

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**АДАПТИВНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОВИТРАТ В
РОЗУМНОМУ БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОМАШНЬОЇ
СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

**ADAPTIVE CONTROL AND MONITORING SYSTEM OF
ENERGY CONSUMPTION IN A SMART HOUSE USING A
SOLAR POWER PLANT**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи КІМ-21
Никонюк Сергій Васильович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Поліщук Микола Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
« » грудня 2025 р.

Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Гринюк Сергій Васильович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Т.ТЕРЛЕЦЬКИЙ

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Никонюка Сергія Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Адаптивна система моніторингу енерговитрат в розумному будинку з використанням домашньої сонячної електростанції.

Керівник роботи к.т.н., доцент Поліщук Микола Миколайович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» червня 2025 року № 290/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 09.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області, різні інтернет-ресурси технічного спрямування

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

Вступ

Теоретичні основи адаптивної системи моніторингу енерговитратами в розумному будинку з використанням сонячної станції.

Апаратна реалізація адаптивної системи моніторингу енерговитрат в розумному будинку з використанням сонячної станції

Реалізація та дослідження роботи системи

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теоретичні основи адаптивної системи моніторингу енерговитратами</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Апаратна реалізація адаптивної системи моніторингу енерговитрат</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Реалізація та дослідження адаптивної системи моніторингу енерговитрат</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст.викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 18.06.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	До 01.08.2025 р.	
2.	<i>Вибір апаратної та програмної бази для проєкту</i>	До 20.08.2025 р.	
3.	<i>Реалізація та дослідження адаптивної системи керування енерговитратами</i>	До 25.09.2025 р.	
4.	<i>Висновки та пропозиції</i>	До 20.10.2025 р.	
5.	<i>Оформлення роботи згідно нормокontroлю</i>	До 25.10.2025 р.	
6.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	До 27.10.2025 р.	
7.	<i>Формування додатків</i>	До 30.10.2025 р.	
8.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	До 05.11.2025 р.	
9.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	До 11.11.2025 р.	
10.	<i>Нормоконтроль</i>	До 29.11.2025 р.	
11.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	До 02.12.2025 р.	
12.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедрі</i>	До 09.12.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Никонюк С. В.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Поліщук М. М.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Никонюк С. В. Адаптивна система моніторингу енерговитрат в розумному будинку за допомогою сонячної електростанції. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У першому розділі було розглянуто сучасні методи систем моніторингу та керування енерговитратами у розумному будинку. Також було розглянуто список датчиків розумного будинку.

В другому розділі було розглянуто існуючі рішення систем моніторингу та керування енерговитратами. Також було розглянуто протоколи зв'язку у системах розумного будинку: Zigbee, Modbus, Wi-Fi та MQTT.

Третій розділ присвячено розробці адаптивної системи моніторингу та керування енерговитратами у розумному будинку в поєднанні з сонячною системою. Було проведено дослідження на тему як система впливає на енергогенерацію сонячної енергії в розумному будинку

Ключові слова: розумний будинок, сонячна станція, Zigbee, розумна розетка, моніторинг енерговитрат.

ANNOTATION

Nukonyk S. Adaptive control and monitoring system of energy consumption in a smart house using a solar power plant. Manuscript.

Qualifying work of a Master's of EP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The master's qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The first chapter reviews modern methods of monitoring and controlling energy consumption in smart homes. It also examines the range of sensors used in smart home systems.

The second chapter analyzes existing solutions for energy consumption monitoring and control systems. Communication protocols used in smart home systems – such as Zigbee, Modbus, Wi-Fi, and MQTT – are also discussed.

The third chapter focuses on the development of an adaptive system for monitoring and controlling energy consumption in a smart home integrated with a solar power system. A study was conducted to determine how the proposed system influences solar energy generation within the smart home.

Keywords: smart home, solar power plant, Zigbee, smart socket, energy consumption monitoring.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ МЕТОДИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТАМИ	11
1.1 Базові принципи економії енерговитратами у будинку з сонячною електростанцією.....	11
1.2 Методи вимірювання енергоспоживання у будинку.....	13
1.3 Методи керування енерговитратами у розумному будинку.....	22
1.4 Датчики в розумному будинку.....	24
РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ	37
2.1 Аналіз існуючих рішень систем моніторингу та керування енерговитратами.....	37
2.2 Огляд протоколів зв'язку у системах розумного будинку: Zigbee, Modbus, Wi-Fi та MQTT.....	39
2.3 Аналіз програмного забезпечення для систем моніторингу та керування енерговитратами.....	44
2.3.1 Smart-Life.....	46
2.3.2 Home Assistant.....	48
2.3.3 OpenHAB.....	50
2.3.4 Deye Cloud.....	52
2.3.5 TuYa.....	53
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТАМИ	56
3.1 Опис роботи сонячної електростанції.....	56
3.2 Принципова схема датчиків і робота системи.....	59
3.3 Розробка датчика моніторингу заряду акумулятора на базі ESP32.....	61
3.4 Робота БМС у акумуляторній збірці і схема підключення до ESP32....	64
3.5 Методи та результати досліджень роботи системи.....	68
3.6 Результати досліджень.....	69

ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТКИ.....	76

ВСТУП

Сучасний розвиток технологій «розумного дому» відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності та зменшення витрат на електроенергію. Зростання вартості енергоресурсів і необхідність екологічно чистих джерел живлення стимулюють використання альтернативної енергетики, зокрема сонячних електростанцій. Проте ефективність їх роботи значною мірою залежить від того, наскільки раціонально використовується вироблена енергія та як саме здійснюється контроль її споживання.

В умовах динамічної зміни навантаження в побутових системах виникає потреба у створенні адаптивних систем моніторингу енерговитрат, які можуть автоматично реагувати на зміни зовнішніх факторів і внутрішніх потреб будинку. Такі системи дозволяють не лише відстежувати споживання енергії в реальному часі, а й оптимізувати роботу побутових приладів, враховуючи поточний рівень генерації сонячної енергії, заряд акумуляторів і пріоритетність споживачів.

Інтеграція домашньої сонячної електростанції у структуру розумного будинку створює основу для енергонезалежності та екологічної стабільності. Застосування адаптивних алгоритмів керування забезпечує гнучке реагування на зміну умов – від погоди до поведінки користувачів. У результаті формується інтелектуальна система, здатна самостійно балансувати генерацію, зберігання та споживання енергії, що підвищує комфорт проживання і зменшує рахунки за електроенергію майже до нуля.

Метою дослідження є розробка та обґрунтування адаптивної системи моніторингу енерговитрат у розумному будинку, яка забезпечує оптимальне використання електроенергії.

Для реалізації поставленої мети було поставлено ряд завдань:

– аналіз базових принципів економії енерговитрат у будинку з сонячною електростанцією;

- огляд сучасних методи вимірювання та керування енергоспоживання у будинку;

- аналіз існуючих рішень систем моніторингу та керування енерговитратами;

- аналіз програмного забезпечення для систем моніторингу та керування енерговитратами;

- розробити принципової схеми датчиків і роботи системи;

- дослідити адаптивну системи моніторингу керування енерговитратами.

Об'єкт досліджень – процес вимірювання, збору, передавання, обробки та аналізу даних про споживання й генерацію електроенергії у побутових умовах, а також керування електроприладами в залежності від погодніх умов, надлишкової енергії, а також в сучасних умовах виключення сценарію блек-ауту будинку.

Предмет дослідження – апаратні пристрої контролери для реалізації адаптивної системи моніторингу енерговитрат.

У «розумному будинку» така система дозволяє не лише фіксувати дані споживання, а й керувати навантаженнями – наприклад, автоматично зменшувати споживання, коли рівень заряду акумулятора низький, або повного відключення приладів у випадку недостатньої сонячної генерації та відсутності зовнішньої мережі. Завдяки цьому будинок не залишиться без електроенергії яка потрібна для приладів першої необхідності типу води, тепла, інтернету, та систем безпеки.

Водночас більшість користувачів стикається з проблемою нераціонального розподілу виробленої енергії – надлишок у денний час і нестача у вечірній період. Це знижує економічну ефективність використання сонячних панелей та створює потребу у розумному керуванні енергоспоживанням.

Практичне значення полягає у розробці адаптивної системи моніторингу та керування енерговитратами, яка може автоматично аналізувати стан енергомережі, прогнозувати споживання, балансувати навантаження між джерелами живлення та акумуляторам.

Крім того, розвиток технологій Інтернету речей (IoT), бездротових мереж (ZigBee, Wi-Fi) і штучного інтелекту створює передумови для побудови інтелектуальних систем розумного дому, здатних самостійно приймати рішення для підвищення енергоефективності.

Таким чином, розробка адаптивної системи моніторингу енерговитрат у розумному будинку з використанням домашньої сонячної електростанції є актуальним та перспективним напрямом, що відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку, цифровізації та енергетичної незалежності.

Основні результати дослідження кваліфікаційної роботи висвітлено у науковій статті в Технічних вістях [1].

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ МЕТОДИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТАМИ

1.1 Базові принципи економії енерговитратами у будинку з сонячною електростанцією

Побутові сонячні електростанції (СЕС) стали одним із найбільш ефективних способів знизити залежність від традиційних джерел енергії та зменшити витрати на електроенергію [2]. Проте встановлення сонячних панелей саме по собі не гарантує максимальну економію. Ефективність визначається тим, наскільки грамотно організовано споживання та зберігання енергії в будинку. Раціональне використання енергоресурсів у поєднанні з правильною роботою СЕС дозволяє досягти максимальної автономності та суттєво зменшити рахунки за електроенергію. Сонячна електростанція виробляє найбільше енергії саме вдень, тому важливо перенести частину енергоємних процесів на період активного сонячного випромінювання.

Основні заходи які можна застосувати для економії енерговитратами:

- запуск пральних і посудомийних машин у денні години;
- нагрівання води за допомогою бойлера в період пікової генерації;
- робота автополиву в день коли великий надлишок сонячної генерації;
- робота кондиціонера чи теплового насоса у денний час;
- зарядка акумулятору будинку лише надлишковою енергією.

Такий підхід дозволяє максимально використовувати власну енергію та мінімізувати споживання з мережі. В поєднанні з акумуляторною батареєю можна зберігати надлишки сонячної енергії та використовувати їх уночі або в періоди низької генерації, звівши рахунки на електроенергію майже до нуля.

Також використання системи накопичення енергії дають такі переваги:

- відмова від дорогих нічних тарифів;
- можливість повної або часткової автономної роботи коли мережа зовсім відсутня;

- зменшення навантаження на мережу що в нинішній час дуже необхідно Україні;

- ефективніше використання надлишковою генерацією яка завжди є у сонячні дні.

Велику роль відіграє якість теплоізоляції будинку. Чим менше тепла втрачається взимку і менше нагрівається приміщення влітку, тим менше електроенергії потрібно для опалення та охолодження. Сонячна станція не компенсує погану енергоефективність будівлі, тому утеплення, заміна вікон і встановлення енергоощадних систем опалення часто дають більший економічний ефект, ніж збільшення кількості панелей.

Освітлення також впливає на загальні витрати. Світлодіодні лампи, датчики руху в коридорах, м'яке нічне підсвічування – усе це допомагає зменшити споживання без втрати комфорту. У багатьох будинках споживання на освітлення є постійним і невидимим, тому його оптимізація дає відчутну економію.

Сонячна електростанція найкраще працює в парі зі системою моніторингу. Навіть простий лічильник або мобільний застосунок допомагає зрозуміти, коли з'являються пікові навантаження, як змінюється генерація протягом року і які пристрої витрачають найбільше. Коли мешканець бачить реальні цифри, приймати рішення про економію стає значно легше. Деякі системи дозволяють автоматично керувати навантаженнями, вмикаючи їх лише тоді, коли є достатня потужність від сонця.

Ще один важливий аспект – вибір енергоефективної техніки. Прилади класу А або з інверторними двигунами не лише зменшують витрати, а й краще поєднуються із змінною генерацією сонячних панелей. Вони плавно регулюють потужність і не створюють різких стрибків споживання.

Поєднання цих принципів дозволяє будинку з сонячною електростанцією працювати значно ефективніше. Економія виникає не лише за рахунок безкоштовної енергії, а й через грамотне використання кожного ват-години – від освітлення до опалення. Завдяки цьому навіть невелика СЕС здатна покривати

значну частину потреб домогосподарства, роблячи його більш незалежним, комфортним і екологічним.

1.2 Методи вимірювання енергоспоживання у будинку

Сучасний розумний будинок базується на точній та безперервній інформації про споживання електроенергії. Саме дані дозволяють системам аналізувати поведінку приладів, оптимізувати роботу обладнання і прогнозувати майбутні енергетичні потреби. Вимірювання енерговитрат стало ключовим елементом ефективної енергетичної інфраструктури, оскільки без глибокого розуміння споживання неможливо створити справді економний та керований будинок [3].

Основою такої системи є смарт-лічильники. На відміну від традиційних, вони передають показники у реальному часі й дозволяють отримувати детальну інформацію про миттєве навантаження, денні піки, середнє споживання та аномалії у роботі техніки. Ці дані стають фундаментом для подальшої аналітики. Завдяки цьому власник може бачити, коли енергія витрачається найбільше, які прилади працюють неефективно та як змінюється споживання протягом доби чи сезону.

Додаткову роль відіграють локальні датчики, встановлені на окремих групах споживачів або безпосередньо на приладах. Вони дозволяють вимірювати потужність більш точно – наприклад, визначати реальне споживання холодильника, кондиціонера, бойлера чи зарядного пристрою. Такий підхід створює «портрет» роботи кожного пристрою, що допомагає розпізнавати нераціональне споживання або ранні ознаки несправностей.

Дані, що збираються з лічильників та датчиків, об'єднуються у центральному контролері або хмарному сервісі. Тут вони зберігаються, аналізуються і перетворюються на корисну інформацію. Завдяки алгоритмам обробки можливо виявляти закономірності: коли зростає вечірнє навантаження, як змінюється споживання у вихідні, чи є зайва робота техніки вночі. Такі

аналітичні системи здатні не лише показувати статистику, а й прогнозувати майбутнє навантаження, допомагаючи раціонально планувати споживання.

Особливо важливим вимірювання стає тоді, коли розумний будинок працює у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії, наприклад, сонячними панелями. У цьому випадку система повинна не лише фіксувати споживання, а й контролювати генерацію. Порівняння цих двох потоків дозволяє оптимізувати роботу приладів: перенести частину споживання на денний період, краще використовувати надлишок енергії чи зменшити потребу в акумуляторі.

Ще один напрям – використання даних для автоматичного керування. Коли система має точну інформацію про споживання, вона може самостійно налаштовувати роботу окремих пристроїв: вимикати непотрібні навантаження, зменшувати роботу нагрівальних елементів, оптимізувати роботу кліматичних систем. Це створює баланс між комфортом та енергозбереженням, практично без участі користувача.

Таким чином, вимірювання енергоспоживання та якісний збір даних є основою для ефективного управління електроенергією у розумному будинку. Чим точніша інформація – тим більше можливостей для економії, автоматизації та підвищення енергетичної незалежності. У таких системах кожна змінна стає важливою, адже вона допомагає будинку працювати зі злагодженістю складного, але дуже ефективного механізму.

До основних методів вимірювання енергоспоживання належать:

- вимірювання за допомогою смарт-лічильників;
- модульні wi-fi датчики в щитку (розумний автомат);
- локальні датчики енерговитрат (смарт розетки);
- вимірювання електроспоживання неінвазивними датчиками струму;
- вбудовані датчики у обладнанні (інвертори, теплові насоси, зарядні станції).

Вимірювання реалізується за допомогою смарт-лічильників (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Смарт лічильник [4]

Вони замінюють традиційні індукційні та електронні лічильники, які лише фіксували сумарне споживання електроенергії. Смарт-пристрої роблять значно більше: вони передають дані у реальному часі, дозволяють віддалено керувати обліком і забезпечують повну прозорість енергетичних процесів у будинку чи на підприємстві.

Основною відмінністю смарт-лічильників є їх здатність автоматично передавати дані постачальнику та користувачу. Завдяки цьому зникає потреба знімати показники вручну, а інформація оновлюється щохвилини або навіть щосекунди. Власник може бачити графіки навантаження, дізнаватися, у які години споживання пікове, і як змінюється поведінка системи протягом доби. Це формує розуміння того, куди саме витрачається електроенергія, та допомагає приймати зважені рішення щодо оптимізації.

У середині смарт-лічильника працює мікроконтролер, який вимірює струм, напругу, частоту та фазні параметри. Дані передаються через вбудований модуль зв'язку – Wi-Fi, GSM, ZigBee, LoRaWAN або дротові інтерфейси. Точність таких пристроїв зазвичай вища, ніж у звичайних лічильників, адже вимірювання проводяться безперервно, а контроль якості електроенергії є частиною їхньої функціональності.

Ключове значення смарт-лічильники отримали в розумних будинках. Вони стають центром енергетичного моніторингу, надаючи системі дані про поточне

навантаження. У поєднанні з аналітичним програмним забезпеченням лічильник дозволяє виявляти аномалії: надмірне споживання, некоректну роботу приладів або порушення електричних параметрів. Система може оперативно повідомляти власника про перевантаження чи незвичні коливання. Це підвищує безпеку і дозволяє своєчасно реагувати на несправності.

Особливо важливим використанням смарт-лічильників стає при інтеграції з відновлюваними джерелами енергії. У будинку з сонячною електростанцією лічильник фіксує не лише споживання, а й експорт або імпорт енергії з мережі. Завдяки цьому можна контролювати ефективність генерації, рівень самозабезпечення та баланс між власною енергією і тією, що надходить від постачальника. У деяких системах смарт-лічильник навіть дозволяє керувати надлишками – спрямовувати їх у батарею або на додаткові навантаження.

Для енергетичних компаній такі лічильники є інструментом цифровізації. Вони дають змогу оперативно керувати навантаженнями, впроваджувати гнучкі тарифи, контролювати якість електропостачання та швидко виявляти аварійні ділянки. Автоматичний збір даних зменшує людський фактор і спрощує роботу всієї енергосистеми.

Таким чином, смарт-лічильники відіграють важливу роль у переході до сучасних, цифрових енергомереж. Для користувачів це зручність, прозорість і можливість реальної економії. Для енергетичних компаній – точні дані та ефективне управління ресурсами. У майбутньому їхній функціонал тільки зростатиме, роблячи будинки більш автономними, а мережі – гнучкішими та стабільнішими.

Модульні wi-fi датчики в щитку (розумний автомат) представлено на рисунку 1.2.

На відміну від звичайного автоматичного вимикача, розумний Wi-Fi автомат не лише захищає лінію від перевантажень та коротких замикань, а й надає користувачеві інформацію про стан лінії та споживання електроенергії.

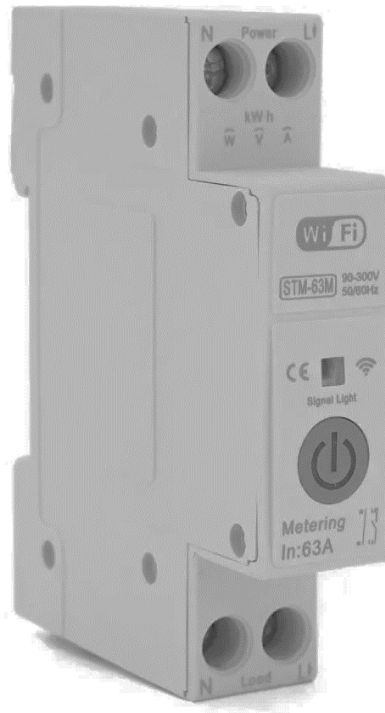


Рисунок 1.2 – Розумний WI-FI автомат [5]

Підключений до Wi-Fi мережі, він може передавати дані на смартфон або комп'ютер, а також отримувати команди на вмикання або вимикання навантаження. Це дає змогу інтегрувати його у систему «розумного дому» і автоматизувати роботу побутових приладів.

Основна перевага таких автоматів – можливість дистанційного контролю. Наприклад, користувач може відключити електроприлади з будь-якої точки світу або налаштувати графік роботи техніки: вмикати світло, кондиціонер, електроопалення або зарядку електромобіля у потрібні години. Такий підхід дозволяє не тільки підвищити безпеку, а й економити електроенергію, оскільки споживання можна оптимізувати відповідно до наявності власної енергії, наприклад, від сонячної електростанції.

Розумний Wi-Fi автомат також надає точні дані про споживання в реальному часі. Це дозволяє відстежувати пікові навантаження, контролювати роботу енергоємних приладів і виявляти потенційні проблеми на ранній стадії. У будинку з домашньою сонячною електростанцією такі дані особливо важливі,

оскільки дозволяють узгодити споживання з виробленням енергії та підвищити частку самозабезпечення.

Інтеграція Wi-Fi автоматів у системи домашньої автоматизації робить можливим використання алгоритмів «розумного керування». Прилади можуть вмикатися або вимикатися залежно від часу доби, зовнішньої температури, наявності сонячної енергії або сигналів від інших датчиків. Це створює ефективну, безпечну та енергозберігаючу екосистему будинку.

Таким чином, розумний Wi-Fi автомат – це не просто захисний елемент електромережі, а важливий компонент сучасного розумного будинку. Він дозволяє одночасно контролювати споживання, підвищувати безпеку, автоматизувати процеси та економити енергію, роблячи будинок більш автономним та технологічним.

Смарт-розетки представлено на рисунку 1.3 вони виконують декілька функцій одночасно. По-перше, вони дозволяють дистанційно вмикати або вимикати підключений прилад через мобільний застосунок або систему «розумного дому». По-друге, вони оснащені вбудованими датчиками струму та напруги, які фіксують миттєве споживання, накопичену енергію за добу чи місяць та інші параметри електропостачання. Це дозволяє користувачу бачити, які пристрої витрачають найбільше енергії, і планувати їх використання більш раціонально.



Рисунок 1.3 – Розумна смарт розетка [6]

Однією з головних переваг смарт-розеток є точність вимірювань на рівні окремого приладу. Це особливо важливо для енергоємних пристроїв, таких як бойлери, кондиціонери або електроплити, адже локальний контроль дозволяє виявляти перевитрату енергії, некоректну роботу або несправності. Наприклад, якщо холодильник починає споживати більше електроенергії, ніж зазвичай, система може повідомити власника про потенційну поломку.

Інтеграція смарт-розеток у розумний будинок дозволяє створювати автоматизовані сценарії. Вони можуть вмикати прилади тільки в години високої генерації сонячної енергії, відключати непотрібні навантаження у нічний час або реагувати на зовнішні умови, наприклад температуру або присутність мешканців у кімнаті. Такий підхід не лише підвищує комфорт, а й економить електроенергію.

Смарт-розетки також відіграють важливу роль у побудові аналітичної системи будинку. Дані про споживання з кількох розеток можна збирати централізовано, аналізувати тенденції та оптимізувати роботу всього енергоспоживання. Це особливо ефективно, коли будинок оснащений відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі, оскільки дозволяє синхронізувати навантаження з виробленням енергії.

Таким чином, локальні датчики споживання, інтегровані в смарт-розетки, є невід'ємною частиною сучасних систем моніторингу та автоматизації енергоспоживання. Вони забезпечують точний контроль над кожним приладом, дозволяють економити електроенергію, підвищують безпеку і створюють умови для інтелектуального керування домашніми системами.

Неінвазивні датчики струму, також відомі як кліпсові або трансформаторні датчики, працюють на принципі електромагнітної індукції. Вони «обхоплюють» провідник і вимірюють магнітне поле, що виникає при проходженні струму. Цей метод дозволяє визначати миттєве споживання електроенергії, не втручаючись у роботу електричної мережі та не створюючи ризику короткого замикання (рис 1.4).

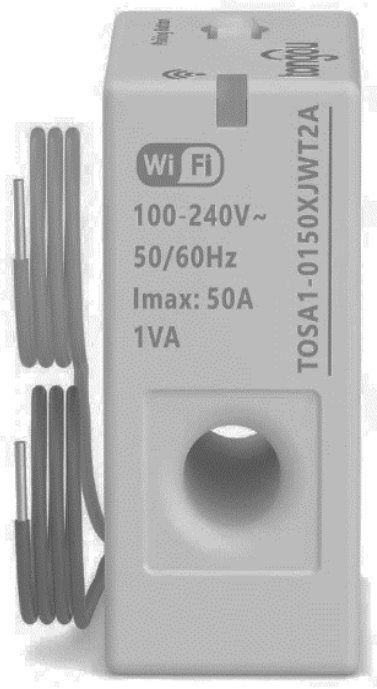


Рисунок 1.4 – Неінвазивний датчик струму [7]

Основна перевага неінвазивних датчиків – простота встановлення. Вони не потребують втручання у внутрішню проводку і можуть бути швидко змонтовані на існуючі лінії. Це робить їх ідеальними для модернізації старих будинків або для тимчасових експериментальних систем моніторингу.

Неінвазивні датчики добре підходять для загального контролю навантажень у будинку або на окремих групах споживачів. Вони дозволяють відстежувати пікові навантаження, середнє споживання, а також зміну струму впродовж дня. У поєднанні з контролерами або хмарними сервісами такі дані стають основою для аналітики, оптимізації графіків роботи побутових приладів та економії електроенергії.

Хоча неінвазивні датчики зручні і безпечні, вони мають деякі обмеження. Їх точність менша порівняно з прямим вимірюванням через смарт-лічильники або реле. Також вони можуть бути чутливі до електромагнітних наводок та інших сторонніх впливів, тому для критично точних вимірювань часто використовують додаткову калібровку або комбінують із іншими методами збору даних.

Особливо ефективно застосування таких датчиків у поєднанні із сонячними електростанціями. Вони дозволяють відстежувати розподіл

споживаної та виробленої енергії, оцінювати ефективність генерації та правильно синхронізувати навантаження з піковими періодами виробництва електроенергії.

Таким чином, неінвазивні датчики струму є важливим інструментом для безпечного, простого та ефективного моніторингу енергоспоживання. Вони надають можливість отримувати дані у реальному часі, аналізувати навантаження і оптимізувати використання електроенергії, роблячи будинок більш розумним та енергоефективним.

Вбудовані датчики енергоспоживання – це електронні модулі, які інтегровані безпосередньо у сучасне енергетичне обладнання і призначені для вимірювання електричних параметрів під час роботи пристрою. Вони дозволяють відстежувати споживання електроенергії, напругу, струм, потужність та інші важливі показники без необхідності додаткових зовнішніх приладів.

В інверторах сонячних електростанцій вбудовані датчики представлені на рисунку 1.5 дозволяють контролювати як генерацію електроенергії від панелей, так і споживання будинку. Вони формують повну картину енергетичних потоків, фіксують обсяги виробленої та спожитої електроенергії і допомагають оптимізувати використання надлишкової потужності, наприклад, перенаправляючи її на побутові прилади чи заряд батарей. Це забезпечує підвищення ефективності системи і дозволяє максимізувати використання власної енергії.

У зарядних станціях для електромобілів датчики відстежують процес зарядки, вимірюють подану електроенергію та допомагають регулювати швидкість зарядки в залежності від доступної потужності будинку або вироблення сонячних панелей. Завдяки цьому можна одночасно захищати мережу від перевантажень і забезпечувати економне використання енергії. Датчики також дозволяють планувати зарядку в години пікової генерації або з урахуванням тарифів електропостачання.



Рисунок 1.5 – Датчик струму інвертора [8]

Теплові насоси, як важливий енергоємний компонент систем опалення та охолодження, використовують вбудовані датчики для оцінки споживання електроенергії компресором та допоміжними нагрівальними елементами. Дані про енергоспоживання допомагають визначати ефективність роботи пристрою та інтегрувати його роботу з іншими системами будинку, наприклад, автоматично активуючи насос у години високої генерації сонячної електростанції.

Вбудовані датчики забезпечують високу точність вимірювань та дозволяють централізовано збирати інформацію для аналітики та автоматизації. Вони роблять можливим інтелектуальне керування навантаженням, оптимізацію використання енергії та підвищення загальної ефективності будинку, особливо у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії. Завдяки цьому сучасні системи стають більш автономними, енергоефективними та безпечними.

1.3 Методи керування енерговитратами у розумному будинку

Керування енергоспоживанням у сучасному розумному будинку базується на інтеграції датчиків, контролерів і програмних алгоритмів, які дозволяють

оптимізувати роботу приладів, економити електроенергію та підвищувати комфорт. Завдяки таким системам можна не лише моніторити споживання, а й автоматично регулювати навантаження залежно від умов у будинку та доступної енергії [9].

Одним із прикладів є автоматизація побутових приладів. Смарт-реле та розетки дозволяють вмикати та вимикати освітлення, кондиціонери, нагрівальні прилади або побутову техніку за заздалегідь встановленим графіком або за сигналами датчиків руху і присутності. Наприклад, система може автоматично вимикати світло у кімнаті, якщо там немає людей, або регулювати температуру кондиціонера залежно від наявності мешканців. Такі алгоритми скорочують непотрібне споживання і забезпечують економію енергії без зниження комфорту.

Для будинків із сонячними електростанціями велике значення мають алгоритми балансування навантаження. Контролери можуть направляти енергію на зарядку акумуляторів або живлення побутових приладів у години пікової генерації сонячних панелей, зменшуючи імпорт електроенергії з мережі. Наприклад, пральна машина або бойлер можуть автоматично вмикатися тоді, коли сонячні панелі виробляють максимум енергії. У складніших системах застосовуються прогнозні алгоритми, які аналізують погодні умови та прогнозовану генерацію для оптимізації графіків роботи приладів.

Важливим аспектом є аналітика даних споживання. Вбудовані датчики в інверторах, зарядних станціях, теплових насосах та смарт-розетках фіксують поточне споживання, а програмне забезпечення аналізує тренди та аномалії. Наприклад, якщо холодильник починає споживати більше енергії, ніж зазвичай, система може повідомити власника або автоматично відключити другорядні прилади для зменшення навантаження. Аналітика дозволяє формувати персоналізовані поради щодо економії та автоматично застосовувати їх у системі.

Пріоритетизація навантажень є ще одним методом оптимізації. Система визначає, які пристрої є критичними, а які менш важливі. Холодильник, бойлер або тепловий насос отримують пріоритет, тоді як декоративне освітлення чи

зарядка гаджетів відключаються у години обмеженої генерації або пікових тарифів. Це дозволяє уникнути перевантажень і ефективно використовувати обмежену енергію.

Додатково застосовуються віддалені алгоритми керування через мобільні застосунки та хмарні сервіси. Користувач може відстежувати споживання в реальному часі, вмикати або вимикати прилади на відстані та налаштовувати автоматичні сценарії. У поєднанні зі штучним інтелектом і алгоритмами машинного навчання система може прогнозувати піки споживання та оптимально розподіляти навантаження, роблячи будинок більш автономним та енергоефективним.

Таким чином, сучасні методи керування енерговитратами поєднують автоматизацію, аналітику даних, пріоритетизацію навантажень та інтеграцію з джерелами відновлюваної енергії. Використання смарт-розеток, контролерів, вбудованих датчиків та алгоритмів прогнозування дозволяє не лише економити електроенергію, а й створює безпечну та комфортну систему розумного дому, що адаптується до потреб мешканців і умов зовнішнього середовища.

Принцип роботи системи «розумний будинок» полягає в автоматизації всього, з чого складається житлова споруда: освітлення, кондиціонування, система безпеки, електроенергія, опалення, водопостачання та водовідведення і так далі. Для заощадження електроенергії використовують різні датчики такі як: датчики руху, світла, температури, тиску, вологості, вібрації, напруги акумулятора, потужності генерації від сонця.

1.4 Датчики в розумному будинку

Сучасний розумний будинок неможливо уявити без датчиків, які збирають інформацію про стан приміщення, навколишнє середовище та споживання енергії [10]. Саме завдяки датчикам система автоматизації може приймати рішення, керувати побутовими приладами та забезпечувати комфорт, безпеку і енергоефективність.

До системи розумний будинок входять:

- датчик руху освітленості та присутності людей;
- датчик температури та вологості повітря;
- датчики відкриття дверей та вікон;
- датчик протікання води;
- датчик якості повітря, диму та газу;
- датчик вологості ґрунту;
- головний HUB керування розумним будинком.

Датчики руху є одними з ключових елементів систем розумного дому. Вони одночасно визначають рух, рівень освітлення та присутність людей у приміщенні. Такі датчики дозволяють системі отримувати комплексну інформацію про стан кімнати та навколишнє середовище, що дає змогу автоматично керувати освітленням, кліматичними приладами та іншими побутовими пристроями.

Датчик руху який представлено на рисунку 1.6 фіксує присутність людей у кімнаті та дозволяє вмикати світло, кліматичні системи або інші прилади тільки тоді, коли це необхідно, економлячи електроенергію. Сенсор освітленості вимірює рівень природного або штучного світла в приміщенні, завдяки чому система може регулювати яскравість ламп і підтримувати комфортний рівень освітлення, використовуючи електроенергію ефективно. Датчик присутності визначає, чи перебувають люди в кімнаті протягом тривалого часу, і може автоматично вимикати непотрібні прилади, якщо приміщення порожнє.

Такі комплексні датчики забезпечують підвищений комфорт, безпеку та енергоефективність. Вони дозволяють будинку адаптуватися до поведінки мешканців, економити електроенергію та інтегруватися з іншими системами, включаючи управління опаленням, кондиціонерами та освітленням у годинах пікової генерації сонячної електростанції. Завдяки цьому розумний будинок стає більш автономним і зручним у використанні, зменшуючи витрати та забезпечуючи оптимальні умови для проживання.

Використання датчиків руху робить будинок більш економним, безпечним і комфортним для мешканців.



Рисунок 1.6 – Датчик руху, освітленості та присутності людей [11]

У розумному будинку з власною сонячною електростанцією датчик руху, освітленості та присутності людей допомагає оптимально використовувати вироблену енергію та економити електрику. Завдяки датчику система може вмикати освітлення або побутові прилади лише тоді, коли кімната зайнята, і регулювати яскравість ламп залежно від рівня природного світла. Це дозволяє максимально використовувати енергію сонячних панелей у години їх пікової генерації та зменшувати споживання з мережі вночі або у похмуру погоду.

Датчик присутності також допомагає контролювати роботу кліматичних приладів, таких як кондиціонери або теплові насоси. Наприклад, система може включати опалення тільки тоді, коли в кімнаті є люди, або відкладати роботу нагрівальних елементів на час, коли сонячні панелі виробляють достатньо енергії для зарядки акумуляторів. Це забезпечує економію електроенергії, продовжує ресурс обладнання і підвищує автономність будинку.

Таким чином, використання багатофункціонального датчика у поєднанні з сонячною електростанцією дозволяє створити інтелектуальну систему управління енергією. Вона не тільки підвищує комфорт мешканців, але й робить будинок енергоефективним, безпечним та економічно вигідним.

Датчик температури та вологості повітря представлено на рисунку 1.7 також є одними з ключових елементів систем розумного дому, що забезпечують комфорт, економію енергії та захист житлових приміщень. Вони постійно відстежують кліматичні умови у кімнатах, фіксуючи рівень температури та вологість повітря. На основі цих даних система автоматизації може приймати рішення щодо увімкнення або вимкнення опалювальних приладів, кондиціонерів, зволожувачів чи вентиляції.

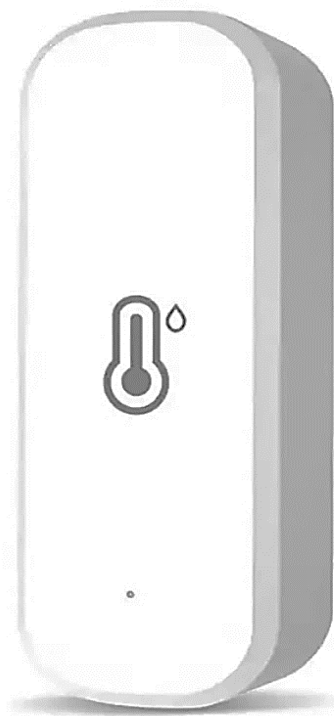


Рисунок 1.7 – Датчик температури та вологості повітря [12]

Використання датчиків температури та вологості дозволяє підтримувати оптимальний мікроклімат у приміщенні, підвищуючи комфорт мешканців та знижуючи витрати на енергоспоживання. Наприклад, система може зменшити роботу обігрівача у кімнаті, де температура вже досягла бажаного рівня, або активувати кондиціонер і вентиляцію при підвищеній вологості.

У будинках із сонячними електростанціями ці датчики відіграють особливу роль у керуванні енерговитратами. Вони дозволяють системі оптимально використовувати надлишкову електроенергію від сонячних панелей

для роботи кліматичних приладів у пікові години генерації, а вночі чи при низькому виробленні – скорочувати непотрібне споживання з мережі.

Інтеграція датчиків температури та вологості з іншими елементами розумного будинку, такими як смарт-розетки, теплові насоси та системи вентиляції, дозволяє створити автономну, інтелектуальну екосистему. Вона не тільки забезпечує комфортні умови проживання, а й підвищує енергоефективність та економічну вигоду для власників.

У розумному будинку з сонячною електростанцією датчики температури та вологості дозволяють оптимально використовувати вироблену енергію та підтримувати комфортний мікроклімат. Дані від датчиків дають змогу системі автоматично регулювати опалення, кондиціонери або вентиляцію залежно від фактичних умов у кімнаті. Наприклад, якщо температура в приміщенні підвищується понад заданий рівень, система може тимчасово вимкнути обігрівач або направити надлишкову сонячну енергію на кондиціонер, щоб зберегти оптимальні умови і економити електроенергію.

Датчики також контролюють вологість повітря, що дозволяє автоматично вмикати зволожувач або вентиляцію, коли повітря стає надто сухим або вологим. У поєднанні з сонячною електростанцією це забезпечує використання надлишкової енергії в години пікової генерації для підтримки клімату без додаткових витрат з мережі.

Таким чином, інтеграція датчиків температури та вологості з системами керування енергією і сонячними панелями дозволяє зробити будинок більш автономним, енергоефективним та комфортним для проживання, одночасно зменшуючи витрати на електроенергію та продовжуючи ресурс обладнання.

Датчики відкриття дверей та вікон представлено на рисунку 1.8 є важливим елементом системи розумного будинку, забезпечуючи безпеку мешканців та допомагаючи економити енергію. Вони фіксують стан дверей або вікон, відкриті вони чи зачинені і передають цю інформацію до центрального контролера або системи автоматизації.

Завдяки цим датчикам можна автоматично контролювати роботу опалювальних, охолоджувальних та вентиляційних систем. Наприклад, якщо вікно відкрите, система може знизити або відключити обігрів у кімнаті, щоб уникнути зайвих енергозатрат. У будинках із сонячними електростанціями датчики відкриття дверей та вікон допомагають оптимально використовувати вироблену енергію, направляючи її на активні прилади лише тоді, коли приміщення закрите, і тепло чи кондиціонування не витрачається даремно.



Рисунок 1.8 – Датчик відкриття вікон та дверей [13]

Крім енергозбереження, ці датчики відіграють важливу роль у системах безпеки. Вони можуть сповіщати власника про незаплановане відкриття дверей чи вікон, активувати сигналізацію або включати камери спостереження. Інтеграція таких датчиків із іншими елементами розумного будинку, включаючи

смарт-замки та системи контролю доступу, робить будинок більш безпечним та автономним.

Таким чином, датчики відкриття дверей та вікон підвищують безпеку, допомагають економити енергію та інтегруються в систему розумного дому для автоматичного керування освітленням, кліматом і охоронними механізмами.

Датчик протікання води представлено на рисунку 1.9 забезпечує безпеку та захист від можливих пошкоджень водою. Він реагує на появу вологи або витоку води у приміщенні та передає сигнал на центральний контролер або мобільний додаток власника.



Рисунок 1.9 – Датчик протікання води [14]

Завдяки датчику протікання води система може швидко реагувати на аварійні ситуації, перекриваючи воду або сповіщаючи мешканців про проблему. Це особливо актуально для будинків із водопровідними приладами, бойлерами, пральними машинами чи системами опалення, де невеликий витік може призвести до значних пошкоджень.

У поєднанні з розумною системою керування будинком датчик протікання води допомагає інтегрувати автоматичні сценарії. Наприклад, при виявленні витоку система може відключити електроживлення побутових приладів у зоні затоплення або активувати насос для відведення води. У будинках із сонячною електростанцією це дозволяє ефективно управляти енерговитратами,

перекриваючи електропостачання небезпечних приладів та зберігаючи безпеку мешканців.

Таким чином, датчик протікання води підвищує безпеку, запобігає аваріям та пошкодженню майна, а також інтегрується у систему розумного дому для автоматичного реагування на надзвичайні ситуації.

Датчик якості повітря, диму та газу представлено на рисунку 1.10 є одним із ключових елементів безпеки в розумному будинку. Їхнє головне завдання це своєчасно виявити ознаки пожежі або витік небезпечних газів, щоб користувач міг швидко відреагувати та запобігти серйозним наслідкам.

Датчик диму працює за принципом контролю якості повітря та реагує на появу частинок, що утворюються під час тління або займання. Сучасні моделі зазвичай поєднують оптичні та іонізаційні технології, що дозволяє їм однаково добре розпізнавати густий дим від повільного загоряння та дрібні частинки, які виникають при швидкому спалахуванні.



Рисунок 1.10 – Датчик якості повітря, диму та газу [15]

Датчики газу призначені для контролю наявності в приміщенні вибухонебезпечних або шкідливих газів. Вони здатні визначати небезпечні концентрації метану, пропан-бутану або чадного газу. У звичайних умовах

людина може не помітити їх накопичення, особливо коли йдеться про CO, який не має запаху, тому автоматичний нагляд є особливо важливим.

У системі розумного будинку такі датчики працюють не лише як сигналізація. Після виявлення диму або газу вони миттєво передають повідомлення на смартфон користувача, можуть активувати вентиляцію, вимкнути газове обладнання, включити сирену або навіть автоматично відкрити вікна, якщо встановлені відповідні приводи. Ці дії часто виконуються без участі людини, що дозволяє виграти дорогоцінні секунди у критичній ситуації.

Найчастіше датчики встановлюють у кухнях, котельних, коридорах та кімнатах, де перебувають люди. Важливо, щоб вони були правильно розміщені не надто близько до плити, але й не в місцях із надмірною вентиляцією, яка може знизити чутливість.

Використання датчиків диму та газу суттєво підвищує рівень безпеки. Це можливість постійно контролювати стан повітря, отримувати миттєві сповіщення навіть коли нікого немає вдома та автоматично запобігати небезпечним ситуаціям. Саме тому такі датчики є одним із найважливіших компонентів будь-якого розумного будинку.

Датчик вологості ґрунту представлено на рисунку 1.11 це невеликий сенсор, що вимірює, наскільки зволожений ґрунт у горщику, на газоні чи в теплиці. Він дозволяє автоматизувати полив рослин та підтримувати оптимальний рівень вологості без участі людини. У сучасному розумному будинку такий датчик стає важливою частиною екосистеми догляду за рослинами, адже він працює постійно й показує реальний стан ґрунту в режимі реального часу.

Принцип роботи датчика досить простий: він фіксує електропровідність або зміну ємності ґрунту, що змінюється залежно від кількості води. Чим більша вологість, тим нижчий електричний опір або вища ємність, і система це точно визначає. Дані від датчика передаються на контролер, смартфон або систему розумного будинку, де користувач бачить рівень вологості у вигляді графіків або сповіщень.

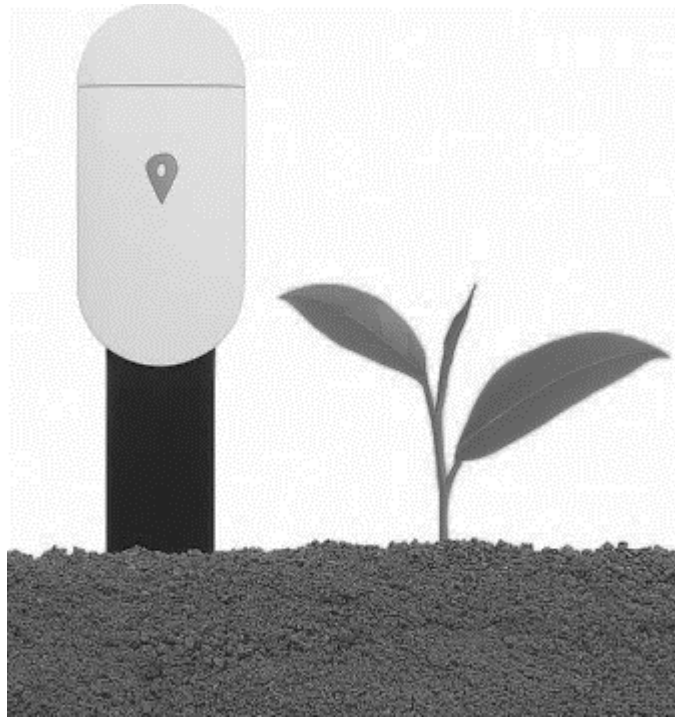


Рисунок 1.11 – Датчик вологості повітря [16]

У поєднанні з автоматичною системою поливу датчик дозволяє рослинам отримувати тільки стільки води, скільки їм потрібно. Якщо ґрунт пересихає, система вмикає насос чи електроклапани, подає воду на грядки, газон або у вазони, і зупиняє полив, щойно рівень вологості досягає норми. Завдяки цьому рослини не страждають ні від недоливу, ні від надлишкової вологи, а вода використовується значно економніше.

Розумний автополив особливо корисний тоді, коли власник часто відсутній або не має часу регулярно доглядати за ділянкою. Система може працювати за заданим розкладом, у залежності від погоди або повністю автономно за показами датчиків. У великих системах такі датчики встановлюють у різних зонах, щоб кожна ділянка отримувала оптимальний догляд.

Поєднання датчика вологості ґрунту та системи автоматичного поливу робить догляд за рослинами точним, прогнозованим і повністю автоматичним. Це зменшує витрати води, покращує стан рослин та значно спрощує життя власнику, перетворюючи навіть звичайний сад чи город на частину розумного будинку.

Головний HUB керування розумним будинком який представлено на рисунку 1.12 – це пристрій, що з'єднує всі елементи системи між собою та забезпечує обмін даними між датчиками, приладами і центральним контролером. Якщо основний модуль є «мозком» системи, то хаб – це «перекладач», який дозволяє взаємодіяти пристроям різних стандартів і протоколів.

Розумні датчики та прилади можуть працювати на різних технологіях таких як: Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, Thread, Matter або Wi-Fi. Хаб створює єдину інфраструктуру, у якій ці технології можуть співіснувати. Він приймає сигнали від пристроїв та передає їх у систему керування, забезпечуючи стабільну та надійну роботу всієї мережі.

Шлюзи особливо важливі для енергоефективних протоколів, таких як Zigbee або Thread, де датчики працюють на батарейках і потребують мінімального споживання енергії. Хаб приймає їхні сигнали і передає далі мережею, знімаючи з датчиків складні обчислення чи постійний зв'язок з інтернетом.

У системах розумного будинку шлюз також визначає спосіб керування локальний чи хмарний. Локальне керування означає, що всі дані та сценарії обробляються всередині будинку, без виходу в Інтернет. Це підвищує швидкість реакції, стабільність та конфіденційність. А хмарне керування використовує сервери виробника чи сторонніх сервісів для аналізу даних, синхронізації та віддаленого доступу.

Хаб може підтримувати обидва режими: працювати локально для основних задач автоматизації та використовувати хмару лише для віддаленого доступу, оновлень або резервних копій. У практичному застосуванні це робить систему гнучкою: навіть при відсутності інтернету розумний будинок продовжує функціонувати.

Таким чином, шлюз є ключовою ланкою, що об'єднує технології, забезпечує енергоефективну роботу датчиків, дозволяє створювати локальні сценарії та відкриває можливість керувати будинком з будь-якої точки світу.

Завдяки хабам сучасні системи smart-home стають сумісними, стабільними та зручними у використанні.

Сучасні системи розумного будинку можуть працювати у двох основних режимах – локальному та хмарному. Кожен із них має свої переваги, і найефективніші рішення поєднують обидва підходи, забезпечуючи і зручність, і надійність. Розуміння цих двох архітектур допомагає краще вибрати обладнання та побудувати систему, яка працюватиме стабільно незалежно від зовнішніх умов.



Рисунок 1.12 – Головний HUB керування розумним будинком [17]

Локальне керування означає, що всі сценарії, логіка автоматизації, робота датчиків та розумних пристроїв відбуваються всередині будинку без необхідності підключення до інтернету. Обробка команд і передача сигналів здійснюється локальним контролером або хабом, тому система працює швидко й не залежить від серверів виробника. Такий підхід забезпечує максимальну конфіденційність, адже всі дані залишаються всередині мережі. Локальне

керування особливо важливе для критичних систем – безпеки, контролю доступу, системи проти протікання чи аварійного вимкнення живлення.

Хмарне керування, навпаки, використовує інтернет та сервери виробника або сторонніх сервісів. Дані і команди передаються через хмару, що дозволяє користувачу керувати будинком з будь-якої точки світу. Хмарна інфраструктура також дає можливість отримувати аналітику, вести історію подій, синхронізувати дані та використовувати інтелектуальні функції, такі як машинне навчання. Однак системи, що залежать від хмари, можуть втратити частину функціональності при збоях у мережі або недоступності сервера.

Гібридний підхід, коли розумний будинок працює локально, але має можливість використовувати хмарні сервіси для зручності. Основні сценарії, такі як освітлення, охорона, клімат чи автоматизація на основі датчиків, залишаються локальними. А хмара використовується лише для віддаленого доступу, бекапів, інтеграції з голосовими асистентами та оновлення системи. Такий підхід забезпечує незалежність, високу швидкість і збереження даних, одночасно надаючи користувачу всі сучасні можливості.

Таким чином, локальне та хмарне керування не є протилежностями, а взаємодоповнюють одне одного. Локальна логіка забезпечує стабільність і безпеку, тоді як хмарні сервіси додають мобільність і функціональність. Разом вони створюють гнучку та надійну систему розумного будинку, здатну працювати в будь-яких умовах і задовольняти потреби як простих користувачів, так і вимогливих ентузіастів.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Аналіз існуючих рішень систем моніторингу та керування енерговитратами

Сучасний ринок рішень для моніторингу та керування енерговитратами [18] демонструє активний розвиток, оскільки все більше власників приватних будинків впроваджують сонячні електростанції та інтелектуальні системи керування побутовими процесами. Компанії пропонують різноманітні інструменти – від комплексних платформ енергоменеджменту до простих розеток із вимірюванням енергії. Незважаючи на широкий вибір, існуючі комерційні рішення мають низку обмежень, що стримують їхнє використання у складних або нестандартних умовах.

Одним із найрозвиненіших напрямів є фірмові системи моніторингу від виробників інверторів. Такі рішення забезпечують високу точність вимірювань, глибоку інтеграцію з обладнанням, стабільність і можливість контролювати роботу сонячних панелей, акумуляторів і окремих навантажень. Проте їхнім основним недоліком є закритість архітектури. Користувач часто не може підключити сторонні датчики, змінити алгоритми роботи або інтегрувати систему з іншими платформами розумного будинку. У багатьох випадках управління прив'язане до хмарних сервісів виробника, а локальні можливості обмежені, що створює проблеми у разі нестабільного інтернету.

Більшість таких систем мають закрити архітектуру. Це означає, що користувач часто не може додати сторонні датчики, змінити алгоритми керування або інтегрувати систему з іншими платформами. Доступ до API або обмежений, або повністю відсутній. Багато рішень орієнтовані на хмарну роботу, тому в разі відсутності інтернету можливості контролю зменшуються. Ще один недолік – висока вартість, особливо у виробників преміум-сегменту.

Наприклад один з найпоширеніших інверторів в Україні «DEYE» має у своїй системі лише бездротовий датчик струму та розумну розетку якою керує інвертор і більше ніякого пристрою до неї не можна підключити (рис. 2.1)

На противагу закритим рішенням інверторів існують універсальні системи автоматизації будинку, які пропонують широку інтеграцію пристроїв різних виробників, можливість створення кастомних логічних правил, локальне збереження даних і високу масштабованість. Їхнім беззаперечним плюсом є те, що вони дозволяють об'єднати в єдине середовище освітлення, опалення, безпеку, клімат-контроль, побутові прилади та енергомоніторинг. Однак проблемою цих платформ є різноманітність обладнання та відсутність гарантій точності. Багато датчиків енергоспоживання, призначених для універсальних систем, не розраховані на великі навантаження або мають значну похибку. Додатковим викликом стає відсутність стандартів: різні виробники використовують власні протоколи, тому інтеграція не завжди відбувається коректно. У деяких випадках універсальні системи теж залежать від зовнішніх серверів, що може спричинити затримки або перебої в роботі.

Окрему нішу займають недорогі побутові пристрої, такі як смарт-розетки та компактні модулі контролю. Вони успішно виконують роль локальних вимірювачів для окремих приладів і дозволяють швидко отримати інформацію про споживання енергії без складного монтажу. Проте такі пристрої мають низку обмежень. Вони не підходять для контролю всього будинку, не можуть вимірювати великі струми і часто мають обмежений ресурс. Через спрощені конструкції значна частина подібних продуктів показує похибку, яка робить їх непридатними для аналізу енергобалансу. До того ж деякі виробники не надають можливості експорту даних або тривалого зберігання статистики, що ускладнює побудову прогнозів.

Існує також категорія професійних енергетичних систем, які зазвичай застосовують на підприємствах та в офісних комплексах. Вони забезпечують високу надійність, велику кількість точок збору даних, широкий діапазон вимірювань та глибоку аналітику. Такі комплекси здатні виявляти

перевантаження, прогнозувати пікові споживання та оптимізувати роботу енергетичних систем у реальному часі. Але їхньою головною проблемою є складність, висока ціна та необхідність професійного обслуговування. Для приватного будинку такі рішення часто є надлишковими, потребують спеціалістів для встановлення і не забезпечують гнучкості, яку очікують користувачі розумного житла.

Спільною рисою для всіх комерційних рішень залишається певна фрагментованість. Для повного контролю енергоспоживання у будинку користувачеві іноді доводиться поєднувати різні пристрої та платформи, що призводить до дублювання функцій, конфліктів сумісності та зростання витрат. Це створює потребу у відкритих, адаптивних та модульних системах, здатних поєднувати точні професійні вимірювачі, гнучкі алгоритми автоматизації та підтримку різних джерел енергії, зокрема сонячних панелей, гібридних інверторів і накопичувачів.

У підсумку можна сказати, що сучасні комерційні рішення є технологічно розвиненими, але не універсальними. Кожна група продуктів вирішує окремі задачі, однак немає єдиного рішення, яке б одночасно забезпечувало точність промислових систем, гнучкість домашньої автоматизації та простоту встановлення. Саме тому актуальним стає створення адаптивних систем, що не прив'язані до одного виробника й можуть працювати з різноманітним обладнанням, забезпечуючи комплексний контроль та оптимізацію енергоспоживання в сучасному розумному будинку.

2.2 Огляд протоколів зв'язку у системах розумного будинку: Zigbee, Modbus, Wi-Fi та MQTT

Сучасні системи розумного будинку поєднують десятки різних пристроїв та датчиків, інверторів, контролерів, термостатів, освітлення, енергомодулів та хмарних сервісів. Щоб забезпечити їхню взаємодію, необхідні стандартизовані протоколи зв'язку, які визначають спосіб передавання даних, швидкість обміну,

енергоспоживання та сумісність між пристроями різних виробників. До найпоширеніших протоколів у сфері домашньої автоматизації належать Zigbee, Modbus, Wi-Fi та MQTT. Кожен із них має власну сферу застосування, архітектуру, переваги та ідеальні сценарії використання. Розглянемо їх детально.

Zigbee є одним з найпопулярніших бездротових протоколів, який спеціально розроблений для мережі пристроїв з дуже низьким енергоспоживанням. Цей протокол використовують датчики руху, відкриття, температури, розумні вимикачі, лампи та інші елементи домашньої автоматизації. На відміну від Wi-Fi, Zigbee не орієнтований на швидкість, його головна мета – стабільність і здатність працювати роками на одній батареї.

Однією з ключових особливостей Zigbee є мережа типу mesh. У такій мережі пристрої не просто підключаються до одного маршрутизатора, а формують багатовузлову структуру, де кожен модуль може передавати пакет далі до іншого. Це забезпечує високу надійність: навіть якщо один вузол виходить з ладу або сигнал слабшає, дані знаходять альтернативний шлях. Zigbee також добре підходить для великих будинків, де Wi-Fi може не забезпечити стабільного покриття.

Zigbee вважають одним із найкращих протоколів для сенсорних систем завдяки поєднанню економності, стійкості до перешкод і простоти інтеграції з локальними хабами.

Modbus – це промисловий протокол, який широко використовується в енергетиці, автоматизації та системах керування обладнанням. Його ключова особливість – простота структури та висока надійність у складних умовах. Саме тому багато інверторів, контролерів зарядних станцій, BMS-систем та енергетичних лічильників підтримують модбас-інтерфейси.

Існують два основні різновиди Modbus: Modbus RTU, який працює через послідовні інтерфейси на кшталт RS-485, і Modbus TCP, що використовує мережеве з'єднання Ethernet. Обидва формати передають дані у вигляді простих регістрів, що робить протокол універсальним і передбачуваним.

Modbus залишається стандартом де-факто у професійних електротехнічних рішеннях через свою точність, детермінованість і можливість зчитувати технічні параметри обладнання без затримок. Він менш гнучкий, ніж Wi-Fi чи MQTT, але незамінний у задачах, де потрібен контроль напруги, струму, температури, стану інвертора або батареї в реальному часі.

Wi-Fi є універсальним мережевим протоколом, який забезпечує високу швидкість передачі даних і можливість інтеграції великої кількості пристроїв. Він став стандартом для багатьох комерційних розумних приладів – камер відеоспостереження, смарт-розеток, роботів-пилососів, мультимедійних пристроїв та енерголічильників.

Головною перевагою Wi-Fi є його доступність: у більшості будинків вже є мережевий маршрутизатор, і для підключення нових модулів не потрібні додаткові хаби. Протокол підтримує великий обсяг даних, що робить його незамінним для камер високої роздільної здатності, відеодомофонів або інтелектуальних панелей керування.

Водночас Wi-Fi менш ефективний для дрібних датчиків, оскільки споживає більше енергії і створює більші навантаження на мережу. Датчики на Wi-Fi працюють гірше від батарейок, а в багатоквартирних будинках можуть страждати від перевантаження ефіру. У комплексних smart-home рішеннях Wi-Fi зазвичай поєднують з Zigbee або Thread, використовуючи його лише для високошвидкісних пристроїв.

MQTT – це протокол обміну повідомленнями, який використовується для зв'язку між пристроями та хмарними серверами. Він особливо популярний у системах автоматизації та IoT, оскільки дозволяє передавати дані з мінімальними затримками та дуже низьким навантаженням на мережу.

Особливістю MQTT є архітектура publish – subscribe. Пристрій не відправляє дані безпосередньо іншому пристрою, а публікує їх на MQTT брокері. Інші модулі можуть підписуватися на ці теми та отримувати оновлення. Такий підхід дозволяє будувати надзвичайно гнучкі системи, де кожен елемент сам обирає, які дані йому потрібні.

MQTT забезпечує високу надійність навіть при нестабільному інтернеті та використовується у системах моніторингу сонячних електростанцій, віддалених датчиків, хмарних аналітичних сервісів і автоматизації на кшталт Home Assistant. Він також дозволяє легко масштабувати структуру та додавати нові пристрої без складних налаштувань.

Протоколи Zigbee, Modbus, Wi-Fi та MQTT виконують різні задачі в екосистемі розумного будинку. Zigbee є оптимальним вибором для дрібних і економних датчиків, Modbus – для професійних інверторів та енергетичних систем, Wi-Fi – для високошвидкісних побутових пристроїв, а MQTT – для хмарного моніторингу та інтеграції між різними платформами. Саме комбінація цих протоколів забезпечує максимально гнучку, надійну та адаптивну систему керування та моніторингу споживання енергії у сучасному будинку. Порівняння протоколів зв'язку представлено в таблиці 1.1.

Жоден з розглянутих протоколів не є універсальним рішенням «на всі випадки», оскільки кожен розрахований на різні типи пристроїв, швидкість, навантаження та надійність. Однак у системах розумного дому та енергоменеджменту оптимальність роботи значною мірою залежить від того, наскільки правильно поєднані різні технології.

Zigbee – найкраще підходить для датчиків та малопотужних пристроїв.

Zigbee формується як найбільш ефективний протокол для мережі датчиків: температури, руху, вологості, відкриття дверей, реле тощо. Його головні переваги – наднизьке енергоспоживання, висока стабільність mesh-мережі та можливість масштабування на десятки чи сотні пристроїв.

Однак він не призначений для передавання великих обсягів даних або роботи з високошвидкісними приладами, такими як інвертори чи камери.

Modbus – найкращий протокол для енергетичних пристроїв (інвертори, BMS, лічильники)

Modbus, особливо у версії RS-485, залишається найстабільнішим та найнадійнішим промисловим протоколом для енергосистем. Він забезпечує

стійкість до завад, просту інтеграцію, точність даних та абсолютну надійність у довгих лініях зв'язку.

Таблиця 1.1 – Порівняння протоколів зв'язку

Назва	Zigbee	Modbus (RTU/TCP)	Wi-Fi	MQTT
Тип технології	Бездротова mesh-мережа	Переважно дротовий промисловий протокол	Бездротова мережа IP	Протокол обміну повідомленнями поверх TCP/IP
Призначення	Сенсори та IoT пристрої з низьким енергоспоживанням	Промислова автоматизація і вимірвальні пристрої	Високошвидкісний зв'язок для користувачьких пристроїв	Передача телеметрії та подій у смарт-системах
Дальність зв'язку	10-100 м (залежно від мережі)	До 1200 м (RS485)	20-50 м у приміщенні	Залежить від носія (Wi-Fi, Ethernet, мобільний інтернет)
Швидкість передачі	Низька (20-250 кбіт/с)	Низька/середня (до 10 Мбіт/с у TCP)	Висока (до сотень Мбіт/с)	Залежить від середовища (зазвичай низька/середня)
Енергоспоживання	Дуже низьке	Низьке (дротове живлення)	Високе	Низьке
Надійність	Висока, завдяки mesh	Дуже висока	Середня (залежить від Wi-Fi сигналу)	Висока (QoS режими)
Стійкість до завад	Висока	Дуже висока	Середня	Висока
Вартість реалізації	Низька	Від низької до середньої	Середня	Низька
Сфера застосування	Розумний будинок, датчики, реле	Інвертори, BMS, лічильники	Камери, роутери, хаби, смарт-пристрої	Хмарні сервіси, енергомоніторинг, IoT
Особливості	Підтримує маршрутизацію між пристроями	Стабільний стандарт у промисловості	Потребує точки доступу і електроживлення	Вимагає брокера MQTT

Більшість інверторів (Deye, Huawei, Victron, Growatt), BMS, лічильників та контролерів заряду використовують Modbus саме через його надійність.

Wi-Fi – найкращий протокол для високошвидкісних пристроїв (камери, мультимедіа, розумні хаби)

Wi-Fi забезпечує високу пропускну здатність, зручність підключення та широке застосування в побутових приладах. Але він має кілька суттєвих

недоліків: високе енергоспоживання, залежність від якості сигналу та слабку масштабованість при великій кількості пристроїв. Для сенсорної мережі або критичних систем він не підходить. MQTT – найкращий протокол для хмарних і локальних систем управління.

MQTT – це один із найефективніших протоколів для передачі телеметрії у великі системи моніторингу. Він забезпечує мінімальне навантаження на мережу, підтримує режим publish/subscribe, має високий рівень надійності та зручність інтеграції з програмним забезпеченням.

Саме MQTT найчастіше використовується для:

- домашніх серверів автоматизації (Home Assistant, OpenHAB);
- енергомоніторингу (Solar Assistant, EMQX, Tinymqtt);
- керування IoT-пристроями.

2.3 Аналіз програмного забезпечення для систем моніторингу та керування енерговитратами

Програмне забезпечення є ключовою частиною будь-якої системи розумного будинку, адже саме воно забезпечує об'єднання всієї інфраструктури в єдиний інтелектуальний комплекс. В умовах зростання популярності домашніх сонячних електростанцій роль програмних рішень стає ще більш значущою, оскільки від них залежить ефективність використання генерації, балансування навантажень, аналіз енергоспоживання та управління приладами. Правильний вибір платформи визначає, наскільки стабільно, економно й адаптивно працюватиме вся система [19].

Програмне забезпечення виконує функцію центрального інтелекту, який координує роботу інвертора, датчиків, лічильників, розумних розеток і систем автоматизації. Від нього залежить можливість об'єднання різних протоколів зв'язку, підтримка необхідних пристроїв, обробка реальних даних та налаштування гнучких сценаріїв. У системах, де беруть участь сонячні панелі, саме софт визначає, як саме розподілятиметься енергія, які прилади

працюватимуть від генерації, а які – від мережі, та наскільки ефективно відбудуватиметься зберігання статистики.

Однією з головних характеристик програмної платформи є її сумісність з обладнанням. Оскільки сучасний розумний будинок складається з пристроїв різних виробників, універсальність залишається критично важливою. В ідеалі система повинна підтримувати популярні протоколи зв'язку та інтеграції, що дозволяє легко підключати інвертори, сонячні контролери, системи автоматизації, датчики освітленості, температури, руху та інші компоненти. Чим ширша підтримка – тим менше обмежень у розвитку проекту.

Не менш важливим є питання гнучкості. Надійне програмне забезпечення не повинно обмежувати користувача у майбутніх оновленнях. Розумний будинок рідко залишається незмінним: з часом виникає бажання додати нові функції або обладнання. Тому софт має дозволяти розширення архітектури, зміну логіки керування та підключення нових технологій без повної перебудови системи.

Ще однією ключовою ознакою якісної платформи є підтримка розвинених сценаріїв автоматизації. У системах з використанням сонячної електростанції автоматизація дозволяє досягти оптимальної енергоефективності. Наприклад, програма може автоматично запускати прилади в моменти пікової генерації або обмежувати навантаження при низькій продуктивності панелей. Без відповідного програмного інструментарію такі сценарії були б неможливими.

Крім управління, особливе значення має можливість зручної візуалізації. Програмне забезпечення повинно надавати користувачу зрозумілу картину енергоспоживання та генерації: графіки, історичні дані, діаграми потоків енергії, порівняння споживання за різні періоди. Якісна аналітика дозволяє краще розуміти поведінку системи та приймати рішення щодо оптимізації.

Безпека також відіграє центральну роль. Система розумного будинку, яка працює через інтернет, повинна мати захищені канали зв'язку, механізми аутентифікації та регулярні оновлення. Надійні програмні рішення враховують ці аспекти, забезпечуючи захист як самих даних, так і обладнання.

На ринку існує широкий вибір програмних платформ. Одні з них орієнтовані на повну кастомізацію та відкритість, інші на простоту використання та прив'язку до одного виробника. Платформи типу Home Assistant або OpenHAB вирізняються широкими можливостями, відкритою архітектурою та підтримкою численних інтеграцій. Вони підходять для складних систем, де важливо об'єднати багато різних пристроїв в одну екосистему. Брендіві рішення виробників інверторів або сонячних систем зазвичай простіші у використанні, проте мають менший потенціал для автоматизації та обмежену сумісність з обладнанням інших брендів.

Комерційні платформи іноді пропонують приємні інтерфейси та стабільну роботу, але часто потребують підписки або обмежують користувача у налаштуваннях. У той час як відкриті рішення дозволяють створити максимально адаптивну систему, але вимагають більше технічних знань.

Загалом вибір програмного забезпечення залежить від потреб конкретного користувача. Якщо важлива максимальна гнучкість, підтримка автоматизації та інтеграція сонячної електростанції в комплексну систему – краще рішення будуть універсальні та відкриті платформи. Якщо головний критерій простота й мінімальні налаштування, можуть підійти готові додатки від виробників обладнання.

У підсумку програмне забезпечення визначає не лише функціональність, але й перспективність системи розумного будинку. Грамотно підібрана платформа забезпечує стабільність, економічність, гнучкість та повноцінне використання потенціалу сонячної електростанції, перетворюючи будинок на дійсно інтелектуальну енергосистему.

2.3.1 SmRT-Life

Smart Life – це універсальна платформа для керування «розумним» будинком, створена для об'єднання широкого спектра IoT-пристроїв у єдину екосистему. Вона працює як хмарний сервіс із мобільним застосунком, що дозволяє користувачам стежити за станом пристроїв, керувати ними дистанційно та налаштовувати автоматизації незалежно від виробника. Завдяки підтримці

стандартів Tuya багато різних брендів можуть інтегруватися до Smart Life, що робить платформу однією з найуніверсальніших на ринку побутової автоматизації.

Застосунок орієнтований на простоту використання, тому інтерфейс побудований так, щоб навіть людина без досвіду могла легко додати новий пристрій і керувати ним. При першому запуску користувач створює обліковий запис, після чого отримує доступ до хмарної системи. Кожен пристрій підключається через Wi-Fi, Bluetooth або Zigbee, а далі автоматично відображається в застосунку. Платформа також підтримує голосових помічників, таких як Google Assistant чи Amazon Alexa, що робить керування ще зручнішим.

Однією з ключових можливостей Smart Life є створення сценаріїв автоматизації. Користувач може налаштувати логіку так, щоб освітлення вмикалося при настанні заходу сонця, кондиціонер запускався при підвищенні температури, а датчики руху активували сигналізацію під час відсутності мешканців. Сценарії об'єднують пристрої різних виробників, що дозволяє створювати складні системи без потреби купувати все в одній компанії.

Додаток також має розвинуту систему моніторингу. Користувач може переглядати історію подій, стежити за споживанням енергії розумних розеток або вимикачів, а також отримувати сповіщення про будь-які зміни в будинку. Це особливо корисно для систем безпеки, таких як датчики руху, відкриття дверей або диму. Усі події синхронізуються через хмарний сервіс, тому доступ до них можливий із будь-якого місця, де є Інтернет.

Ще однією важливою перевагою Smart Life є велика кількість сумісних пристроїв. Тисячі виробників, що працюють на базі Tuya, випускають розетки, вимикачі, датчики, лампи, камери, реле, побутову техніку та інше обладнання. Завдяки цьому користувачі можуть легко розширювати свою систему, не хвилюючись, чи буде новий пристрій сумісний. Платформа постійно оновлюється, додаючи функції та розширюючи можливості для інтеграції.

Smart Life також підтримує різні протоколи зв'язку. Wi-Fi використовується для простих пристроїв, які потрібно підключити напряму до

маршрутизатора. Zigbee застосовується для датчиків і невеликих девайсів, які працюють від батарейок і потребують мінімального енергоспоживання. Платформа дозволяє об'єднувати такі пристрої через окремі хаби та контролери. Також з'являється підтримка Matter нового міжнародного стандарту, який обіцяє значно спростити інтеграцію розумних девайсів у майбутньому.

Завдяки об'єднанню цих можливостей Smart Life стає повноцінною централлю для «розумного» будинку. Вона підходить як для простого керування однією лампою, так і для створення складних систем безпеки, автоматизації опалення, контролю мікроклімату або управління енерговитратами. Простота інтерфейсу робить платформу доступною навіть для початківців, а гнучкість та масштабованість дозволяють досвідченим користувачам будувати дійсно просунуті системи.

2.3.2 Home Assistant

Home Assistant – це потужна платформа для розумного дому, орієнтована на локальне керування, високу гнучкість та повну кастомізацію системи. На відміну від хмарних рішень, Home Assistant працює локально на власному сервері користувача, що забезпечує максимальну приватність та незалежність від сторонніх серверів. Платформа встановлюється на різні пристрої, такі як Raspberry Pi, міні-ПК, Docker-контейнери або окремі сервери, і після встановлення стає центральним мозком для управління будь-якими IoT пристроями в будинку.

Однією з ключових особливостей Home Assistant є його надзвичайно широка сумісність. Платформа підтримує тисячі інтеграцій і здатна працювати з пристроями, які використовують Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Thread, Bluetooth, локальні API та навіть рідкісні пропріетарні протоколи. В результаті Home Assistant може поєднувати в одну систему обладнання від різних виробників, що зазвичай не взаємодіє між собою у стандартних додатках. Це робить Home Assistant унікальним інструментом для ентузіастів і тих, хто хоче створити справді універсальний і незалежний розумний дім.

Застосунок має вебінтерфейс і мобільну версію, які дозволяють повністю керувати системою та створювати власні панелі керування. Користувач може змінювати вигляд інтерфейсу, додавати графічні елементи, карти, діаграми, камери, датчики та іншу інформацію, що робить інтерфейс максимально персоналізованим. На відміну від стандартних розумних додатків, де вигляд визначений розробником, Home Assistant дає повну свободу налаштування.

Ще однією важливою складовою є система автоматизацій. Home Assistant дозволяє створювати дуже складні сценарії, використовуючи логіку на основі подій, станів, часу, зон, датчиків або навіть штучного інтелекту. Для цього є як простий графічний редактор, так і можливість писати автоматизації у форматі YAML, що робить можливим створення сценаріїв будь-якого рівня складності. Завдяки цьому користувачі можуть реалізовувати практично будь-які сценарії, починаючи з автоматичного ввімкнення світла й закінчуючи інтеграцією погодних даних, керуванням мультимедійними системами чи оптимізацією енергоспоживання.

Особливу увагу Home Assistant приділяє приватності та автономності. Оскільки дані зберігаються локально, жодні сторонні сервери не отримують доступ до інформації про поведінку мешканців, стан пристроїв або історію подій. Навіть у випадку відсутності інтернету система продовжує працювати без обмежень. Це одна з причин, чому Home Assistant часто обирають користувачі, які цінують безпеку даних і не хочуть залежати від хмар.

Home Assistant підтримує окремі апаратні розширення, такі як Home Assistant Yellow, Green або інші контролери з інтегрованими радіомодулями. Завдяки цьому платформа може працювати з Zigbee та Thread без зовнішніх хабів. Для роботи з Z-Wave або іншими протоколами користувач може підключати відповідні адаптери. Така модульність дозволяє поступово нарощувати можливості системи та адаптувати її до потреб конкретного будинку.

Платформа включає власний магазин доповнень, де можна встановити локальні сервери для розширення функціоналу: наприклад, керування

відеореєстраторами, медіасерверами, локальними голосовими асистентами, інструментами для резервного копіювання чи навіть власними панелями для планшетів. Через API Home Assistant може взаємодіяти з іншими системами, від HomeKit до MQTT-брокерів. Завдяки цьому він часто використовується як головна інтеграційна платформа для всього будинку.

Незважаючи на те, що Home Assistant є більш технічно складним, ніж звичайні мобільні програми, він дозволяє створити систему, яка виходить за рамки стандартних можливостей «розумного дому». Платформа підходить як для початківців, які хочуть простого керування освітленням, так і для досвідчених користувачів, здатних побудувати комплексну автоматизацію з десятків пристроїв і сервісів. Можливість повного контролю, автономності та гнучкості робить Home Assistant одним із найпопулярніших інструментів серед ентузіастів та професійних інсталяторів.

2.3.3 OpenHAB

OpenHAB є відкритою та високофункціональною платформою для побудови розумного будинку, яка орієнтована на універсальність, стабільність та роботу з великою кількістю протоколів і пристроїв. Система створена як повністю незалежне, кросплатформне рішення, що дає змогу запускати її практично на будь-якому обладнанні від Raspberry Pi та домашнього сервера до хмарних інстансів чи навіть віртуальних машин. Завдяки відкритому коду і великій спільноті OpenHAB постійно розвивається, що забезпечує тривалу підтримку та оновлення.

OpenHAB вирізняється тим, що працює на основі модульної архітектури, побудованої навколо так званих «біндінгів» окремих модулів, які дозволяють системі взаємодіяти з різними протоколами, сервісами та виробниками обладнання. Саме біндінги дають можливість підключати пристрої на Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, KNX, Modbus, MQTT, Bluetooth, інфрачервоні системи та десятки інших технологій, включно з професійними інсталяційними стандартами, які використовуються у великих автоматизованих будівлях.

Завдяки цьому OpenHAB легко інтегрує офісні системи, промислове обладнання, побутові сенсори та хаби різних брендів у єдину екосистему.

Однією з важливих особливостей платформи є акцент на повній локальності роботи. OpenHAB не потребує постійного доступу до інтернету, а всі дані та сценарії зберігаються на пристрої користувача. Так підвищується безпека, конфіденційність і надійність роботи системи. Навіть при тривалій відсутності інтернету OpenHAB продовжує стабільно керувати приладами, реагувати на датчики, запускати автоматизації та виконувати сценарії.

Управління в OpenHAB може здійснюватися через декілька інтерфейсів. Платформа має класичний користувацький інтерфейс Basic UI, сучасніший інтерфейс Main UI, мобільні застосунки, голосове управління та систему панелей, які можна гнучко налаштовувати. Користувачі можуть змінювати вигляд панелі за допомогою власних віджетів, блоків, плиток та графічних елементів, створюючи персоналізовані інтерфейси для смартфона, планшета або настінної панелі керування.

Автоматизація в OpenHAB реалізована дуже гнучко і дозволяє створювати сценарії різної складності. В системі доступні правила на основі графічного редактора, блок-схем, JavaScript, DSL-скриптів або розширених інструментів для професійного застосування. Завдяки цьому користувач може будувати логіку будь-якого рівня складності – від простих тригерів до багатоетапних сценаріїв, які враховують стан датчиків, час доби, погоду, геолокацію, статус обладнання та інші параметри.

OpenHAB підтримує інтеграцію з популярними віртуальними помічниками, такими як Google Assistant та Alexa, що дає можливість додавати голосове керування. Водночас система не потребує обов'язкової хмарної прив'язки, залишаючись автономною та приватною, що важливо для користувачів, які уникають надмірного збору даних комерційними сервісами.

Важливою перевагою OpenHAB є його орієнтація не лише на побутові рішення, а й на професійний рівень автоматизації. Платформа чудово підходить для керування великими об'єктами, де можуть використовуватися складні

інженерні системи: вентиляція, кондиціонування, опалення, промислова автоматика. Підтримка протоколів Modbus, KNX, BACnet та інших професійних стандартів робить OpenHAB привабливим для інсталяторів, які створюють комерційні рішення.

Попри широкі можливості, платформа має певний поріг входу. Інтерфейси і логіка налаштування можуть здатися складними новачкам, а система потребує трохи більше технічних знань, ніж типові хмарні сервіси. Проте саме ця гнучкість робить OpenHAB привабливим для користувачів, які хочуть повного контролю над системою, не бажають залежати від виробників обладнання і прагнуть створити унікальну інфраструктуру розумного будинку.

OpenHAB – це платформа, яка вирізняється масштабованістю, стабільністю та універсальністю. Вона підходить тим, хто планує будувати систему розумного будинку на довгий термін, хоче поєднати старе й сучасне обладнання, налаштувати глибоку автоматизацію і забезпечити максимальний рівень приватності. Завдяки великій спільноті, регулярним оновленням і відкритому коду OpenHAB залишається одним із провідних інструментів для створення складних та професійних систем керування будинком.

2.3.4 Deye Cloud

Deye Cloud – це хмарна (і частково локальна) платформа для моніторингу, управління та аналізу роботи фотоелектричних систем, зокрема інверторів, сонячних панелей, акумуляторів та інших компонентів енергосистеми виробника Deye. Призначення – надати власнику чи оператору змогу стежити за виробленою, спожитою та збереженою енергією, переглядати поточні параметри системи, історію та графіки, а також управляти деякими режимами роботи інвертора й навантажень віддалено через Інтернет або через мобільний додаток.

Таким чином, Deye Cloud виступає як мозок для фотоелектричної установки: вона збирає дані, аналізує їх і надає зручний інтерфейс для контролю, оптимізації та обслуговування.

Deye Cloud дозволяє власнику системи отримувати досить глибоку інформацію про роботу сонячної електростанції. Платформа демонструє

поточну генерацію, напругу, струм, заряд/розряд акумуляторів (якщо є), споживання електроенергії, а також показує історію роботи: скільки енергії вироблено за день, місяць чи рік, скільки використано, скільки збережено.

Крім моніторингу, Deye Cloud надає інструменти для управління інвертором і навантаженнями. Це дає змогу задавати режими роботи наприклад, пріоритет сонячної енергії або акумуляторів, обмеження експорту до мережі, перемикання навантажень в залежності від умов, строків чи заряду батарей.

Головною перевагою є те, що Deye Cloud забезпечує доступ до комплексного моніторингу та управління без необхідності створювати власну інфраструктуру – немає потреби в окремих серверах або спеціалізованих контролерах. Для користувача достатньо, щоб інвертор був сумісним з платформою, і можна почати відслідковувати роботу вже «з коробки».

Також перевагою є зручність та наочність: графіки, історія, візуалізація енергопотоків дають змогу легко аналізувати, як працює система, де є втрати, коли найбільша генерація, і яким чином енергія розподіляється між навантаженнями, батареєю або мережею. Це допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації, коригування навантажень або оновлення компонентів.

За рахунок підтримки різних типів установок – малі приватні, гібридні з акумуляторами, системи з мікроінверторами й навіть комерційні станції – Deye Cloud підходить для широкого спектру користувачів. Це зручно і для невеликого дому, і для більш складної енергосистеми.

Віддалений доступ через хмару – ще одна значна перевага. Коли користувач знаходиться не вдома, він може перевірити стан, отримати повідомлення про помилки або нестандартні ситуації й оперативно реагувати. Це підвищує надійність і безпеку системи.

2.3.5 TuYa

TuYa – це глобальна хмарна платформа для розумного дому та Інтернету речей (IoT), яка надає рішення для виробників пристроїв і кінцевих користувачів. Вона дозволяє об'єднувати різноманітні пристрої від різних виробників у єдину

екосистему, забезпечуючи централізоване управління, автоматизацію та інтеграцію з хмарними сервісами. Основна перевага Tuua полягає в тому, що платформа дозволяє швидко створювати розумні пристрої без потреби розробляти власне програмне забезпечення або інфраструктуру, забезпечуючи готові інструменти для керування, моніторингу та автоматизації.

Система Tuua працює на основі хмари і мобільних додатків, що дозволяє віддалено контролювати будь-які сумісні пристрої через смартфон. Платформа підтримує управління освітленням, кліматом, енергоспоживанням, безпекою, розетками та іншими приладами, а також надає можливість створювати автоматичні сценарії залежно від часу, датчиків або подій. Завдяки широкому спектру підтримуваних протоколів, Tuua може інтегрувати пристрої, які використовують Wi-Fi, Zigbee або Bluetooth, у єдину мережу, забезпечуючи їх взаємодію навіть між виробниками.

Одним із ключових аспектів Tuua є універсальність для виробників. Вони можуть використовувати платформу для створення «розумних» пристроїв з готовим хмарним підключенням та мобільним додатком. Це скорочує час виходу продукту на ринок і знижує витрати на розробку, водночас забезпечуючи споживачів стабільним та перевіреним сервісом.

Для кінцевих користувачів Tuua забезпечує зручний інтерфейс, який дозволяє контролювати пристрої, переглядати статистику енергоспоживання, отримувати повідомлення про події та налаштовувати автоматичні сценарії. Вбудована система хмарних сервісів дозволяє підключати голосові помічники, інтегруватися з іншими IoT платформами та керувати будинком з будь-якої точки світу.

Однак хмарна природа Tuua має і певні обмеження. Вона передбачає залежність від сервісів платформи та постійного підключення до інтернету. У разі відсутності інтернету або проблем з серверами Tuua користувач може тимчасово втратити доступ до віддаленого керування пристроями. Крім того, через хмарне зберігання даних виникає питання конфіденційності та контролю над інформацією про стан будинку та поведінку мешканців.

Tuya продовжує активно розвиватися, додаючи нові інтеграції, підтримку голосових помічників і вдосконалюючи мобільні додатки. Платформа підходить для широкого спектру користувачів: від власників приватних будинків, які хочуть отримати базову автоматизацію та контроль, до комерційних рішень для квартирних комплексів, офісів чи промислових об'єктів.

У підсумку Tuya є потужним інструментом для створення та керування екосистемою розумного дому, який надає широкі можливості автоматизації та інтеграції, але при цьому вимагає врахування питань залежності від хмарних сервісів та конфіденційності даних.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТАМИ

3.1 Опис роботи сонячної електростанції

Сонячна електростанція – це система, що перетворює енергію сонячного випромінювання на електрику та подає її для живлення будинку, заряджання акумуляторів або передачі в мережу [20].

Зокрема як бачимо зі схеми яка зображена на рисунку 3.1 до сонячної електростанції входять такі компоненти:

- сонячні панелі;
- інвертор;
- акумулятор;
- мережа;
- навантаження;
- безперебійне навантаження.

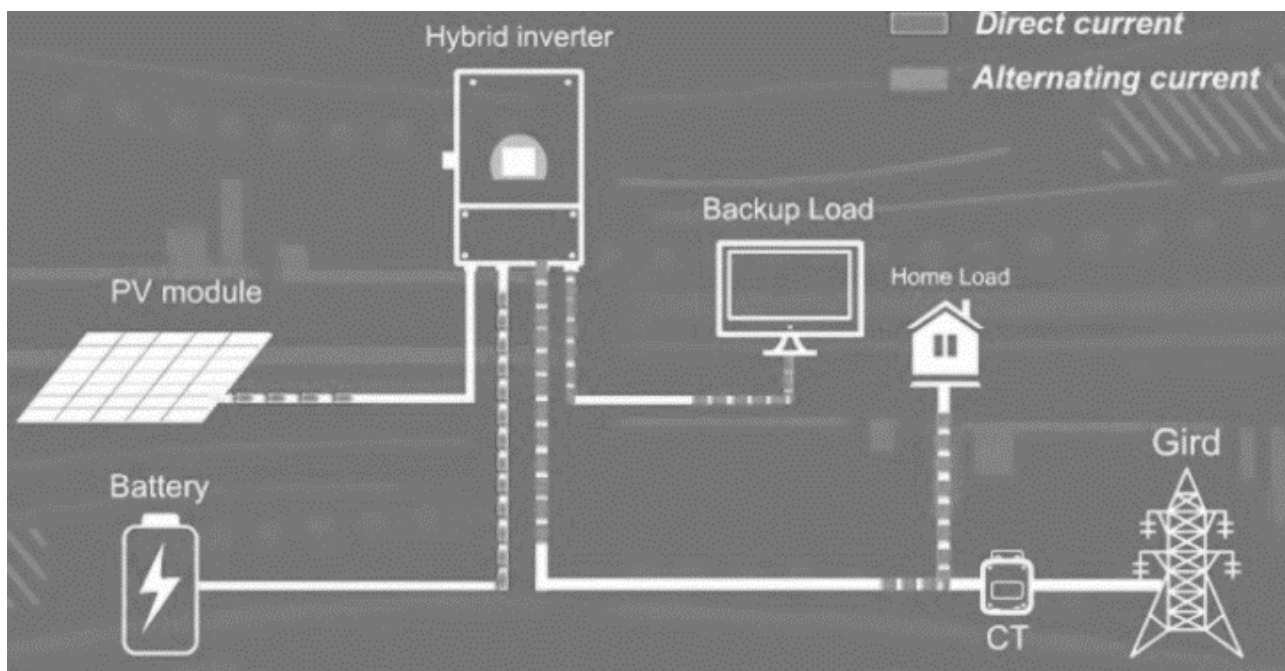


Рисунок 3.1 – Схема сонячної електростанції

Робота базується на взаємодії кількох ключових компонентів, серед яких сонячні панелі, інвертор і акумуляторна батарея. Як видно на рисунку 3.2 усе обладнання працює як єдиний комплекс, який автоматично забезпечує оптимальний розподіл енергії.

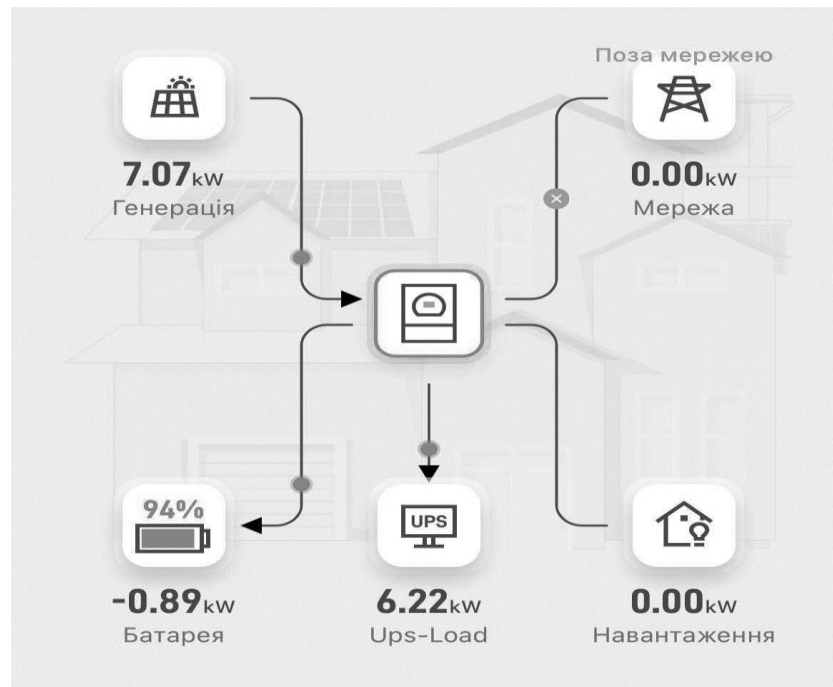


Рисунок 3.2 – Робота сонячної електростанції

У процесі роботи все починається з того, що сонячні панелі поглинають світло та перетворюють його на постійний струм. Інтенсивність генерації залежить від сонячності, температури та правильного монтажу. Отримана електроенергія надходить до інвертора, який є центральним елементом системи саме він визначає, як розподіляти вироблену потужність. Інвертор перетворює постійний струм на змінний, придатний для живлення більшості побутових приладів, і вже після цього подає електрику у внутрішню мережу будинку.

Якщо сонячного світла достатньо, інвертор направляє енергію на живлення будинку. Усі поточні потреби закриваються освітленням, технікою, нагрівальними приладами чи іншими споживачами. У разі генерації надлишків вони можуть накопичуватися в акумуляторній батареї. Коли акумулятор повністю заряджений, а споживання мінімальне, енергогенерація буде

знижуватись відповідно до споживання різними навантаженнями тобто фактично не буде генеруватись.

Саме це головна проблема яку потрібно вирішити за допомогою адаптивної системи керування, в момент зарядки акумуляторів до 90 % в будинку повинні вмикатись певні прилади, тоді станція продовжить максимально генерувати електроенергію з сонця. Відповідно якщо сонце неактивне і генерації мало система повинна орієнтуватись теж на акумулятор і не вмикати окремі прилади при зарядці акумулятора 50 %.

На рисунку 3.3 зображено графік роботи нашої сонячної електростанції, на графіку зображено синьою кривою рівень заряду акумулятора, фіолетова крива – потужність сонячної генерації, помаранчева крива – потужність навантаження будинку.

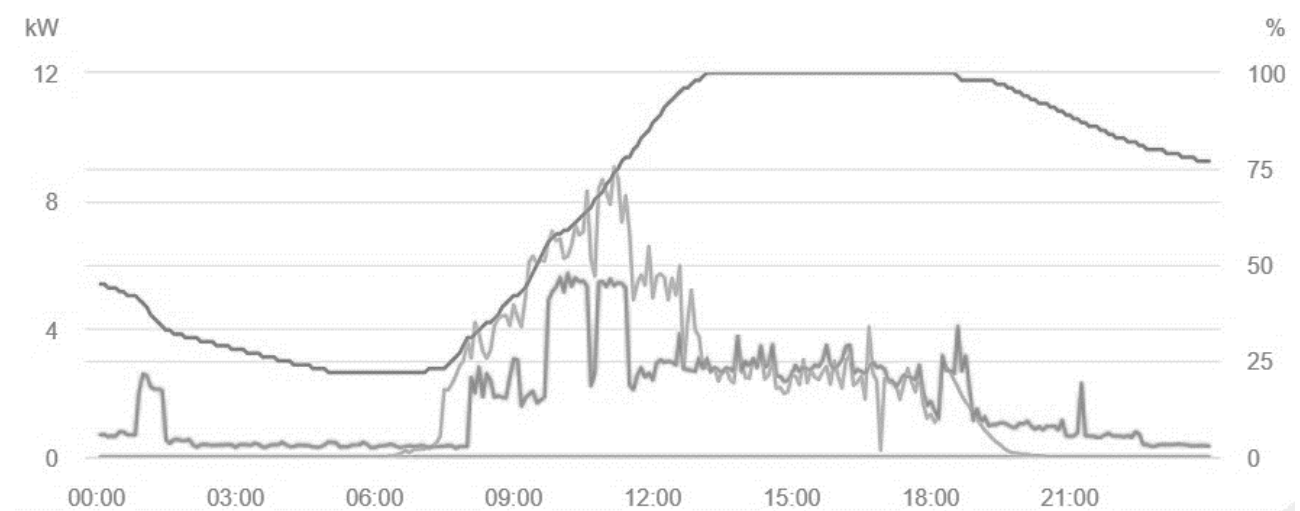


Рисунок 3.3 – Графік роботи СЕС

З цього графіку можемо зробити висновок що наша сонячна електростанція повноцінно працює до 12 години поки заряджається акумулятор, коли акумулятор заряджено генерація падає до рівня навантаження будинку відповідно з 12 години дня в момент максимальної інсоляції наша сонячна станція втрачає приблизно 8-10 кВт кожну годину. Враховуючи те що генерація електроенергії починає спадати о 18 годині вечора (починаючи з середини весни і закінчуючи серединою осені) за один сонячний день ми втрачаємо біля 50 кВт

енергії яку можна булоб використати на потреби будинку (нагрів води, роботу кондиціонерів, нагрів басейну, автополив теплиць або газону, роботу майнінг ферм). Економічно ми втрачаємо біля 216 грн. в день якщо станція стоїть в приватному будинку і 550 грн. в день, якщо станція стоїть на підприємстві. Варіантів вирішення даної проблеми тут декілька або докупити ці самі 50 кВт акумуляторів що є доволі дорогим задоволенням на сьогоднішній день це біля 7 тисяч доларів, або побудувати систему розумних датчиків і розеток які відповідно до генерації сонячної енергії будуть вмикати і вимикати ті чи інші прилади що є доволі вигідніше чим перший варіант.

3.2 Принципова схема датчиків і робота системи

У системах сонячної енергетики корисно автоматизувати роботу побутових приладів так, щоб вони вмикалися лише тоді, коли акумулятор добре заряджений, і вимикалися, коли енергії стає мало. Для цього найзручніше використовувати датчик напруги батареї, підключений до системи розумного дому. Він постійно вимірює фактичну напругу та передає її в систему автоматизації, а далі сценарії реагують на зміну значень. На рисунку 3.4 зображено пристрої і датчики які ми використаємо у нашій системі:

- 30 сонячних панелей сумарною потужністю 12 кВт;
- гібридний інвертор DEYE 12 кВт;
- розумні автомати АТОРСН 2Р 63А TuYa Smart;
- акумулятор LiFePO₄ на 15 кВт;
- датчики диму TuYa, SmartLife;
- датчик температури TuYa, SmartLife;
- смарт розетки Socket Smart Plug;
- датчик напруги АКБ на базі модуля ESP32.

Коли система отримує інформацію про напругу, вона може визначити приблизний стан заряду акумулятора. Наприклад, у LiFePO₄ батареї напруга понад 54 В зазвичай означає високий рівень заряду, а значення нижче 51 В – це

вже ознака розрядження. Ці значення відрізняються залежно від конкретної батареї, але принцип залишається однаковим: можна задати межі, за якими автоматизація вмикає або вимикає електроприлади.

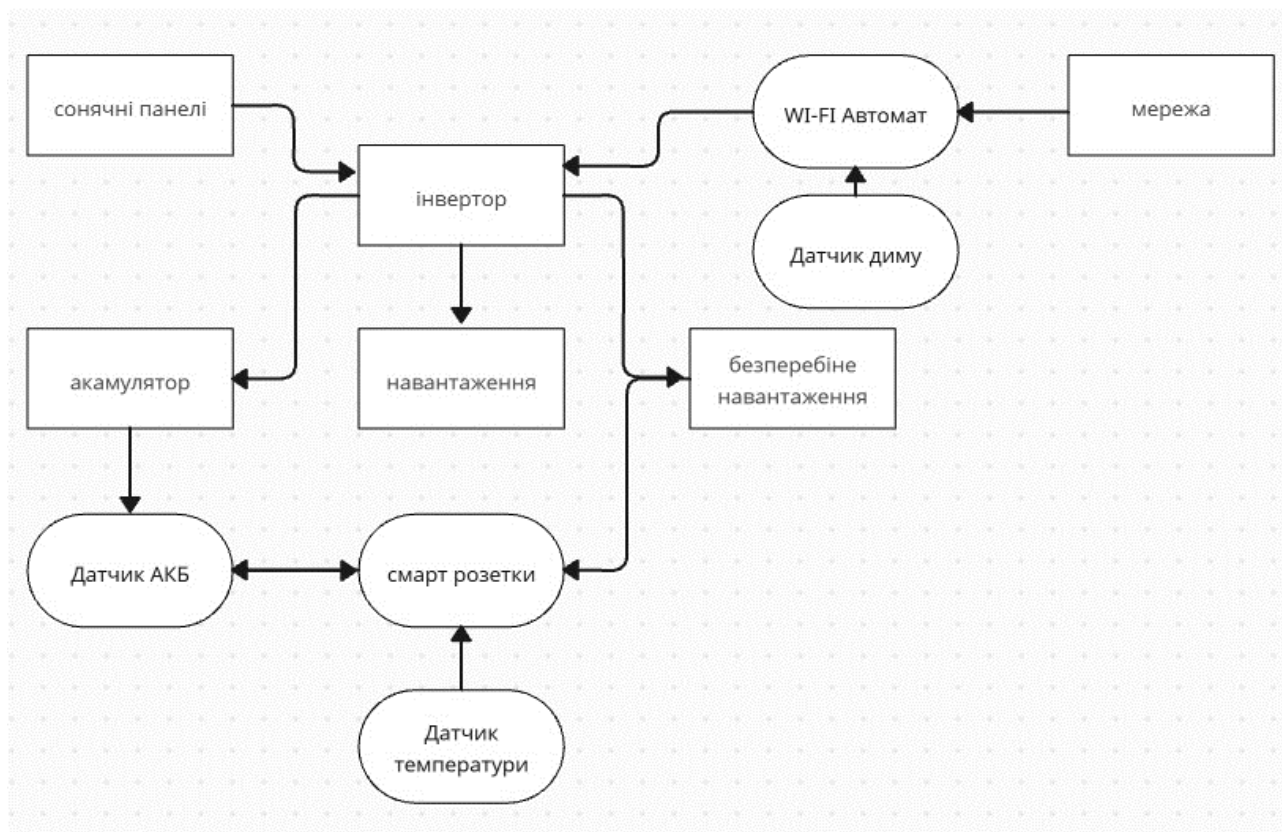


Рисунок 3.4 – Схема датчиків в поєднанні з СЕС

У практичній роботі такі сценарії найчастіше застосовують для контролю смарт-розеток, реле або груп навантажень. Наприклад, якщо акумулятор добре заряджений і напруга перевищує визначений поріг, система автоматично вмикає бойлер або зарядку електровелосипеда. Коли напруга падає нижче встановленої межі, розетка вимикається, щоби не розряджати батарею даремно. Так само можна організувати пріоритети: у періоди високої напруги працюють усі розетки, у середньому рівні – тільки основні, а при низькій напрузі система залишає активними лише найважливіші прилади.

Такий підхід дозволяє оптимізувати використання енергії та зменшує навантаження на батарею й інвертор. Користувач не втручається вручну, система сама визначає коли є надлишок енергії й можна увімкнути додаткові прилади, а

коли потрібно перейти в режим економії. Це робить роботу СЕС більш ефективною, а саме керування – зручним і передбачуваним.

На рисунку 3.5 зображено приклад роботи розумної розетки у системі SmartLife за допомогою сценаріїв. Розетка зчитує інформацію з датчика встановленого на акумуляторі і якщо напруга більше 54 В розетка вмикається якщо менше 51 В вимикається.

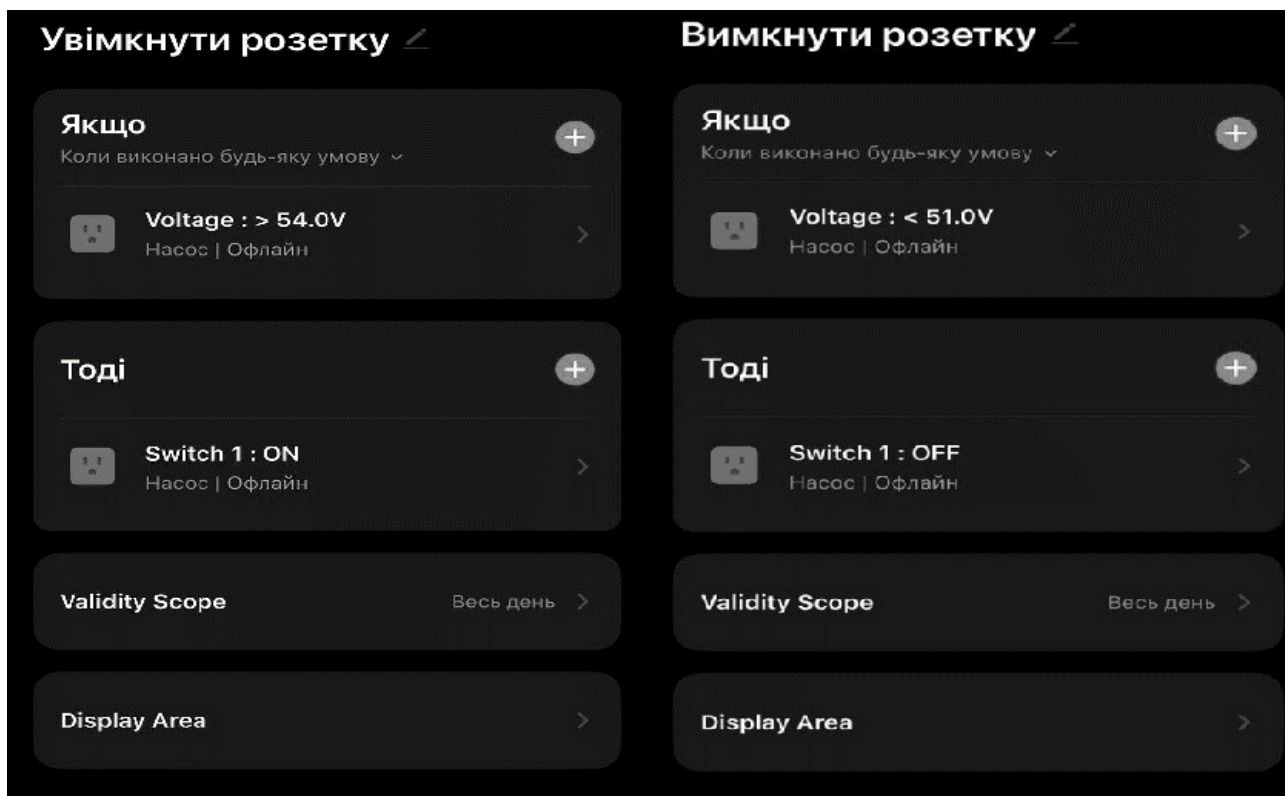


Рисунок 3.5 – Приклад сценарію розумної розетки

3.3 Розробка датчика моніторингу заряду акумулятора на базі ESP32

Моніторинг стану акумулятора є важливою частиною будь-якої автономної системи живлення. Це дозволяє контролювати рівень заряду, оптимізувати споживання енергії та попереджати випадки надмірного розрядження. Один із найзручніших способів створити такий модуль використати мікроконтролер ESP32 який зображено на рисунку 3.6. Він дозволяє передавати дані одразу двома каналами: через Bluetooth та UART, що робить

систему гнучкою й сумісною як із застосунками, так і з мікроконтролерами або смарт-хабами.

Основою конструкції є вимірювання напруги на виході акумулятора за допомогою аналогового входу ESP32. Завдяки вбудованому АЦП мікроконтролер може періодично знімати дані та перетворювати їх на цифрове значення, яке відповідає рівню заряду. Частота опитування може варіюватися залежно від задачі, але зазвичай достатньо декількох вимірювань за хвилину. Цих значень вистачає, щоб отримати точне уявлення про зміни рівня заряду без надмірного використання ресурсів.

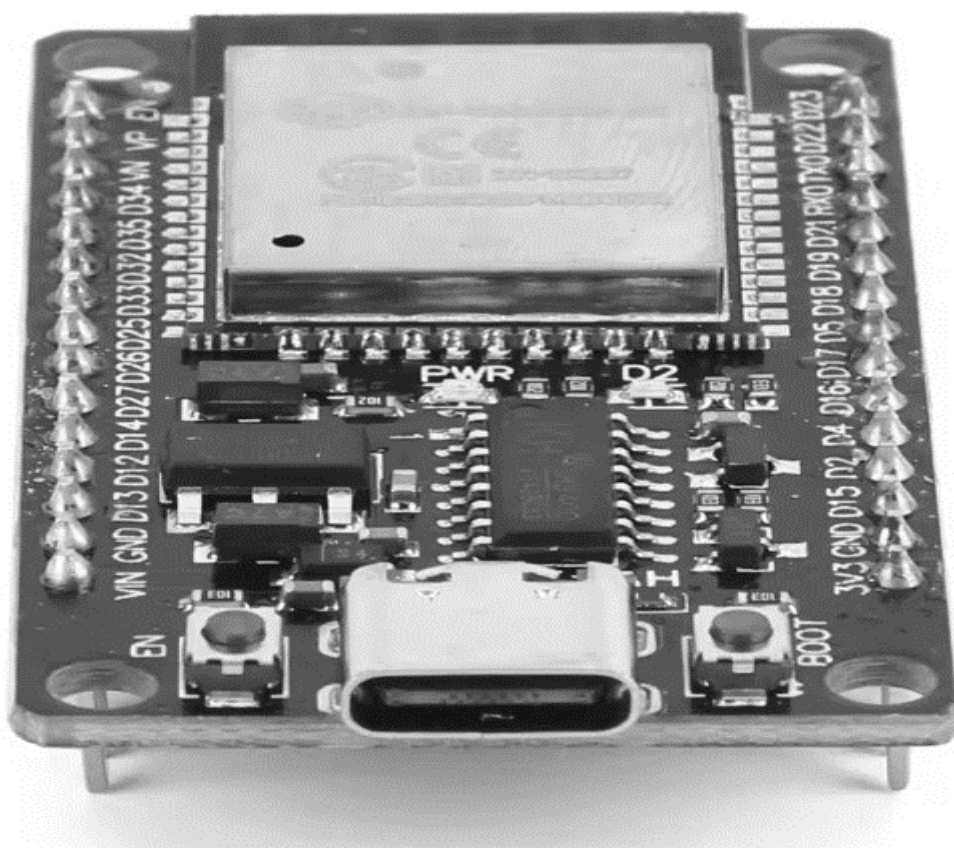


Рисунок 3.6 – ESP32 Wifi Bluetooth [21]

Передача даних через Bluetooth дозволяє переглядати інформацію зі смартфона або планшета. ESP32 підтримує Bluetooth Low Energy, що робить підключення енергоефективним і зручним. У Bluetooth-режимі датчик може працювати як малопотужний передавач, який періодично надсилає пакет із

поточним рівнем напруги. Це дає змогу легко інтегруватися з мобільними додатками або застосунками розумного дому, які підтримують BLE-сенсори.

Другий канал передачі UART він підходить для систем, де датчик потрібно підключити до іншого контролера або до інвертора, який підтримує послідовний обмін даними. UART дає змогу організувати стабільний канал з класичними текстовими або бінарними повідомленнями. Це зручно, коли система повинна передавати інформацію безпосередньо у центральний контролер, логер або комп'ютер. UART також спрощує налагодження: контролер може отримати точні значення напруги у будь-який момент.

Для підвищення точності роботи датчик може доповнюватися корекцією показників, що враховує падіння напруги під навантаженням або температуру довкілля. ESP32 також підтримує збереження статистики, тож датчик може підраховувати мінімальні, максимальні та середні значення протягом певного періоду. Дані можна передавати як у реальному часі, так і пакетами.

У поєднанні Bluetooth та UART дають універсальність. Датчик може працювати у двох режимах одночасно: реальний моніторинг для користувача через смартфон та постійний канал зв'язку з контролером через UART. Такий підхід робить його корисним у системах сонячного живлення, переносних акумуляторних установках, навчальних проєктах та прототипуванні.

Розробка датчика на ESP32 не лише дозволяє стежити за станом акумулятора, а й створює основу для подальшої автоматизації – наприклад, керування навантаженням, оптимізацією зарядки або передачею даних у хмарні сервіси. Завдяки своїй доступності та широким можливостям ESP32 залишається одним із найпопулярніших мікроконтролерів для розумних систем моніторингу.

Для роботи датчика потрібно для початку залити програмний код на нашу плату за допомогою esphomeweb, заливаємо програмний код вказаний у додатку А. Датчик буде працювати з RS485 яки присутній на нашій BMS підєданий за схемою яку зображено на рисунку 3.7. Через контакти RX TX датчик спілкується з нашою бмс і передає цю інформацію розумним смарт розеткам і іншим пристроям які підєднані до нього. Живлення контроллера

під'єднано до блоку живлення 5 В який в свою чергу під'єднаний до інвертора на вихід безперебійного живлення. Завдяки спілкуванню контролера на ESP32 з нашою бмс контролер бачить напругу на кожній комірці які у нашій батареї 16. Завдяки цьому точність вимірювання дуже велика адже бмс міряє напругу прямо на комірках через окремий балансувальний вихід минуючи контакти навантаження.

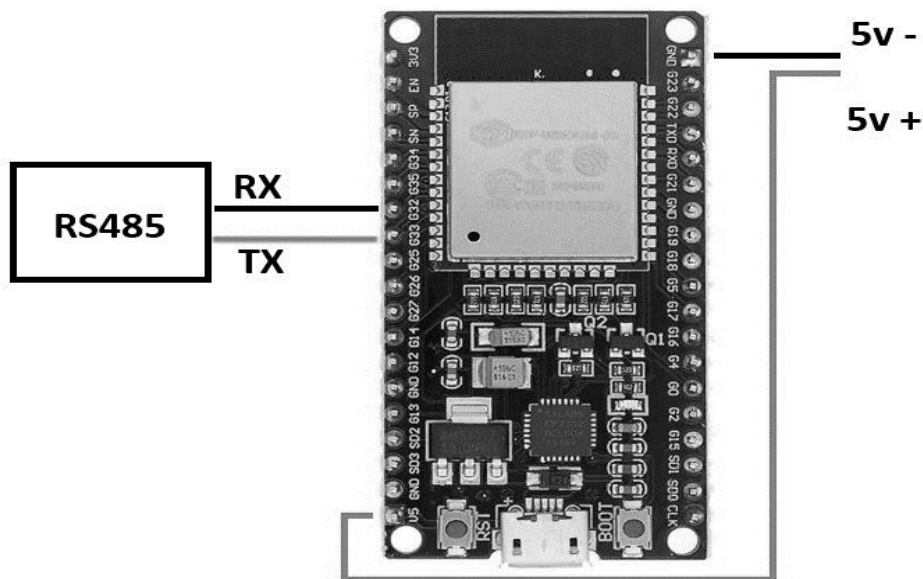


Рисунок 3.7 – Схема підключення ESP32

3.4 Робота БМС у акумуляторній збірці і схема підключення до ESP32

У будь-якій сучасній сонячній електростанції, що використовує літєві акумулятори, головну роль відіграє система керування батареєю, яку називають БМС [22]. У нашій системі для захисту акумулятора ми використали JK BMS яку зображено на рисунку 3.8. Літєві комірки, хоч і дуже ефективні, чутливі до перенапруги, надмірного розряду, перегріву та занадто великих струмів. Без контролю такі процеси швидко виводять батарею з ладу, тому БМС виступає не просто допоміжним модулем, а основою безпечної та стабільної роботи.

Під час роботи батареї БМС безперервно вимірює напругу на кожній комірці, температуру та струм, що проходить через батарею. На основі цих даних

вона визначає, чи перебуває система в безпечних межах. Якщо якийсь параметр починає виходити за допустимі значення, система негайно втручається наприклад, відключає заряд або розряд, знижує допустимі струми або повідомляє інвертору про необхідність змінити режим роботи. Так батарея не перегрівається, не перезаряджається і не розряджається глибше, ніж дозволяє хімія елементів.



Рисунок 3.8 – Інвертора БМС [23]

Однією з найважливіших функцій є балансування комірок. У літєвих батареях кожна комірка з часом накопичує власні невеликі відхилення, які без корекції поступово призводять до нерівномірного заряду всієї батареї. Коли одна комірка досягає максимальної напруги раніше інших, заряджання доводиться зупинити, хоча інші ще не заповнили свій об'єм. БМС вирівнює ці відмінності,

підтримуючи здоровий стан кожної комірки і забезпечуючи коректну роботу всієї батареї як єдиного блоку. Завдяки цьому зберігається повна ємність, а ресурс батареї значно збільшується.

Ще один важливий аспект – взаємодія з інвертором. У сонячній електростанції інвертор відповідає за правильний заряд батареї. Він отримує від БМС інформацію про температуру, рівень заряду, стан здоров'я батареї та допустимі межі струму. На основі цих даних інвертор сам підлаштовує потужність заряджання або розряджання, що робить роботу всієї системи узгодженою та ефективною. Без такого зв'язку інвертор працював би всліпу, що неминуче призвело б до перевантаження елементів.

БМС було підключено за схемою зображеною на рисунку 3.10. Акумулятори кількістю 16 штук підключені послідовно далі за схемою до кожного плюса акумуляторів було під'єднано балансувальні кабелі зображені у верхній частині схеми. Через ці кабелі бмс вимірює напругу та опір кожної комірки і через кан шину передає ці дані інвертору. Це зроблено для того щоб інвертор не перезарядив жодної комірки адже при перевищенні на комірці напруги більшої як 3.65 В може відбутись або пожежа або вибух. Якщо бмс бачить що якась комірка менше заряджена, а якась більше і ця різниця більше чи 0,1 В через балансувальні кабелі вона може переганяти струм потужністю 2 ампера, із самої зарядженої в саму розряджену таким чином балансує всі 16 комірок. Далі за схемою силовий плюс підключається на пряму до інвертора, а силовий мінус на силовий вхід негативного контакту на бмс. Силовий вихід негативного контакту вже підключається до інвертора. Таким чином бмс слідкуючи за заданими параметрами у випадку аварійної ситуації може розімкнути негативний контакт від інвертора через польові транзистори.

Далі за схемою до бмс підключається комунікаційна плата вона має DIP перемикачі які використовуються для зеднання кількох бмс. Відображає SOC рівень зарядки акумулятора. Порти RS232 CAN порт призначений для зеднання бмс з інвертором і два порти RS485 само до них ми підключимо нашу ESP 32.

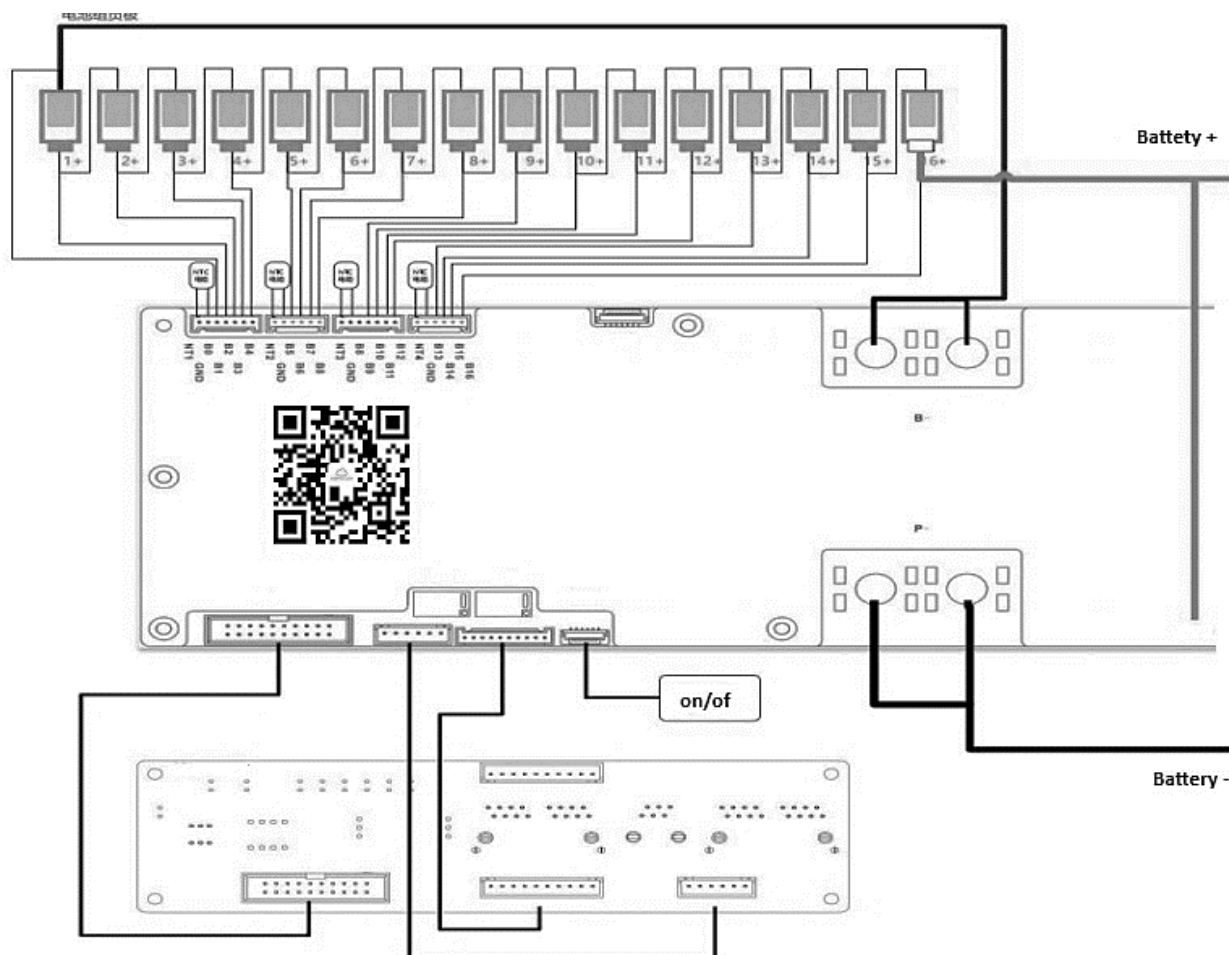


Рисунок 3.9 – схема підключення БМС [24]

У реальній експлуатації БМС не тільки захищає батарею, а й оптимізує її роботу. Вона допомагає використовувати акумулятори максимально ефективно, уникаючи зайвого стресу для них. Саме тому батарея з якісною БМС дозволяє отримувати стабільну вихідну потужність, довготривалий ресурс та високу безпеку навіть за інтенсивних режимів роботи, характерних для сонячних станцій. Без БМС літєва батарея у СЕС була б надто вразливою, а її термін служби скоротився б у кілька разів.

Таким чином, БМС – це фундаментальний елемент будь-якої сучасної енергетичної системи на базі літєвих акумуляторів. Вона контролює кожен секунду роботи батареї, забезпечуючи її безпеку, довговічність та узгоджену роботу з інвертором. Саме завдяки БМС сонячні електростанції можуть

працювати стабільно, а батареї – служити багато років без небезпеки для користувача та обладнання.

3.5 Методи та результати досліджень роботи системи

Метою експерименту є перевірка ефективності роботи система та вплив роботи системи на генерацію сонячної енергії. Для експерименту було використано розроблений власноруч датчик напруги акумулятора на базі ESP32 та розумні смарт розетки.

Експеримент проводився у будинку де попередньо була змонтована сонячна електростанція, зібраний власноруч акумулятор з БМС. До БМС було підключено датчик напруги акумулятора, який заміряє напругу на акумуляторі і передає цю інформацію розумній розетці. Розумна розетка була підключена до виходу інвертору, в яку було прописано сценарій увімнення коли напруга на акумуляторі більше 54 В і вимкнення коли напруга на акумуляторі 51 В. Коли розетка розуміла що акумулятр в будинку заряджений до 54 В вмикалась зарядка до електрокару.

Дослідження проводилось у гарну погоду щоб можна було дослідити максимальну ефективність роботи системи, і як вона вплине на генерацію електроенергії з сонячних панелей. На рисунку 3.10 зображено графік роботи системи, графік був взятий з фірмової програми до інвертору DEYE Cloud.

Приблизно о 12 годині дня акумулятор набрав потрібні нам 54 В, після чого розетка увімкнулась і почалась зарядка електро автомобіля. Далі біля 18 години вечора коли генерація спала майже до нуля і акумулятор розрядився розетка вимкнулась. При цьому як видно на першій кривій генерація не зменшувалась і спадала по мірі заходу сонця. З цього робим висновок що експеримент пройшов успішно і система працює справно. Відповідно добавляючи більше приладів генерація буде триматись на рівні максимальної до кінця дня акумулятор буде розрядатись по мірі спадання генерації поки контроллер ESP32 не просигналізує про те що акумулятор розряжено і розетки вимнуться.

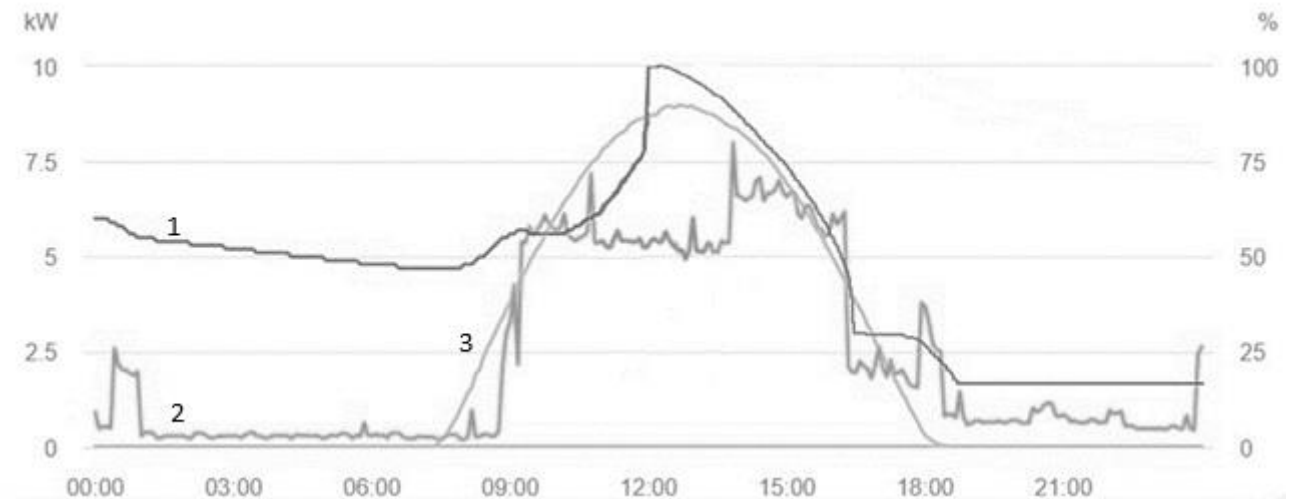


Рисунок 3.10 – Графік роботи системи

3.6 Результати досліджень

Результати досліджень підтвердили ефективність розробленої системи. Як видно з рисунку 3.11 де порівняно два графіки з системою і без, в звичайні сонячні дні генерація зросла з 20,2 кВт до 53,1 що на 165 % більше чим робота станції без системи. При цьому навантаження зросло майже на ті самі 165 %. Так як дана система дає розуміння що надлишкова безкоштовна енергія може бути використана в момент максимальної генерації від сонця і зарядка може бути підключена цілий день.

Поєднання цих двох елементів дозволяє створити адаптивне управління побутовими навантаженнями. Датчик заряду акумулятора постійно фіксує його поточний стан, даючи розуміння, скільки доступної енергії вже накопичено та чи є надлишок сонячної генерації. Коли стан батареї свідчить про достатній заряд, система може дозволити ввімкнення приладів, що не є критичними, але споживають значні обсяги електроенергії, наприклад водонагрівачів, пральних машин, обігрівачів чи інших пристроїв, роботу яких бажано перенести саме на періоди активного вироблення сонячної енергії. Таким чином енергія, яка б інакше залишилася невикористаною або була б скинута, спрямовується на корисне споживання.



Рисунок 3.11 – Порівняння двох графіків

Смарт-розетка у цьому процесі відіграє роль виконавчого елемента. Вона може автоматично отримувати команду від системи керування, яка аналізує дані датчика напруги. Це дозволяє забезпечити гнучке реагування на зміну умов без участі користувача. Наприклад, якщо генерація перевищує споживання, система може включити певні прилади, щоб зменшити навантаження на акумулятор та уникнути постійного переходу в режим повної зарядженості. Це не лише підвищує загальну ефективність станції, а й сприяє більш м'якому використанню акумуляторної батареї.

Навпаки, у моменти, коли напруга акумулятора знижується, смарт-розетка може відключити другорядні споживачі. Така поведінка дозволяє зберегти енергію для важливих приладів або на випадок відсутності сонячної генерації.

Це робить будинок значно автономнішим та менш залежним від зовнішньої мережі. Крім того, система отримує можливість прогнозувати енергетичний баланс: аналізуючи динаміку заряду акумулятора та фактичне споживання, вона приймає рішення не тільки щодо увімкнення чи вимкнення приладів, а й щодо оптимального моменту їхньої роботи, що рівномірно розподіляє навантаження протягом дня.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено адаптивну систему енергоспоживання в поєднанні з сонячної електростанцією яка може керувати різними навантаження відповідно до зміни погоди.

Проведене дослідження довело, що поєднання сучасних сенсорних технологій, засобів контролю та алгоритмів адаптивного керування дозволяє суттєво підвищити ефективність використання відновлюваної енергії.

Результатом виконання роботи стало створення апаратно-програмного рішення, здатного забезпечувати підвищення енергоефективності житлових приміщень за рахунок інтелектуального управління потоками електроенергії, оптимізації роботи сонячної генерації та зниження навантаження на традиційну мереж.

Здійснено детальний аналіз базових принципів енергозбереження в будівлях, які використовують сонячну генерацію. Встановлено, що ефективне використання фотоелектричних установок потребує застосування адаптивних систем контролю, здатних враховувати зміну інсоляції, добову нерівномірність виробітку, сезонні коливання та профіль споживання. Доведено, що інтеграція сонячної електростанції із системами автоматизації розумного будинку створює передумови для підвищення автономності та зниження витрат на електроенергію.

Проведено огляд сучасних методів вимірювання та керування енергоспоживанням у житлових будинках. Було вивчено технології вимірювання струму й напруги, розглянуто використання цифрових лічильників, шунтів, датчиків, модулів релейного керування та алгоритмів оптимізації енергоспоживання. Аналіз показав, що найбільш перспективними є системи, які забезпечують точний моніторинг навантаження у реальному часі та дозволяють автоматично перемикаєти режими роботи пристроїв залежно від рівня доступної сонячної енергії.

Досліджено існуючі системи моніторингу та управління енерговитратами, включно з комерційними та відкритими рішеннями. Проаналізовано платформи: SMART LIFE, Home Assistant, OpenHAB, Deye Cloud Tuuya, а також інтелектуальні інвертори, системи обліку споживання і модулі керування навантаженнями. У ході аналізу встановлено їх переваги, недоліки та конкурентні особливості, що дозволило визначити оптимальні архітектурні підходи для створення власної системи.

Проведено порівняльний аналіз програмного забезпечення для побудови систем моніторингу та керування енерговитратами. Вивчено архітектурні рішення, а також локальні мобільні застосунки та хмарні сервіси. Розроблено рекомендації щодо вибору програмного стеку залежно від вимог до автономності, масштабованості та стабільності роботи.

Було створено принципову схему датчиків, елементів керування та логічної структури функціонування всієї системи. Було розроблено структурну схему, яка об'єднує сенсори напруги та струму, модулі керування навантаженнями, мікроконтролер, комунікаційні інтерфейси та енергообчислювальні компоненти. Сформовано детальну модель збору даних, аналізу показників та прийняття рішень для оптимізації споживання енергії.

Було проведено експериментальне дослідження роботи створеної адаптивної системи моніторингу та керування. У ході випробувань підтверджено її здатність до автоматичного перерозподілу навантажень залежно від рівня генерації сонячної електростанції, зниження пікових споживань та покращення загальної енергоефективності будинку. Система продемонструвала стабільну роботу, коректність вимірювань, оперативність реагування на зміни виробітку та можливість розширення функцій за рахунок модульної архітектури. Отримані результати підтверджують, що адаптивна система може бути інтегрована як у нові будинки, так і у вже існуючі інженерні мережі.

Отримані результати показали, що впровадження такої системи є економічно доцільним та технологічно перспективним рішенням для сучасних приватних домогосподарств. Адаптивна система моніторингу може бути

масштабована, доповнена новими датчиками чи алгоритмами, а також інтегрована в комплексні системи «розумного будинку». Вона забезпечує безперервний моніторинг вироблення та споживання енергії, а також автоматичне коригування роботи побутових приладів залежно від доступної потужності та рівня заряду акумулятора.

Розроблена система продемонструвала можливість реального підвищення ефективності домашньої сонячної електростанції, оптимізації енергоспоживання, підвищення автономності та формування більш раціонального використання доступних енергоресурсів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сухецький П., Никонюк С., Поліщук М. Інтеграція комп'ютерного зору та алгоритмів штучного інтелекту в системах автономного керування: концепція та виклики. Науковий часопис «Технічні вісті». № 1(61), 2(62). Львів, 2025. 69-71 с.
2. Ємець А. П. Основи енергозбереження та енергоефективності. Харків: ХНУМГ, 2021. 34-39 с.
3. Гнатенко І. М. Огляд сучасних методів моніторингу та аналізу енергоспоживання. Львів: 2022. 1-5 с.
4. Розумний лічильник електроенергії URL: https://images.prom.ua/6047502193_w640_h640_schetchik-elektroenergii-3f.jpg (дата звернення: 04.07.2025).
5. Розумний WI-FI автомат URL: https://images.prom.ua/5514986138_w640_h640_wi-fi-vyklyuchatel-rele-na.jpg (дата звернення: 02.07.2025).
6. Розумна смарт розетка. URL: <https://prom.ua/ua/p2459380678-umnaaya-rozetka-20a.html> (дата звернення: 21.08.2025).
7. Неінвазивний датчик струму. URL: <https://www.aliexpress.com/item/1005008894681851.html> (дата звернення: 24.08.2025).
8. Датчик струму інвертора. URL: <https://prom.ua/p2320621450-transformator-zminnogo-strumu.html> (дата звернення: 23.09.2025).
9. Петренко О. В. Адаптивні методи керування навантаженнями у системах розумний будинок. Київ: 2021. 19-24 с.
10. Крижанівський Є. І. Автоматизовані системи контролю та сенсорика в енергетичних комплексах. Івано-Франківськ: 2022. 37-44 с.
11. Датчик руху, освітленості та присутності людей URL: <https://prom.ua/p2826823938-umnyj-datchik-dvizheniya.html> (дата звернення: 25.09.2025).
12. Датчик температури та вологості повітря URL: <https://prom.ua/p2553898460-datchik-temperaturi-vologosti.html> (дата звернення: 02.10.2025).

13. Датчик відкриття вікон та дверей URL: <https://prom.ua/p2374887906-umnyj-besprovodnoj-datchik.html> (дата звернення: 02.10.2025).

14. Датчик протікання води URL: <https://prom.ua/ua/p1968755503-datchik-protechki-vody.html> (дата звернення: 02.10.2025).

15. Датчик якості повітря, диму та газу URL: <https://prom.ua/p2233943233-umnyj-datchik-dyuma.html> (дата звернення: 02.10.2025).

16. Датчик вологості ґрунту URL: <https://prom.ua/p2785142538-umnyj-datchik-temperature.html> (дата звернення: 02.10.2025).

17. Головний хаб керування розумним будинком URL: <https://prom.ua/ua/p2153279020-zigbee-shlyuz-tuya.html> (дата звернення: 02.10.2025).

18. Коцюба С. Протоколи зв'язку в інтелектуальних системах керування будівлями. Київ: 2022. 1-8 с.

19. Гаврилюк, В., Шевчук Р. Огляд програмних платформ для моніторингу енергоспоживання у розумних будинках. Системи управління, навігації та зв'язку. Львів: 2021. 56-62 с.

20. Green Power Lab. Фотоелектричні модулі та інвертори: принципи роботи і характеристика. Енергетичний менеджмент. Київ: 2021. 7-15 с.

21. Посібник користувача з програмування ESP32 URL: <https://manuals.plus/uk/espressif-systems/esp32-devkitm-1-esp-idf-programming-manual> (дата звернення: 02.10.2025).

22. Сидоренко, О. П. Батареї Li-ion та LiFePO₄: вимірювання, балансування і безпека. Харків: ХНУРЕ, 2021. 5-8 с.

23. JK BMS user manual URL: https://www.jkbms.com/wp-content/uploads/2024/06/JK-BMS-User-Manual-for-PB-series-jkbms.com_.pdf (дата звернення: 02.10.2025).

24. JK BMS schematic manual URL: https://www.jkbms.com/wp-content/uploads/2024/06/JK-BMS-User-Manual-for-PB-series-jkbms.com_.pdf (дата звернення: 02.10.2025).