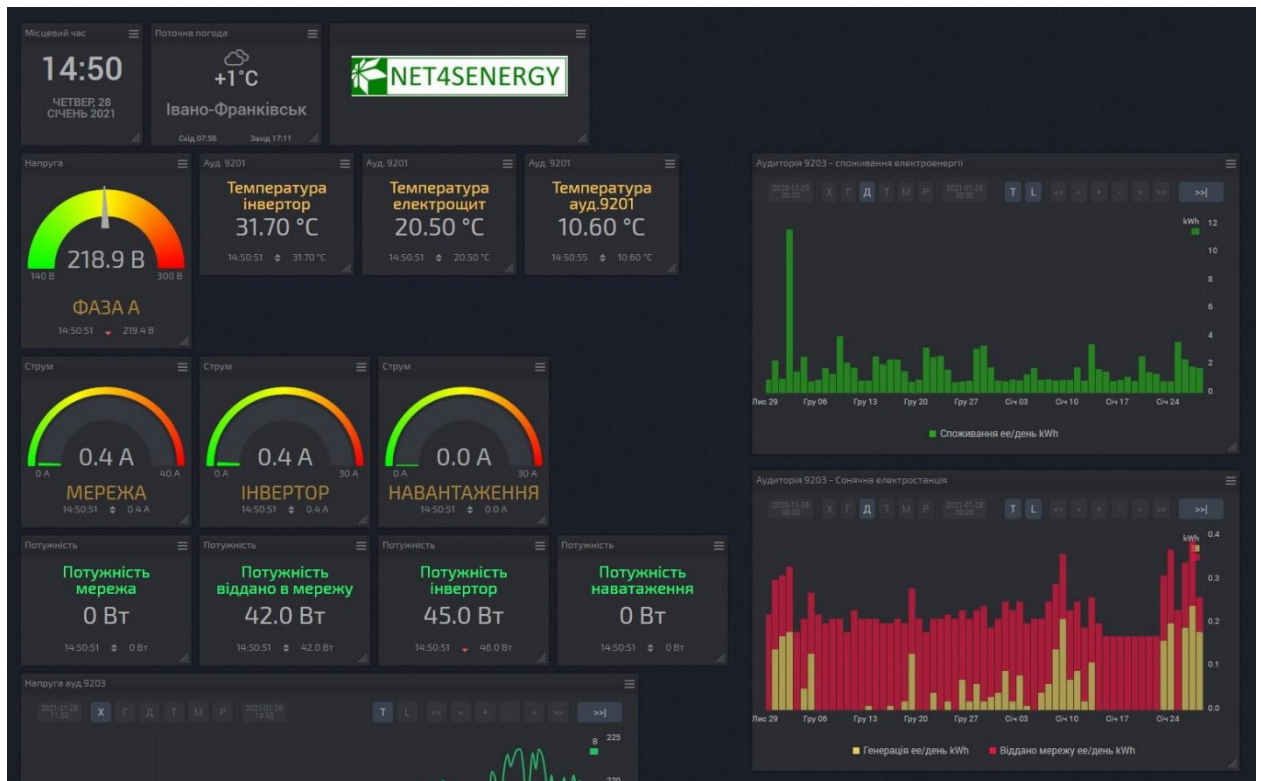


Рисунок 2.9 - Відображення роботи демонстраційної СЕС створена сторінка у веб додатку системи енергетичного моніторингу для університетської будівлі

### 2.2.1 Функціональні можливості СЕС

СЕС дозволяє реалізувати та демонструвати різноманітні сценарії роботи:

1) Компенсація власного споживання: Енергія, вироблена сонячними панелями, використовується для покриття потреб споживачів після смарт-лічильника, що зменшує загальне споживання з мережі.

2) Передача енергії в мережу: Вся згенерована протягом дня енергія може бути передана в загальну мережу.

3) Сценарій 0% Feed-in Mode: Завдяки управлінню потужністю мережевого інвертора, енергія, вироблена від сонячного випромінювання, використовується виключно для компенсації споживання після смарт-лічильника без передачі надлишків в мережу.

### 2.2.2 Переваги та значення навчальної СЕС

1) Освітня цінність: СЕС слугує навчальним інструментом, що дозволяє студентам набувати практичних знань та навичок у галузі відновлюваної енергетики.

2) Демонстраційні можливості: Станція демонструє ефективність використання сонячної енергії та різні сценарії її інтеграції в енергетичну систему.

3) Економія енергії: Реалізація власного споживання за допомогою СЕС дозволяє зменшити витрати на електроенергію.

4) Інновації та дослідження: СЕС створює можливості для проведення наукових досліджень та впровадження інноваційних рішень у галузі відновлюваної енергетики.

Відображення та демонстрація роботи демонстраційної СЕС здійснюється на екрані мережевого інвертора (рисунок 2.4) так і за допомогою веб додатку Fronius Solar web.



Рисунок 2.10 – Екран мережевого інвертора Fronius

## **2.3 Розроблення системи моніторингу мережевої ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС.**

Для забезпечення ефективного моніторингу та управління мережева фотоелектрична станція (ФЕС) потребує інтеграції сучасних систем збору, аналізу і контролю даних. Інтелектуальні прилади smart-МАІС (Monitoring, Analysis, and Intelligent Control) пропонують комплексне рішення для таких задач. У цьому розділі описується покроковий процес розробки системи моніторингу на базі smart-МАІС.

### **2.3.1 Визначення вимог до системи**

Перший крок включає визначення вимог до системи моніторингу:

- 1) Цілі системи: Моніторинг продуктивності, виявлення несправностей, оптимізація роботи ФЕС.
- 2) Необхідні параметри моніторингу: Температура панелей, інтенсивність сонячного випромінювання, напруга, струм, потужність тощо.
- 3) Типи інтерфейсів і комунікаційних протоколів: Вибір між бездротовими (Wi-Fi, Zigbee) та провідними (Ethernet) методами передачі даних.

### **2.3.2 Вибір та встановлення інтелектуальних сенсорів**

Наступний крок полягає у виборі та встановленні сенсорів:

- 1) Температурні сенсори: Встановлюються на панелях і навколишньому середовищі для вимірювання температури (рисунок 2.4).
- 2) Сенсори освітленості: Вимірюють інтенсивність сонячного випромінювання, розміщуються на панелях.
- 3) Електричні сенсори: Встановлюються для вимірювання електричних параметрів (напруги, струму, потужності).

Вибір та правильне розташування цих сенсорів є важливим етапом у забезпеченні точного та ефективного моніторингу сонячної енергетичної системи. Кожен з цих сенсорів надає важливі дані, які допомагають врахувати різноманітні умови та фактори, що впливають на продуктивність системи, та забезпечити оптимальну її роботу.

### **2.3.3 Інтеграція контролера smart-МАІС**

Контролер smart-МАІС збирає дані від сенсорів і виконує первинний аналіз:

1) Збір даних: Контролер здійснює підключення до різних сенсорів, що моніторять різні параметри сонячної енергетичної системи, такі як виробництво електроенергії, стан акумулятора, споживання енергії та інші. Важливою частиною цього процесу є налаштування параметрів збору даних для забезпечення надійного та точного збору інформації.

2) Обробка даних: Контролер виконує обробку даних, використовуючи вбудовані алгоритми для аналізу та інтерпретації зібраних даних. Це включає конфігурацію алгоритмів для виявлення паттернів, визначення аномалій та встановлення допустимих меж параметрів. Це дозволяє системі ефективно виявляти будь-які проблеми або несправності в роботі сонячної енергетичної системи і надавати відповідні рекомендації для їх вирішення.

### **2.3.4 Налаштування комунікаційного модуля**

Комунікаційний модуль забезпечує передачу даних між компонентами системи:

1) Вибір протоколу зв'язку: користувач вибирає протокол зв'язку відповідно до потреб і умов встановлення. Це може бути бездротовий метод, такий як Wi-Fi або Bluetooth, або провідний метод, такий як Ethernet або RS-485. Вибір протоколу залежить від доступності інфраструктури зв'язку, вимог

до дальності передачі даних, швидкості та безпеки передачі.

2) Налаштування зв'язку: після вибору протоколу зв'язку проводяться налаштування мережі. Для бездротових методів це може включати конфігурацію мережевих параметрів, налаштування бездротових точок доступу та захисту мережі за допомогою паролів або шифрування. Для провідних методів налаштування зв'язку може включати налаштування IP-адрес та підключення до мережі через Ethernet або інші провідні з'єднання.

Правильне налаштування дозволяє забезпечити швидку та безперебійну передачу даних, що є важливим для точного моніторингу та управління сонячною енергетичною системою.

### **2.3.5 Встановлення сервера та програмного забезпечення**

Сервер зберігає дані і забезпечує аналітику:

1) Зберігання даних: Налаштування бази даних для зберігання великих обсягів інформації.

2) Аналітика: Впровадження алгоритмів машинного навчання для аналізу даних, прогнозування продуктивності та виявлення аномалій.

3) Програмне забезпечення: Розгортання веб-порталу та мобільного додатку для моніторингу та управління.

### **2.3.6 Інтеграція та тестування системи**

Після успішного встановлення всіх компонентів системи моніторингу необхідно провести їх інтеграцію та тестування, щоб переконатися у правильній роботі системи та її відповідності вимогам. Основні кроки цього процесу включають:

1) Інтеграція компонентів: Перевірка коректності взаємодії між різними компонентами системи, такими як сенсори, контролер, комунікаційний

модуль та сервер. Це включає перевірку правильності з'єднань, налаштування комунікацій та передачі даних між компонентами.

2) Тестування системи: Проведення ретельного тестування для виявлення і виправлення можливих проблем. Це може включати перевірку точності вимірювань, коректності обробки даних та відповідності вимогам замовника. Також важливо перевірити роботу системи в реальних умовах експлуатації.

Після успішного завершення інтеграції та тестування системи можна бути впевненим у її надійності та готовності до роботи в реальних умовах.

### **2.3.7 Експлуатація та обслуговування**

Після успішного тестування система готова до експлуатації:

1) Моніторинг: Регулярне відстеження параметрів ФЕС через веб-портал або мобільний додаток.

2) Обслуговування: Проведення регулярних перевірок та технічного обслуговування сенсорів, контролера та інших компонентів системи.

3) Аналіз даних: Постійний аналіз зібраних даних для оптимізації роботи ФЕС та виявлення можливих поломок або зниження ефективності.

### **2.4. Апаратна частина системи моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС.**

Апаратна частина системи моніторингу мережевої фотоелектричної станції (ФЕС) на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС включає різноманітні компоненти, що забезпечують збір, обробку та передачу даних. Розуміння та правильний вибір апаратних засобів є критично важливими для забезпечення ефективної та надійної роботи системи.

### 2.4.1 Основні компоненти апаратної частини

Система моніторингу на базі smart-МАІС складається з наступних основних апаратних компонентів:

1) Інтелектуальні сенсори:

- Температурні сенсори: Вимірюють температуру фотоелектричних панелей та навколишнього середовища.

- Приклад: DS18B20 – цифровий температурний сенсор з високою точністю (рисунок 2.4).



Рисунок 2.11 – Датчик температури DS18b20

- Сенсори освітленості: Вимірюють інтенсивність сонячного випромінювання.

- Приклад: Apogee SQ-500 – квантовий сенсор для вимірювання фотосинтетично активної радіації (PAR) (рисунок 2.5).



Рисунок 2.12 – Датчик освітленості Apogee SQ-500

- Електричні сенсори: Вимірюють напругу, струм, потужність та інші електричні параметри.

- Приклад: ACS712 – сенсор для вимірювання струму (рисунок 2.6).

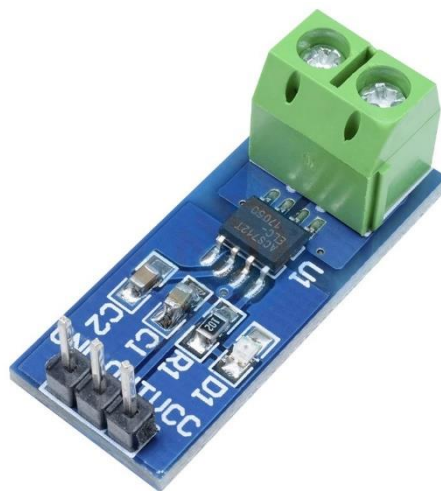


Рисунок 2.13 – Датчик вимірювання струму ACS712

2) Контролер smart-MAIC:

- Мікроконтролер: Виконує функції збору та обробки даних з сенсорів.

- Процесор обробки даних: Виконує складні розрахунки та аналіз даних.

3) Комунікаційний модуль:

- Бездротовий зв'язок: Забезпечує передачу даних за допомогою Wi-Fi, Zigbee або інших протоколів.

- Провідний зв'язок: Використовує Ethernet або інші провідні комунікаційні протоколи.

#### 4) Сервер:

- Сервер для зберігання даних: Містить великі обсяги даних для подальшого аналізу та збереження історії роботи станції.

#### 5) Джерело безперебійного живлення (UPS):

- Забезпечує стабільну роботу системи у випадку перебоїв з електропостачанням.

### **2.4.2 Функціональні можливості апаратних компонентів**

1) Температурні сенсори: Забезпечують точні вимірювання температури, що важливо для аналізу ефективності та довговічності фотоелектричних панелей.

2) Сенсори освітленості: Допомагають оцінити інтенсивність сонячного випромінювання, що впливає на продуктивність панелей.

3) Електричні сенсори: Вимірюють ключові параметри електричної системи ФЕС, що дозволяє оцінити продуктивність та виявляти несправності.

4) Контролер smart-МАІС: Централізує збір та обробку даних, виконує первинний аналіз та управляє іншими компонентами системи.

5) Комунікаційний модуль: Забезпечує надійну передачу даних між сенсорами, контролером та сервером.

6) Сервер: Зберігає великі обсяги даних, забезпечує доступ до них для аналізу та звітності.

7) Джерело безперебійного живлення: Гарантує стабільну роботу системи під час перебоїв з електропостачанням, що критично важливо для безперервного моніторингу.

### 2.4.3 Інтеграція апаратних компонентів

- 1) Встановлення сенсорів: Сенсори встановлюються на панелях та інших ключових компонентах ФЕС для збору необхідних даних.
- 2) Підключення контролера: Сенсори підключаються до контролера smart-МАІС, який централізує збір даних.
- 3) Налаштування комунікаційного модуля: Вибір та налаштування відповідного методу передачі даних між контролером та сервером.
- 4) Синхронізація з сервером: Дані передаються на сервер для зберігання та подальшого аналізу.
- 5) Забезпечення безперебійного живлення: Підключення джерела безперебійного живлення для захисту системи від перебоїв.

### 2.5. Програмна частина системи моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС.

WEB-додаток smart-МАІС Dashboard пропонує універсальний та зручний інструмент для моніторингу різноманітних ресурсів, що дозволяє користувачам отримувати доступ до важливої інформації з будь-якої платформи.

#### Підтримка платформ

- Windows, iOS, Android, Linux: smart-МАІС Dashboard забезпечує сумісність з основними операційними системами, що дозволяє користувачам отримувати доступ до моніторингових даних з будь-якого пристрою.

#### Доступ до даних

- Легкий доступ до історичних даних в хмарі: користувачі можуть зберігати та аналізувати історичні дані, що дозволяє відстежувати зміни та тенденції у роботі системи.

#### Інтерфейс користувача

- Робочі дошки та віджети: можливість налаштування робочих дошок і віджетів для відображення найважливіших даних.
- Графічні віджети для візуального аналізу: відображення даних у вигляді графіків, діаграм та інших візуальних елементів для легкого аналізу.

#### Реальний час

- Моніторинг в режимі реального часу: отримання та аналіз даних в реальному часі для оперативного прийняття рішень.
- Хвилинна деталізація історичних даних: висока деталізація з можливістю перегляду даних з точністю до хвилини.

#### Тарифікація та експорт даних

- Конструктор будь-яких тарифів: можливість створення та налаштування різних тарифів для аналізу витрат.
- Експорт даних в EXCEL: зручний експорт даних у формат EXCEL для подальшої обробки та аналізу.

#### Візуалізація та аналітика

- Мнемосхеми для візуальної диспетчеризації: надання інструментів для створення мнемосхем, що дозволяють візуалізувати роботу системи.
- Складні арифметичні операції: можливість виконання складних арифметичних обчислень для глибокого аналізу даних.
- Сумування даних з різних пристроїв: агрегування даних з кількох пристроїв для отримання загальної картини.

#### Кастомізація та доступ

- Гнучка кастомізація інтерфейсу: можливість налаштування інтерфейсу під індивідуальні потреби користувача.
- Лінк загального доступу до дошки: створення загальних посилань для надання доступу до робочих дошок іншим користувачам.



Рисунок 2.14 – Вигляд дашборду smart-MAIC

### 2.5.1 Основні компоненти програмного забезпечення

#### 1) Платформа збору даних:

- Збір даних: Програми, що працюють на контролерах і сенсорах, забезпечують збір даних про різні параметри ФЕС.
- Передача даних: Програми, що використовують протоколи зв'язку для передачі даних на сервер.

#### 2) Серверна частина:

- База даних: Місце зберігання великих обсягів даних для їх подальшого аналізу.
- Сервер додатків: Обробляє запити від клієнтів, забезпечує доступ до даних та виконує бізнес-логіку.

#### 3) Аналітичний модуль:

- Обробка даних: Алгоритми для аналізу даних, виявлення трендів і

аномалій.

- Прогнозування: Алгоритми машинного навчання для прогнозування продуктивності та виявлення потенційних проблем.

4) Інтерфейс користувача:

- Веб-портал: Забезпечує доступ до інформації про стан ФЕС, дозволяє переглядати дані в реальному часі та історичні дані.
- Мобільний додаток: Доступ до даних та управління системою через мобільні пристрої.

5) Модуль сповіщень:

- Сповіщення: Система повідомлень для інформування користувачів про важливі події та аномалії.

### **2.5.2 Функціональні можливості програмної частини**

1) Збір та передача даних:

- Програмне забезпечення на сенсорах збирає дані про температуру, освітленість, електричні параметри тощо.
- Контролери використовують різні протоколи для передачі зібраних даних на сервер для подальшої обробки.

2) Обробка та аналіз даних:

- Серверна частина обробляє дані, зберігає їх у базі даних, виконує аналіз для виявлення трендів та аномалій.
- Аналітичний модуль використовує алгоритми для прогнозування продуктивності та виявлення потенційних проблем.

3) Візуалізація даних:

- Веб-портал та мобільний додаток забезпечують інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для перегляду даних в реальному часі та історичних даних.
- Графіки, діаграми та інші візуальні елементи допомагають користувачам легко аналізувати дані.

#### 4) Управління системою:

- Інтерфейс користувача дозволяє виконувати налаштування та управління компонентами ФЕС.
- Можливість віддаленого управління та налаштування параметрів системи через мобільний додаток.

#### 5) Система сповіщень:

- Модуль сповіщень забезпечує своєчасне інформування користувачів про важливі події, такі як виявлення аномалій, зниження продуктивності або інші критичні ситуації.
- Користувачі можуть налаштувати параметри сповіщень, вибираючи зручний спосіб отримання повідомлень.

### **2.5.3 Інтеграція програмної та апаратної частин**

#### 1) Встановлення програмного забезпечення на контролерах:

- Інтеграція програм для збору даних з сенсорів та їх передачі на сервер.
- Налаштування параметрів збору даних та протоколів передачі.

#### 2) Налаштування серверної частини:

- Встановлення бази даних та серверу додатків.
- Конфігурація серверної частини для обробки запитів та управління даними.

#### 3) Розгортання аналітичного модуля:

- Розробка та інтеграція алгоритмів для аналізу та прогнозування.
- Налаштування програм для автоматичного виконання аналізу даних.

#### 4) Розробка інтерфейсу користувача:

- Створення веб-порталу та мобільного додатку для взаємодії з користувачами.

• Інтеграція з серверною частиною для отримання даних та управління системою.

#### 5) Налаштування системи сповіщень:

- Розробка програм для надсилання сповіщень користувачам.
- Налаштування параметрів сповіщень відповідно до потреб користувачів.

## 2.6 Висновки до розділу 2

У даному розділі було проведено детальний аналіз та розробку системи моніторингу мережевої фотоелектричної станції (ФЕС) на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС. Основні висновки та ключові аспекти, розглянуті в цьому розділі, включають:

### 1) Принцип дії та побудова систем моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС (2.1):

- Системи моніторингу на базі smart-МАІС забезпечують точний і надійний збір даних про ключові параметри ФЕС, включаючи електричні характеристики, температуру, освітленість та інші важливі показники.
- Інтелектуальні прилади smart-МАІС дозволяють автоматизувати процеси збору, обробки та аналізу даних, що сприяє підвищенню ефективності та надійності роботи ФЕС.
- Використання інтелектуальних приладів smart-МАІС забезпечує можливість дистанційного моніторингу та управління системою, що є важливим для своєчасного виявлення і усунення несправностей.

### 2) Навчальна мережева фотоелектрична станція кафедри (2.2):

- На базі кафедри було змонтовано та налаштовано демонстраційну сонячну електростанцію, яка призначена для компенсації власного споживання електроенергії та демонстрації можливостей обладнання відновлюваної енергетики.
- СЕС побудована за мережевою схемою та складається з масиву фотоелектричних панелей, мережевого інвертора та смарт-лічильника, що забезпечує підключення до електричної мережі.
- Навчальна СЕС дозволяє студентам отримувати практичні навички

в галузі відновлюваної енергетики та використовувати сучасні технології для оптимізації енергоспоживання.

3) Розроблення системи моніторингу мережевої ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС (2.3):

- Було розроблено покроковий план створення системи моніторингу на базі smart-МАІС, включаючи вибір апаратних компонентів, розробку програмного забезпечення та інтеграцію всіх елементів системи.

- Основними етапами розробки були: аналіз вимог, проектування системи, вибір обладнання, розробка та тестування програмного забезпечення, інтеграція та налаштування системи.

- Запропонована система забезпечує ефективний моніторинг та управління роботою ФЕС, дозволяючи підвищити її продуктивність та надійність.

4) Апаратна частина системи моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС (2.4):

- Апаратна частина включає інтелектуальні сенсори, контролери smart-МАІС, комунікаційні модулі, сервер для зберігання даних та джерела безперебійного живлення.

- Всі компоненти системи були ретельно вибрані та інтегровані для забезпечення надійної роботи системи моніторингу.

- Інтеграція апаратних компонентів дозволяє забезпечити точний збір даних, надійну передачу та зберігання інформації, а також можливість дистанційного управління системою.

5) Програмна частина системи моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС (2.5):

- Програмна частина системи включає платформу збору даних, серверну частину, аналітичний модуль, інтерфейс користувача та модуль сповіщень.

- Програмне забезпечення забезпечує ефективний збір, обробку, аналіз та візуалізацію даних, а також управління компонентами системи.

- Інтерфейс користувача дозволяє легко взаємодіяти з системою, отримувати інформацію про стан ФЕС в реальному часі та виконувати налаштування системи.

Узагальнюючи, розроблена система моніторингу на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС є ефективним інструментом для підвищення продуктивності та надійності мережевої фотоелектричної станції. Вона забезпечує точний збір та аналіз даних, своєчасне виявлення несправностей та оптимізацію енергоспоживання, що є важливим для успішного використання відновлюваних джерел енергії.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ФЕС.

#### **3.1 Тестування роботи розробленої роботи універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC.**

Тестування є ключовим етапом у розробці будь-якої системи, оскільки воно дозволяє перевірити працездатність та ефективність всіх компонентів. У цьому підрозділі описано процес тестування розробленої універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу фотоелектричної станції (ФЕС) на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC.

##### **3.1.1 Мета тестування**

Основною метою тестування є перевірка функціональності та надійності системи моніторингу, визначення її здатності збирати, обробляти та візуалізувати дані, а також забезпечувати управління компонентами ФЕС. Тестування має підтвердити відповідність системи заданим вимогам і забезпечити виявлення та усунення можливих недоліків.

##### **3.1.2 Smart-MAIC Dashboard**

Для ефективної роботи з універсальною інформаційно-вимірювальною системою моніторингу фотоелектричних станцій (ФЕС) використовується безкоштовний оригінальний ресурс Smart-MAIC Dashboard. Цей інструмент забезпечує візуалізацію та аналіз даних, отриманих від смарт-лічильників і датчиків, у реальному часі.

### 3.1.3 Можливості Smart-MAIC Dashboard

Smart-MAIC Dashboard дозволяє створювати окремі дашборди для кожної ФЕС, що забезпечує персоналізоване відображення даних і спрощує управління та моніторинг кількох станцій. На кожному дашборді можуть бути виведені різноманітні параметри, такі як:

- 1) Місцевий час та дата: Відображення поточного часу та дати для точного відстеження подій.
- 2) Погода на вулиці: Інформація про погодні умови, яка може впливати на ефективність генерації енергії.
- 3) Генерація СЕС: Поточна потужність, що виробляється фотоелектричною станцією.
- 4) Заощаджений CO<sub>2</sub>: Кількість вуглекислого газу, зекономлена завдяки використанню відновлюваної енергії.
- 5) Перетік згенерованої електроенергії в мережу: Обсяг електроенергії, переданої в електричну мережу.
- 6) Напруга на фазах: Поточна напруга на кожній фазі електричної мережі.
- 7) Температура в інверторі: Відстеження температури інвертора для попередження перегріву.
- 8) Температура в щитку: Вимірювання температури у розподільному щитку.
- 9) Температура в кімнаті: Контроль температури у приміщенні, де знаходиться обладнання.
- 10) Сила струму згенерована інвертором: Поточний струм, вироблений інвертором.
- 11) Сила струму взята з мережі: Обсяг струму, споживаного з електричної мережі.
- 12) Сила струму, яка використовується навантаженням: Поточний струм, що споживається підключеним навантаженням.
- 13) Потужність:

- Згенерована: Потужність, вироблена ФЕС.
  - Віддана в мережу: Потужність, передана до електричної мережі.
  - Взята з мережі: Потужність, спожита з електричної мережі.
  - Віддана на навантаження: Потужність, використана для живлення навантаження.
- 14) Споживання електроенергії певним приладом: Моніторинг споживання електроенергії конкретними приладами.



Рисунок 3.1 – Дашборд SmartMaic

### 3.1.4 Візуалізація даних

Smart-MAIC Dashboard дозволяє користувачам будувати графіки та таблиці на основі зібраних даних. Це надає можливість:

- 1) Аналізу даних у реальному часі: Відображення поточних параметрів роботи ФЕС на інтерактивних графіках.

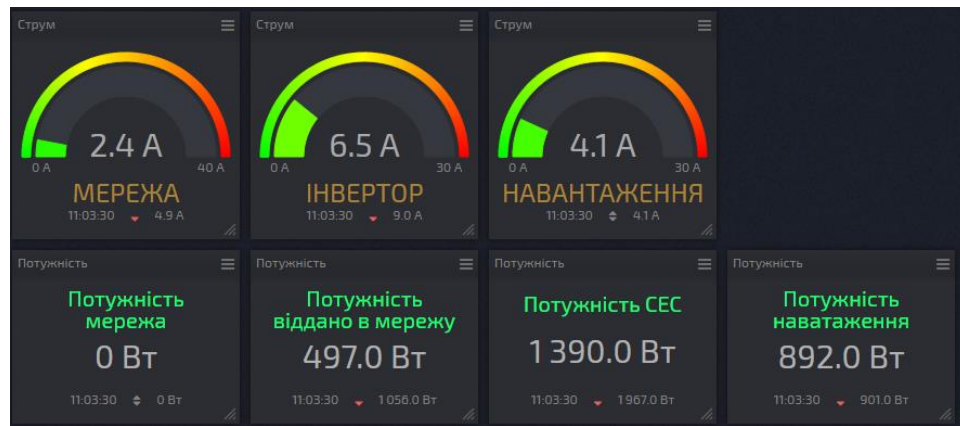


Рисунок 3.2 - Демонстрація моніторингу мережевої ФЕС

На рисунку 3.2 в реальному часі показано, що генерація з ФЕС повністю компенсує споживання, а надлишок згенерованої електроенергії передається в мережу.

- 2) Перегляду історичних даних: Аналіз даних за попередні періоди, такі як тиждень, місяць або рік, що допомагає виявляти тренди та робити прогнози.

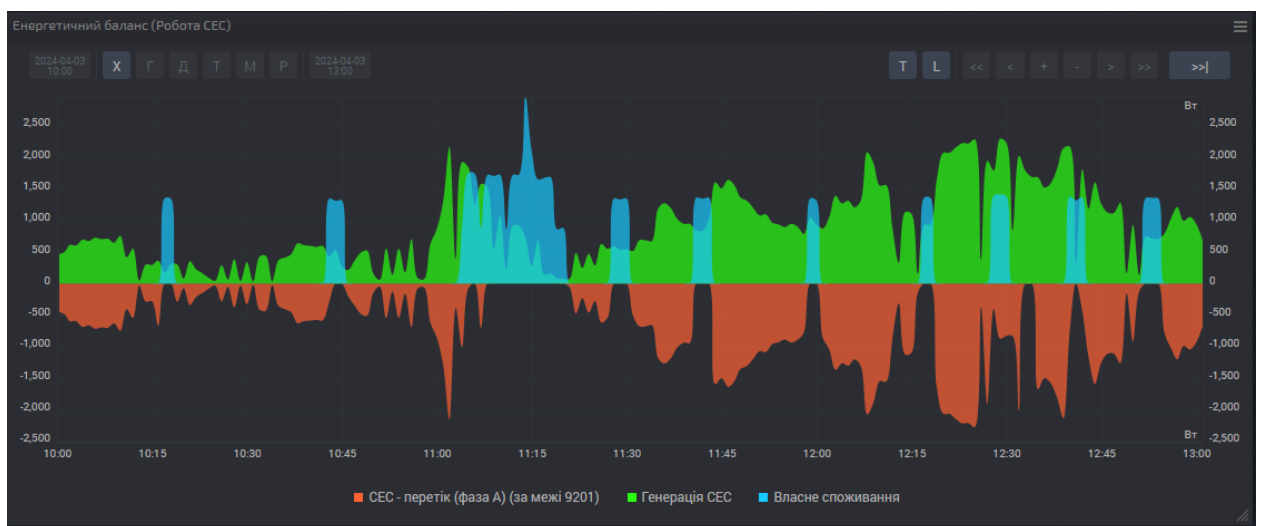


Рисунок 3.3 - Генерація і споживання електричної енергії в часі.

- 3) Порівняння даних: Зіставлення показників різних ФЕС або різних періодів для оцінки ефективності.

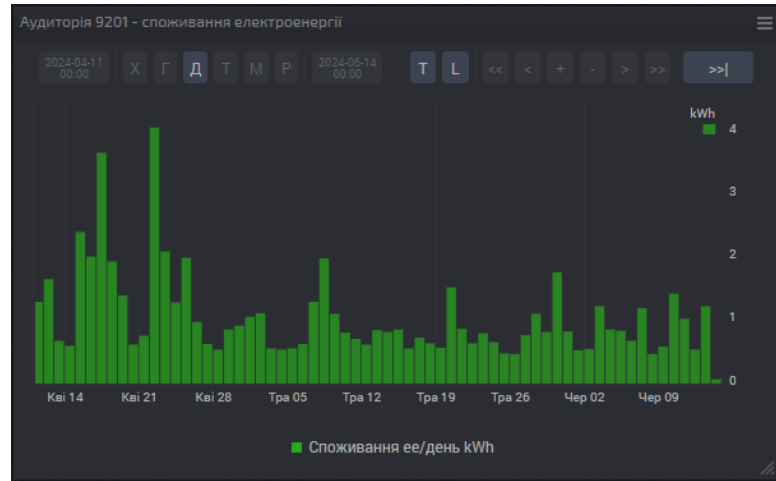


Рисунок 3.4 – Графік споживання електричної енергії за день

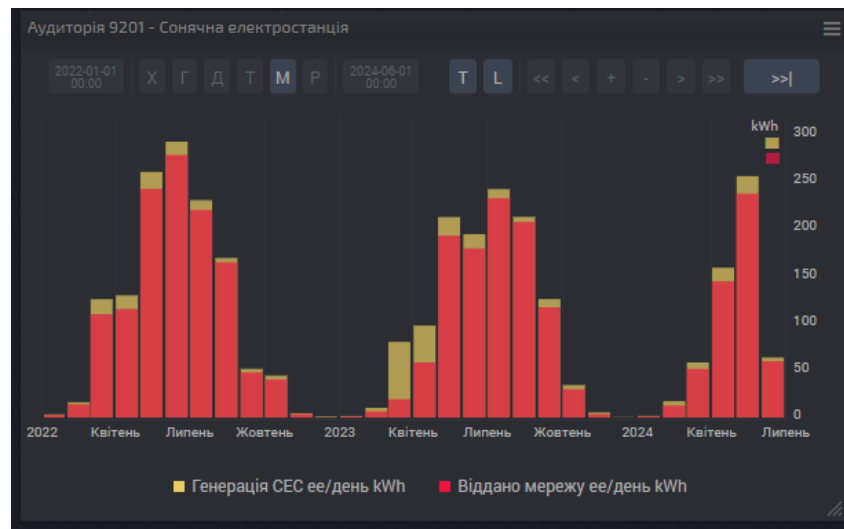


Рисунок 3.5 – Графік генерації СЕС за день та кількість відданої електроенергії в мережу

Таблиця 3.1 – Споживання електричної енергії та витрати коштів на неї

Дата та Час	Електроенергія загальне споживання [kWh]	Електроенергія загальне споживання [Грн]	Електроенергія (бойлер) [kWh]	Електроенергія (бойлер) [Грн]	Електроенергія СЕС генерація [kWh]	Електроенергія СЕС віддано в мережу [kWh]
Червень 2024	11.3	35.79	111	35.27	63.9	59.9
Травень 2024	26.8	85.16	33.5	106.15	257.1	238.4
Квітень 2024	47.3	150.41	40.2	127.23	159.6	145.0
Березень 2024	65.5	208.24	39.4	124.88	58.7	51.8
Лютий 2024	58.9	187.36	40.3	127.63	17.4	12.8
Січень 2024	55.9	177.73	40.5	128.40	1.7	1.3
Грудень 2023	76.9	244.39	36.8	116.73	0.4	0.2
Листопад 2023	63.3	201.43	41.9	132.79	5.4	3.5

### **3.1.5 Переваги використання Smart-MAIC Dashboard**

- 1) Інтерактивність: Дашборди забезпечують користувачів зрозумілим і зручним інтерфейсом для взаємодії з даними.
- 2) Персоналізація: Кожен дашборд можна налаштовувати відповідно до потреб конкретної ФЕС, що дозволяє ефективніше аналізувати дані.
- 3) Реальний час: Відображення та аналіз даних у реальному часі допомагають оперативно реагувати на зміни в роботі станції.
- 4) Доступність: Безкоштовний ресурс Smart-MAIC Dashboard забезпечує доступність та економічну ефективність впровадження системи моніторингу.

### **3.2 Порівняння роботи розробленої системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC зі штатною системою моніторингу Fronius Solar Web.**

Для забезпечення ефективного моніторингу та управління фотоелектричними станціями (ФЕС) використовуються різноманітні системи моніторингу. У цьому розділі порівнюється розроблена універсальна інформаційно-вимірювальна система на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC зі штатною системою моніторингу Fronius Solar Web. Аналіз включає оцінку функціональних можливостей, зручності використання, точності даних та інших ключових параметрів.

#### **3.2.1 Функціональні можливості**

Smart-MAIC:

- 1) Персоналізація дашбордів: Можливість створення окремих дашбордів для кожної ФЕС, що забезпечує персоналізоване відображення даних.
- 2) Реальний час: Відображення даних у реальному часі з можливістю аналізу поточних та історичних даних.

3) Різноманітні параметри: Місцевий час та дата, погода, генерація СЕС, заощаджений CO<sub>2</sub>, перетік згенерованої електроенергії в мережу, напруга на фазах, температура в інверторі, щитку та кімнаті, сила струму, потужність, споживання електроенергії певним приладом.

4) Гнучкість візуалізації: Можливість створення графіків та таблиць для аналізу даних.

5) Система сповіщень: Інформування користувачів про важливі події та аномалії.

#### Fronius Solar Web:

1) Інтеграція з обладнанням Fronius: Тісна інтеграція з інверторами та іншими компонентами Fronius.

2) Моніторинг у реальному часі: Відображення даних у реальному часі з можливістю перегляду історичних даних.

3) Відстеження продуктивності: Інформація про генерацію електроенергії, споживання, стан інвертора, ефективність системи.

4) Аналіз та звіти: Можливість генерування звітів та аналізу продуктивності, хоч і обмежено (рисунок 3.4).

5) Сповіщення про несправності: Система сповіщень про несправності та аномалії в роботі ФЕС.

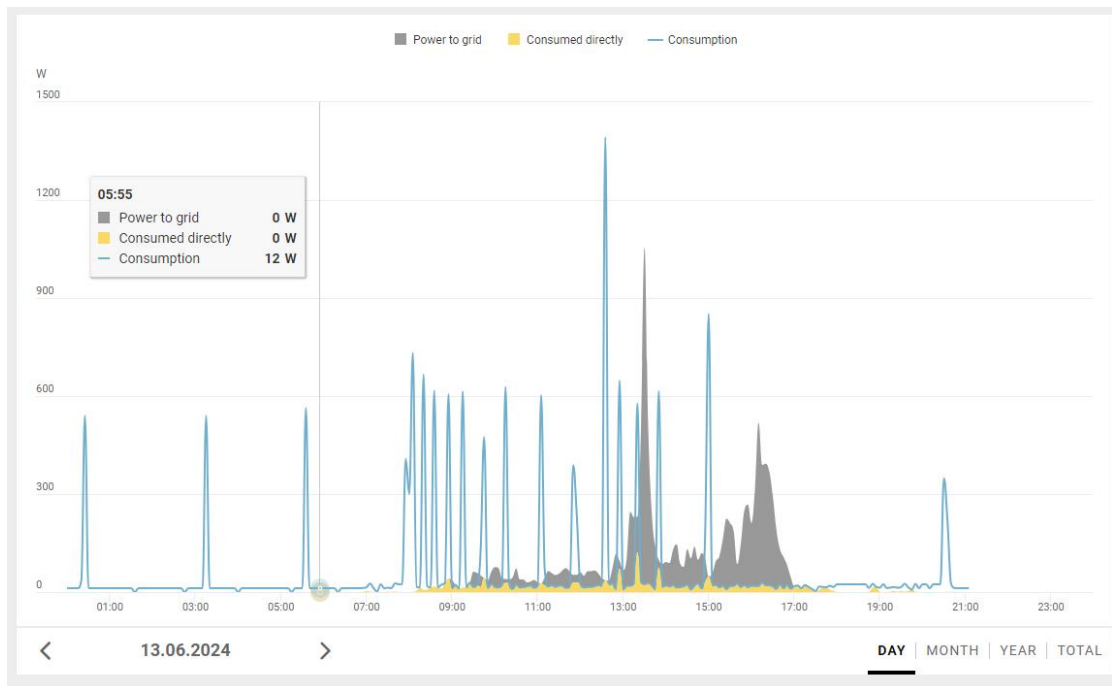


Рисунок 3.6 – Факт обмеження доступу до даних в Solar Web

### 3.2.2 Зручність використання

Smart-МАІС:

1) Інтуїтивний інтерфейс: Зручний і зрозумілий інтерфейс для створення та налаштування дашбордів.

2) Мобільний доступ: Доступність через мобільні пристрої для моніторингу на ходу.

3) Гнучкість налаштувань: Можливість налаштування дашбордів відповідно до потреб користувача.

- Наприклад на рисунку 3.5 можна зрозуміти що було планове вимкнення мережі з 18:00 по 20:10.



Рисунок 3.7 – Графік напруги в мережі по хвилино

Fronius Solar Web:

- 1) Єдиний портал: Централізований веб-портал для моніторингу всіх аспектів ФЕС.
- 2) Мобільні додатки: Мобільні додатки для Android та iOS для зручного доступу до даних.
- 3) Автоматичні звіти: Генерація автоматичних звітів для аналізу продуктивності.

### 3.2.3 Точність даних

Smart-MAIC:

- 1) Висока точність: Інтелектуальні прилади забезпечують високу точність збору та передачі даних.
- 2) Можливість калібрування: Опції калібрування сенсорів для забезпечення максимальної точності.

Fronius Solar Web:

- 1) Надійність: Дані надаються безпосередньо від обладнання Fronius, що мало б гарантувати високу точність та надійність, але на рисунку 3.6 зрозуміло що система SolarWeb показує споживання бойлера вночі

540Вт. Хоча на рисунку 3.7 зрозуміло, що споживання бойлера насправді більше ніж 1200Вт, що більше схоже на правду враховуючи технічні характеристики (рисунок 3.8). Тому на точність і надійність показників оригінального програмно забезпечення Fronius не варто опиратися.

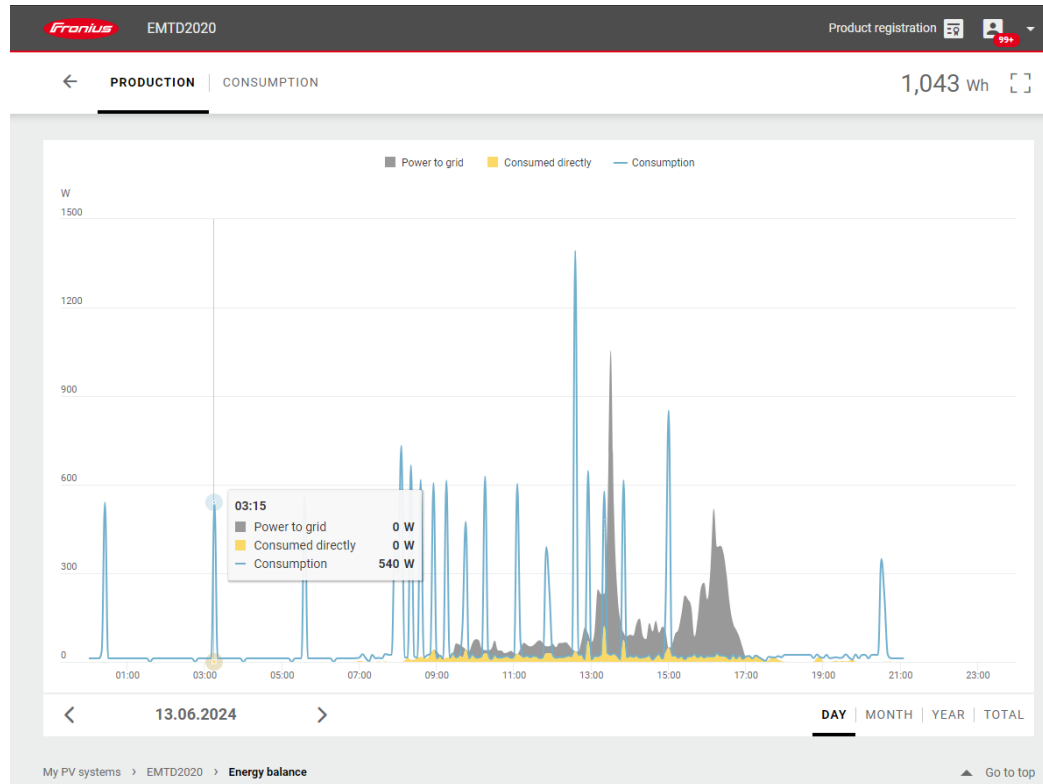


Рисунок 3.8 – Споживання бойлера в застосунку Solar Web

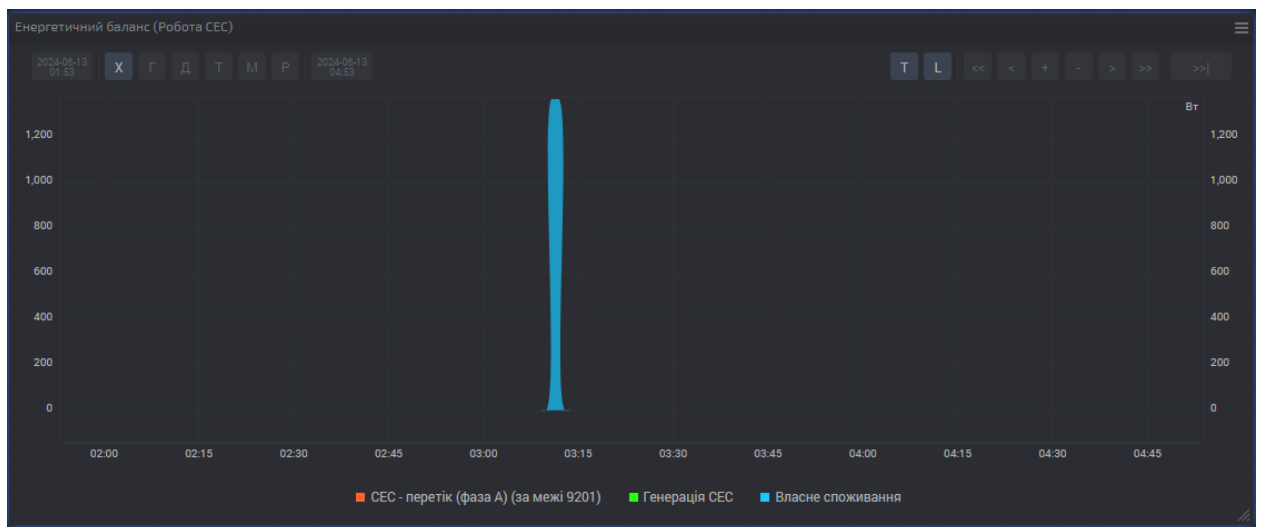


Рисунок 3.9 – Споживання бойлера в дашборі Smart-MAIC



Рисунок 3.10 – Технічні характеристики бойлера

Таблиця 3.2 – Порівняння поденної генерації СЕС в моніторингу SolarWeb та smart-МАІС

Генерація СЕС поденно		
Дата	SolarWeb кВт/г	smart-МАІС кВт/г
01.05.2024	11,63	11,38
02.05.2024	9,3	9,06
03.05.2024	11,34	11,11
04.05.2024	11,9	11,67
05.05.2024	11,33	11,09
06.05.2024	8,32	8,1
07.05.2024	2,4	2,24
08.05.2024	1,3	1,13
09.05.2024	9,72	9,48
10.05.2024	10,02	9,78
11.05.2024	1,67	1,52
12.05.2024	7,49	7,27
13.05.2024	11,04	10,78
14.05.2024	9,65	9,41

## Продовження таблиці 3.2

15.05.2024	9,67	9,42
16.05.2024	12,59	12,36
17.05.2024	12,73	12,44
18.05.2024	1,94	1,78
19.05.2024	8,83	8,61
20.05.2024	6,57	6,35
21.05.2024	9,61	9,37
22.05.2024	11,36	11,1
23.05.2024	10,41	10,17
24.05.2024	9,81	9,58
25.05.2024	11,31	11,07
26.05.2024	12,12	11,83
27.05.2024	9,87	9,62
28.05.2024	5,31	5,16
29.05.2024	5,75	5,54
30.05.2024	0,64	0,49
31.05.2024	8,46	8,26
Сума	264,09	257,17

За отриманими даними з таблиці 3.2, зрозуміло що різниця показників різних моніторингів однієї ж СЕС, дорівнює 6,92 кВт/г.

Таблиця 3.3 – Порівняння помісячної генерації СЕС в моніторингу SolarWeb та smart-МАІС

Генерація СЕС помісячно		
Дата	SolarWeb кВт/г	smart-МАІС кВт/г
Січень	2,59	1,6
Лютий	11,96	10,34
Березень	84,24	80,46
Квітень	102,2	97,97
Травень	219,98	213,52
Червень	201,43	195,33
Липень	249,72	243,2
Серпень	219,77	213,7
Вересень	130,7	126,11
Жовтень	37,84	34,6
Листопад	6,81	5,4
Грудень	0,83	0,4
Сума	1268,07	1222,63

За отриманими даними з таблиці 3.3, зрозуміло що різниця показників

різних моніторингів однієї ж СЕС, дорівнює 45,44 кВт/г.

Завдяки наведеним рисункам, таблицям та отриманим з них даних, можна вказати на те, що показники SolarWeb не є точними.

### 3.2.4 Інтеграція та сумісність

Smart-МАІС:

- 1) Широка сумісність: Можливість інтеграції з різноманітними типами обладнання та датчиків.

Наприклад на кафедрі встановлено бойлер нагрівання води, який було дообладнано датчиком температури води (рисунок 3.9). Також до бойлера підключено окремий лічильник за допомогою якого, можна дізнатись споживання (рисунок 3.10).



Рисунок 3.11 – Датчик температури вмонтований в бойлер



Рисунок 3.12 – Електрична щитова СЕС, де використано однофазний електромеханічний лічильник

2) Модульність: Гнучка модульна архітектура, що дозволяє легко розширювати систему.

Fronius Solar Web:

1) Інтеграція з продуктами Fronius: Оптимальна сумісність з інверторами та іншими компонентами Fronius.

2) Обмежена сумісність: Основна орієнтація на продукти Fronius може обмежувати інтеграцію з іншими системами.

### 3.2.5 Переваги та недоліки

Smart-MAIC:

1) Переваги:

- Висока гнучкість і персоналізація.
- Широкий набір функцій для моніторингу та аналізу даних.

- Безкоштовність використання.

## 2) Недоліки:

- Можливі труднощі з інтеграцією з деякими специфічними компонентами.
- Необхідність використання заводського програмного забезпечення для дистанційного обслуговування інвертора

## Fronius Solar Web:

### 1) Переваги:

- Проста інтеграція з обладнанням Fronius: Система легко інтегрується з інверторами та іншими компонентами, що виробляються компанією Fronius, забезпечуючи зручне та безперебійне функціонування.
- Зручні автоматичні звіти та сповіщення: Користувачі отримують автоматичні звіти та сповіщення про стан системи, що дозволяє їм оперативно реагувати на зміни та потенційні проблеми.

### 2) Недоліки:

- Обмежена сумісність з обладнанням інших виробників: Система має обмежену сумісність з обладнанням інших виробників, що може обмежувати можливості інтеграції у випадку використання компонентів від різних виробників..
- Можливі витрати на підписку для повного функціоналу: Для доступу до повного функціоналу системи може знадобитися оформлення платної підписки, вартість якої становить 20 €, що може бути додатковим фінансовим навантаженням для користувачів.

## 3.3 Висновки до розділу 3

Проведені тестування та порівняння з іншими системами дозволили виявити основні переваги та недоліки розробленого рішення на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC.

### **3.3.1 Тестування роботи розробленої універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC**

Тестування системи smart-MAIC показало високу ефективність і точність у зборі та візуалізації даних. Система дозволяє в реальному часі контролювати різноманітні параметри, такі як генерація електроенергії, напруга, сила струму, температура, та інші важливі показники роботи ФЕС. Використання інтелектуальних приладів дозволяє здійснювати детальний аналіз і оперативно реагувати на будь-які відхилення чи аномалії в роботі станції. Висока гнучкість і персоналізація інтерфейсу Smart-MAIC Dashboard забезпечують зручність використання та адаптацію під конкретні потреби користувача.

### **3.3.2 Порівняння роботи розробленої системи моніторингу ФЕС на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC зі штатною системою моніторингу Fronius Solar Web**

Порівняння smart-MAIC із штатною системою моніторингу Fronius Solar Web виявило наступні ключові моменти:

1) Функціональність: Обидві системи надають можливість моніторингу в реальному часі та аналізу історичних даних, але smart-MAIC пропонує ширший набір параметрів для відстеження та більшу гнучкість у налаштуваннях.

2) Зручність використання: Smart-MAIC Dashboard забезпечує інтуїтивний інтерфейс і можливість налаштування дашбордів під конкретні потреби, тоді як Fronius Solar Web пропонує централізований портал із мобільними додатками.

3) Точність даних: Обидві системи демонструють високу точність збору та передачі даних. Smart-Maіc дозволяє калібрування сенсорів, що може додатково підвищити точність.

4) Інтеграція та сумісність: Smart-MAIC відрізняється ширшою сумісністю з різним обладнанням, тоді як Fronius Solar Web оптимізований для роботи з продуктами Fronius.

5) Сповіщення та звіти: Обидві системи мають розвинені функції сповіщень і звітів, проте smart-MAIC надає додаткові можливості для налаштування та персоналізації сповіщень.

### **3.3.3 Загальні висновки**

Дослідження показало, що розроблена універсальна інформаційно-вимірювальна система на базі інтелектуальних приладів smart-MAIC є конкурентоспроможною альтернативою штатним системам моніторингу, таким як Fronius Solar Web. Основні переваги smart-MAIC включають високу гнучкість, широку сумісність, інтуїтивний інтерфейс і багатофункціональність. Це робить її привабливим варіантом для користувачів, які шукають персоналізоване та адаптивне рішення для моніторингу ФЕС. У той же час, Fronius Solar Web залишається надійним вибором для користувачів, що вже використовують обладнання Fronius і потребують інтеграції системи моніторингу саме з цим обладнанням.

## ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі досліджено універсальну інформаційно-вимірювальну систему моніторингу мережевої фотоелектричної станції на базі інтелектуальних приладів smart-МАІС.

1. Аналіз побудови і функціонування систем моніторингу мережевих ФЕС:
  - Вивчено принципи роботи та сфери застосування мережевих ФЕС.
  - Проведено аналіз українського ринку мережевих і гібридних інверторів.
  - Проаналізовано системи моніторингу від Huawei, Solax, Deye та Fronius, виявлено їхні переваги та недоліки.
  - Визначено недоліки існуючих систем і сформульовано завдання для подальшої розробки.
2. Розробка універсальної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ФЕС:
  - Розглянуто принцип дії системи на базі smart-МАІС.
  - Змонтовано навчальну мережеву фотоелектричну станцію кафедри.
  - Проведено покроковий процес розроблення системи моніторингу, включаючи вибір сенсорів, налаштування комунікаційного модуля, інтеграцію та тестування.
  - Розглянуто апаратну та програмну частини системи.
3. Дослідження роботи системи:
  - Проведено тестування системи на базі smart-МАІС у реальних умовах.
  - Порівняно роботу розробленої системи з штатною системою моніторингу Fronius Solar Web.

Результати показали, що розроблена система забезпечує високий рівень точності та надійності збору даних, гнучкість у налаштуваннях та можливості для подальшого розширення функціоналу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ДЛЯ БУДІВЛІ УНІВЕРСИТЕТУ / Яворський А. В. – Івано-Франківськ, 2022. – 12 с.
2. Колонтаєвський Ю. П. ФОТОЕНЕРГЕТИКА / Ю. П. Колонтаєвський. – Харків, 2019. – 162 с.
3. Відновлювальні Джерела Енергії – Варшава – Краків – Полтава: о OWG, Варшава, 2012. – 649 с. – (друге видання).
4. Немикіна О. В. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії / О. В. Немикіна. – Запоріжжя, 2020. – 188 с. – (ISBN 978-617-529-289-1).
5. Szymanski B. INSTALACJE FOTOWOLTAICZNE / Bogdan Szymanski. – Krakow, 2018. – 175 с. – (GLOBENERGIA).
6. Моніторинг ресурсів на всі випадки! [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://smart-maic.com/uk/>.
7. Проблема з входом в Solarman [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://greenpowertalk.tech/threads/problema-so-vxodom-v-solarman.1147/>.
8. МОНІТОРИНГ ФОТОВОЛЬТАЇЧНОЇ СИСТЕМИ НА ПОРТАЛІ FRONIUS SOLAR.WEB [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/xeo6jTSd>.
9. Переходимо на сонячну енергію та надаємо енергію змінам разом [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://solar.huawei.com/ua/>.
10. Solax Cloud FAQ [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://kb.solaxpower.com/support/detail/40289f01880935d5018809812f50005a>.
11. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: saee.gov.ua

12. ПРИНЦИП РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ [Електронний ресурс] // SolarGarden. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.solargarden.com.ua/merezhevi-sonyachni-elektrostantsiyi/>.
13. Сонячні електростанції для бізнесу та підприємств для власного споживання [Електронний ресурс] // solarsystem. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://solarsystem.com.ua/sonyachni-elektrostantsiyi-dlya-biznesu-ta-pidpryyemstv-dlya-vlasnogo-spozhyvannya/>.
14. Для чого потрібен онлайн-моніторинг СЕС [Електронний ресурс] // Еко-Ціль. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://xn--e1akdl4byb6d.com.ua/bez-katehorii/dlya-choho-potriben-onlayn-monitorynh-ses-fronius-solar-web/>.
15. Лічильник електроенергії трьохфазний до 65кВт і 130кВт [Електронний ресурс] // Smart-МАІС. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/wepFtxjA>.