

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)  
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий(Магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Інтелектуальна система управління витратами електроенергії

В Smart Home

(тема)

Виконав: здобувач 2024 року навчання, групи

СКСм-23-2

Гончаров Д.С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Спеціалізовані комп'ютерні системи

(повна назва освітньої програми)

Керівник роботи

Немченко В.П.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Чумаченко С.В

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Автоматизації проектування обчислювальної техніки \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри   
(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві \_\_\_\_\_ Гончарову Данилу Сергійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Інтелектуальна система управління витратами електроенергії в Smart Home

затверджена наказом по університету від "08" \_\_\_\_\_ 11 \_\_\_\_\_ 2024 р. № 1189 Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 22.01.2025 \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи (проекту) \_\_\_\_\_

Node MCU \_\_\_\_\_

Середовище розробки Arduino IDE \_\_\_\_\_

Мова програмування C/C++ \_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

Аналіз предметної галузі та постановка задачі проектування \_\_\_\_\_

Розробка програмної частини системи \_\_\_\_\_

Розробка апаратної частини системи \_\_\_\_\_

Програмування мікроконтролерного пристрою \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 15 слайдів \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

7. Дата видачі завдання 02.09.2024

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Видача теми проекту, узгодження і затвердження теми	02.09.2024-30.09.2024	
	Аналіз проблемної галузі, постановка задачі, вибір інструментальних засобів	30.09.2024-08.10.2024	
	Розробка електричної схеми пристрою	08.10.2024-12.10.2024	
	Реалізація макету пристрою	12.10.2024-20.10.2024	
	Розробка програми для мікроконтролера	20.10.2024-25.10.2024	
	Тестування системи	25.10.2024-20.11.2024	
	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2024-14.12.2024	
8	Перевірка виконаного проекту керівником, допуск до захисту	15.12.2024-24.12.2024	
9	Захист проекту	14.01.2025-31.01.2025	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Немченко В.П.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра: 66 с., 16 рис., 24 джерела.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ, АНАЛІЗ ДАНИХ, SMART GRID, ARDUINO.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження інтелектуальної системи управління витратами електроенергії та можливостей її покращення для оптимізації використання енергоресурсів. Основна увага приділяється розробці методів зниження споживання електроенергії, підвищення ефективності управління та інтеграції сучасних технологій автоматизації.

У роботі виконано аналіз функціональних можливостей інтелектуальних систем управління енергоспоживанням, визначено їхні обмеження та запропоновано шляхи покращення. Досліджено стратегії оптимізації роботи електроприладів, методи зниження енергозатрат систем опалення та кондиціонування повітря, а також алгоритми балансування навантаження в системах розподіленого енергоспоживання.

Описано, протестовано та реалізовано найефективніші підходи до автоматизації управління енергоресурсами, включно з адаптивним керуванням електроприладами, інтеграцією сенсорних систем та використанням технологій аналізу даних для прогнозування споживання.

Процес дослідження включав аналіз сучасних алгоритмів управління енергоспоживанням, їх можливостей та обмежень. На основі цього аналізу було розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування інтелектуальних систем управління витратами електроенергії, з урахуванням аспектів енергоефективності та зручності використання.

## ABSTRACT

Master's thesis contains 66 pages, 16 figures, 24 sources according to the list of links.

INTELLIGENT SYSTEM MANAGEMENT, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY USAGE OPTIMIZATION, AUTOMATED CONTROL, DATA ANALYSIS, ARDUINO.

The goal of this qualification project is to investigate an intelligent energy consumption management system and explore ways to improve it for optimizing energy resource usage. The primary focus is on developing methods to reduce electricity consumption, enhance management efficiency, and integrate modern automation technologies.

The work aims to analyze the functional capabilities of intelligent energy management systems, identify their limitations, and propose improvements. Strategies for optimizing the operation of electrical appliances, methods for reducing energy consumption in heating and air conditioning systems, and algorithms for load balancing in distributed energy consumption systems have been studied.

The best approaches to automation in energy resource management have been described, tested, and implemented, including adaptive control of electrical devices, integration of sensor systems, and the use of data analysis technologies for consumption forecasting.

The research process involved analyzing the functional capabilities and limitations of existing intelligent energy management systems. Based on this analysis, recommendations were developed to enhance the functionality and efficiency of the intelligent system, aimed at reducing energy consumption and improving management convenience.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП	10
1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ	11
1.1 Поняття, концепція та основні можливості інтелектуальної системи управління витратами електроенергії в Smart Home	11
1.2 Апаратні компоненти системи	12
1.3 Програмне забезпечення та алгоритми управління	14
1.4 Огляд існуючих рішень	16
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	19
2.1 Актуальність дослідження	19
2.2 Цілі та завдання дослідження	19
2.3 Інтелектуальні системи управління витратами електроенергії	20
2.3.1 Основні поняття	20
2.3.2 Принципи роботи	21
2.3.3 Сучасний стан та перспективи	22
2.4 Технології інтелектуальних систем	22
2.4.1 Архітектура	22
2.4.2 Інтеграція інтелектуальних систем управління	24
2.4.3 Використання сенсорів та IoT технологій	24
2.4.4 Виклики та обмеження впровадження технологій	25
2.5 Управління електроенергією в інтелектуальних системах	26
2.5.1 Моніторинг енергоспоживання	26
2.5.2 Аналіз даних та прогнозування	27
2.5.3 Автоматизація та оптимізація витрат	28
2.6 Виклики та перспективи впровадження інтелектуальних систем	28
2.6.1 Технічні виклики	28
2.6.2 Економічні та соціальні аспекти	29

2.6.3 Екологічний вплив	30
2.6.4 Практичне застосування інтелектуальних систем	30
<b>3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗУ РОЗУМНИХ СИСТЕМ</b>	<b>32</b>
3.1 Методи збору даних	32
3.1.1 Використання сенсорів для моніторингу	33
3.1.2 Інтеграція з існуючими інтелектуальними системами	34
3.1.3 Обробка та зберігання даних	35
3.2 Методи аналізу даних	36
3.2.1 Методи статистичного аналізу	36
3.2.2 Моделювання та прогнозування енергоспоживання	39
3.2.3 Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування та оптимізації витрат електроенергії	41
3.2.4 Перспективи використання технологій штучного інтелекту для управління енергоефективністю	42
3.3 Програмне забезпечення для інтелектуальної системи	42
3.3.1 Платформи розробки програмного забезпечення	42
3.3.2 Інструменти для моніторингу та аналізу даних	43
3.3.3 Системи управління енергоспоживанням	44
3.3.4 OpenEnergyMonitor	44
3.3.5 Node-RED 19	45
3.4 Аналіз проблем та вирішення їх в інтелектуальній системі	45
3.4.1 Виявлення проблем	46
3.4.2 Оптимізація використання ресурсів	47
3.4.3 Зменшення часу реакції	48
3.4.4 Розширення функціоналу	49
3.4.5 Додавання нових можливостей	49
3.4.6 Розробка API для зручного взаємодії з іншими системами	50
3.5 Покращення енергоефективності	51
3.5.1 Використання оптимізованих алгоритмів енергозбереження	51

3.5.2 Мінімізація споживання електроенергії	52
4 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В SMART HOME	53
4.1 Використані елементи та їх характеристика	53
4.2 Живлення схеми	56
4.3 Зібрана схема пристрою	59
ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	64
ДОДАТОК А	67

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ

### I ТЕРМІНІВ

IDE – інтегроване середовище розробки (англ. Integrated Development Environment);

AI – штучний інтелект (англ. Artificial Intelligence);

IoT – Інтернет речей (англ. Internet of Things);

EMS – система управління енергоспоживанням (англ. Energy Management System);

HEMS – система управління енергоспоживанням у будинку (англ. Home Energy Management System);

PLC – програмований логічний контролер (англ. Programmable Logic Controller);

ML – машинне навчання (англ. Machine Learning);

UPS – джерело безперебійного живлення (англ. Uninterruptible Power Supply);

API – програмний інтерфейс додатка (англ. Application Programming Interface);

ПЗ – програмне забезпечення;

## ВСТУП

У сучасному світі зростає значення енергоефективності та сталого використання ресурсів. Споживання електроенергії в домогосподарствах стає все більшим викликом, і відповідальність за зменшення енерговитрат лежить не тільки на виробниках та постачальниках енергії, але й на кінцевих споживачах. У цьому контексті розвиток інтелектуальних систем управління витратами електроенергії стає актуальним і перспективним напрямом.

Ці інтелектуальні системи базуються на застосуванні передових технологій та алгоритмів машинного навчання для оптимізації споживання електроенергії, що дозволяє знижувати витрати, підвищувати енергоефективність та забезпечувати комфортне користування різноманітними пристроями в будинку. Впровадження таких систем вимагає інтеграції з різними аспектами розумного будинку, включаючи освітлення, опалення, вентиляцію та інші системи, що сприяє створенню інтелектуального середовища для життя.

Аналіз сучасних досягнень показує, що оптимізація витрат електроенергії за допомогою інтелектуальних систем може бути досягнута за допомогою різноманітних методів, включаючи використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування споживання, автоматизацію управління та моніторингу енергоефективності. До цього високотехнологічного підходу потрібно підходити з урахуванням індивідуальних потреб кожного користувача та специфіки різних пристроїв.

В даній роботі метою є дослідження та аналіз інтелектуальних систем управління витратами електроенергії з метою виявлення оптимальних рішень та пропозицій для їхнього впровадження. Розроблені рішення можуть сприяти зменшенню споживання електроенергії та покращенню якості життя у сучасних умовах.

## 1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ

### 1.1 Поняття, концепція та основні можливості інтелектуальної системи управління витратами електроенергії в Smart Home

Інтелектуальна система управління витратами електроенергії у концепції "розумного дому" є інноваційним рішенням, яке спрямоване на підвищення енергоефективності, зниження витрат електроенергії та створення комфортного й автоматизованого середовища для користувачів. В основі цієї системи лежить інтеграція технологій Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI) та хмарних обчислень, що дозволяє здійснювати інтелектуальний контроль і управління електроприладами у реальному часі. Основний принцип роботи такої системи базується на зборі, аналізі та обробці даних про споживання електроенергії з підключених пристроїв, що дає можливість прогнозувати витрати, оптимізувати енергоспоживання та впроваджувати заходи щодо його зменшення. Сучасні СУВЕ використовують розумні лічильники електроенергії, сенсори енергоспоживання, програмовані контролери та мобільні додатки для моніторингу та дистанційного управління електроприладами.

Завдяки такій системі користувач отримує детальний аналіз рівня споживання електроенергії кожним пристроєм, може налаштовувати режими роботи відповідно до тарифів або часу доби, автоматизувати процес вмикання та вимикання техніки, а також отримувати рекомендації щодо економії енергії. Наприклад, система може автоматично вимикати освітлення та побутову техніку у кімнатах, де немає людей, зменшувати потужність роботи кондиціонера чи обігрівача у певні години або пропонувати перенести роботу енергоємних приладів, таких як пральна машина чи посудомийка, на час дії нічного тарифу. Додатково система здатна розпізнавати підозріле або надмірне енергоспоживання та надсилати користувачеві сповіщення про можливі

несправності або неефективне використання електроенергії.

Розвиток інтелектуальних систем управління витратами електроенергії сприяє впровадженню нових алгоритмів машинного навчання, які дозволяють аналізувати великі обсяги даних, визначати закономірності у споживанні та пропонувати індивідуальні рекомендації для кожного користувача. Крім того, інтеграція таких систем із відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі та вітрові турбіни, дозволяє підвищити рівень енергонезалежності будинку та забезпечити ефективне використання виробленої енергії. Наприклад, система може накопичувати електроенергію у батареях у періоди надлишкового виробництва та використовувати її у години пікового споживання.

Ще однією важливою особливістю HEMS є підвищення рівня комфорту та безпеки користувачів. Інтеграція з системами безпеки дозволяє автоматично відключати електроприлади у разі аварійної ситуації, наприклад, при виявленні витoku газу або короткого замикання. Крім того, користувач може керувати всіма електроприладами дистанційно через мобільний додаток або голосові команди, що робить експлуатацію будинку більш зручною.

Впровадження інтелектуальних систем управління витратами електроенергії у розумних будинках не тільки допомагає значно зменшити фінансові витрати на електроенергію, а й сприяє зниженню навантаження на енергомережі та мінімізації негативного впливу на довкілля. У сучасних умовах глобальної енергетичної кризи та необхідності раціонального використання ресурсів такі системи стають важливим елементом розвитку енергоефективних технологій і забезпечують стабільний перехід до розумного та екологічного енергоспоживання.

## 1.2 Апаратні компоненти системи

Для реалізації інтелектуальної системи управління витратами електроенергії в Smart Home використовуються апаратні компоненти, що

забезпечують збір, обробку та передачу даних про енергоспоживання у режимі реального часу. Основним елементом системи є розумний лічильник електроенергії, який виконує функції вимірювання параметрів споживання, таких як напруга, струм, потужність та загальна витрата електроенергії. Такі лічильники оснащені бездротовими модулями зв'язку (Wi-Fi, Zigbee або LoRa), що дозволяє інтегрувати їх у загальну систему Smart Home та здійснювати дистанційний контроль через мобільний додаток або веб-інтерфейс.

До складу системи також входять сенсори енергоспоживання, які підключаються до окремих електроприладів і дозволяють отримувати детальну інформацію про споживання кожного пристрою. Це можуть бути датчики струму на основі ефекту Холла або безконтактні трансформатори струму, що забезпечують високу точність вимірювань. Для обробки даних і прийняття рішень використовується мікроконтролер або одноплатний комп'ютер, наприклад, Raspberry Pi або ESP32, які мають достатню обчислювальну потужність та підтримку мережевих інтерфейсів.

Живлення всіх компонентів системи здійснюється через стандартні блоки живлення з вихідною напругою 5В або 12В залежно від специфікацій пристроїв. Додатково передбачено можливість використання акумуляторних батарей для забезпечення безперебійної роботи у разі перебоїв з електропостачанням.

З метою забезпечення ефективного зберігання та аналізу даних система може використовувати хмарні сервери або локальну базу даних, яка працює на виділеному пристрої в межах домашньої мережі. Дані, отримані від сенсорів і лічильників, обробляються програмним забезпеченням, що дозволяє будувати аналітичні звіти, прогнозувати витрати електроенергії та формувати рекомендації щодо її економії.

Таким чином, апаратна частина інтелектуальної системи управління витратами електроенергії у Smart Home включає комплекс взаємопов'язаних пристроїв, які забезпечують автоматизований моніторинг та оптимізацію енергоспоживання, підвищуючи рівень комфорту та економії для користувачів.

### 1.3 Програмне забезпечення та алгоритми управління

Програмне забезпечення є основою інтелектуальної системи управління витратами електроенергії в Smart Home. Воно не тільки дозволяє автоматизувати контроль за споживанням енергії, але й надає користувачеві інструменти для управління енергоспоживанням з урахуванням конкретних потреб і режимів. Для досягнення цієї мети програмне забезпечення має забезпечувати інтеграцію з різноманітними сенсорами, пристроями та комунікаційними мережами, а також мати можливість обробляти величезні обсяги даних в реальному часі. Інтелектуальні алгоритми, які використовуються в системі, допомагають оптимізувати енергоспоживання та знижувати витрати, враховуючи різноманітні фактори, такі як час доби, температура, кількість користувачів у приміщенні і навіть поведінка споживачів енергії.

Основним завданням програмного забезпечення є збір та обробка даних з сенсорів і енергомоніторів, а також аналіз і прогнозування енергоспоживання. Інформація про споживання енергії з різних пристроїв (наприклад, освітлення, опалення, побутова техніка) передається до центральної системи через бездротові канали, що дозволяє забезпечити зручність та гнучкість управління навіть для великих об'єктів. За допомогою спеціальних алгоритмів можна проводити аналіз даних в реальному часі, виявляти пикові навантаження та оптимізувати роботу пристроїв так, щоб уникнути зайвих витрат електроенергії.

Алгоритми, використовувані для управління енергоспоживанням, поділяються на кілька типів, зокрема адаптивні, прогностичні та оптимізаційні. Адаптивні алгоритми використовують поточну інформацію про умови в будинку (температура, освітленість, наявність людей тощо) для миттєвого коригування роботи пристроїв. Наприклад, якщо в кімнаті знаходиться кілька осіб, система може автоматично збільшити потужність кондиціонера або

опалення, якщо це необхідно. Прогностичні алгоритми, у свою чергу, ґрунтуються на даних, отриманих за попередні періоди, та дозволяють прогнозувати споживання енергії на майбутнє. Вони можуть бути використані для того, щоб передбачити пікові навантаження на систему, наприклад, вранці або ввечері, та відповідно скоригувати роботу пристроїв, що підвищить загальну ефективність енергоспоживання.

Один із важливих аспектів програмного забезпечення — це інтеграція з іншими системами автоматизації будинку. Розумний будинок може включати в себе не тільки систему управління енергоспоживанням, але й такі елементи, як системи безпеки, освітлення, вентиляції та кондиціонування, а також побутові прилади. Для цього програмне забезпечення повинно мати можливість працювати з різними комунікаційними протоколами, такими як Wi-Fi, ZigBee, Z-Wave або Bluetooth. Це дозволяє створити єдину мережу пристроїв, яка забезпечить ефективне управління енергоспоживанням в межах всієї системи.

Один з найбільш інноваційних підходів, які застосовуються в програмному забезпеченні для Smart Home, — це використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для автоматичного навчання системи на основі історичних даних про споживання енергії. Такі алгоритми можуть самостійно виявляти певні патерни в поведінці користувачів, зокрема, часи найбільшого споживання енергії, типи пристроїв, які найбільше споживають енергію, і навіть зміни в споживанні в залежності від пори року або погодних умов. На основі цих даних система може автоматично адаптувати свою стратегію управління, тим самим значно знижуючи витрати електроенергії без втрати комфорту для користувачів.

Інтерфейс програмного забезпечення має бути зрозумілим і зручним для користувача. Він може включати мобільний додаток або веб-інтерфейс, через який користувач може отримувати звіти про поточне та історичне споживання енергії, а також контролювати роботу пристроїв в будинку. Крім того, інтерфейс має надавати рекомендації щодо оптимізації витрат, базуючись на даних, зібраних системою. Наприклад, якщо система виявляє, що певні

пристрої не використовуються протягом тривалого часу, вона може запропонувати їх вимкнення для економії енергії. Такі рекомендації можуть бути також персоналізованими, враховуючи особливості користувача та його побажання щодо комфорту і енергозбереження.

Важливим елементом програмного забезпечення є система безпеки. Враховуючи, що система керує такими важливими функціями, як управління опаленням, освітленням та побутовими приладами, забезпечення її безпеки є критично важливим. Всі передані дані повинні бути зашифровані, а система повинна мати захист від несанкціонованого доступу. У разі необхідності користувач може отримати доступ до даних про стан системи в будь-який час і з будь-якого місця через захищене з'єднання.

Програмне забезпечення для інтелектуальної системи управління витратами електроенергії є важливим інструментом для забезпечення високої енергоефективності в розумному будинку. Використання передових технологій, таких як машинне навчання, штучний інтелект і великі дані, дозволяє значно підвищити ефективність управління енергоспоживанням, знижуючи витрати на електроенергію при одночасному підтриманні комфорту для користувачів. Водночас, завдяки можливості інтеграції з іншими системами та пристроями в будинку, програмне забезпечення дозволяє створити єдину екосистему управління енергоспоживанням і іншими аспектами життя в розумному будинку.

#### 1.4 Огляд існуючих рішень

На сьогоднішній день на ринку існує ряд рішень для управління енергоспоживанням у розумних будинках, які дозволяють автоматизувати контроль за витратами електроенергії, підвищити енергоефективність та забезпечити комфорт для користувачів. Ці системи зазвичай складаються з апаратного забезпечення, яке включає різноманітні сенсори, контролери та прилади для моніторингу споживання енергії, а також програмного

забезпечення для збору, обробки даних та управління енергоспоживанням.

Одним з найбільш відомих і широко використовуваних рішень є система Nest від компанії Google. Ця система включає в себе розумний термостат, який дозволяє регулювати температуру в будинку, а також різноманітні сенсори для моніторингу споживання енергії. Вона використовує алгоритми машинного навчання для адаптації до поведінки користувачів і їх переваг, а також для прогнозування енергоспоживання. Завдяки інтеграції з іншими пристроями Google Home, система дозволяє здійснювати повний контроль за енергоспоживанням в домі, включаючи управління освітленням, кондиціонуванням, опаленням та іншими пристроями. Особливістю Nest є простий інтерфейс, що дозволяє користувачам через мобільний додаток або голосові команди управляти параметрами будинку, що робить систему доступною та зручною в експлуатації.

Іншим популярним рішенням є система SmartThings від компанії Samsung, яка забезпечує інтеграцію з більш ніж 200 пристроями від різних виробників. Ця система дозволяє моніторити та контролювати енергоспоживання в реальному часі, використовуючи сенсори і розумні розетки. Крім того, SmartThings підтримує використання сценаріїв автоматизації, які дозволяють налаштувати пристрої так, щоб вони працювали в певний час, залежно від розкладу чи ситуації в будинку. Наприклад, можна налаштувати освітлення так, щоб воно вмикалося автоматично при виявленні руху в кімнаті або регулювати температуру в залежності від часу доби.

Системи на базі Amazon Alexa та Google Assistant також стають все більш популярними для управління енергоспоживанням у розумному будинку. Вони дозволяють користувачам інтегрувати різноманітні пристрої в єдину систему, контролюючи енергоспоживання через голосові команди. Ці системи мають інтеграцію з великою кількістю пристроїв, таких як розумні розетки, термостати, лампочки та інші побутові прилади, що дозволяє знизити споживання енергії шляхом автоматизації включення/виключення пристроїв відповідно до потреб користувача.

Одним з інноваційних рішень для управління енергоспоживанням є система Tado, яка спеціалізується на розумних термостатах та пристроях для кліматичного контролю. Tado дозволяє користувачам дистанційно управляти температурою в будинку через мобільний додаток, автоматично оптимізуючи її залежно від того, чи знаходяться люди вдома, чи ні. Система використовує дані про місцезнаходження користувача для визначення, коли потрібно включити або вимикати опалення чи охолодження, що значно знижує витрати на електроенергію. Tado також має функцію аналізу витрат енергії, що дозволяє користувачам побачити, скільки енергії було витрачено на опалення або охолодження, і зробити коригування в майбутньому.

В Україні одним з популярних рішень є система Easy Home, що дозволяє інтегрувати різноманітні пристрої у єдину систему через мобільний додаток. Easy Home забезпечує моніторинг енергоспоживання, контролюючи роботу різних побутових приладів. Ця система дозволяє дистанційно вимикати та включати пристрої, оптимізуючи витрати енергії, а також надає користувачу доступ до звітів про витрати за певний період.

Загалом, всі ці рішення є етапами розвитку технології Smart Home, і кожне з них намагається інтегрувати більше пристроїв для забезпечення більш ефективного управління енергоспоживанням, знижуючи витрати електроенергії. Основною метою цих систем є забезпечення високого рівня комфорту для користувачів, одночасно мінімізуючи витрати енергії через використання різноманітних датчиків, алгоритмів оптимізації та інтеграції з іншими пристроями.

Використання таких рішень допомагає користувачам не тільки зменшити витрати на електроенергію, але й підвищити екологічну свідомість, оскільки зниження енергоспоживання сприяє зменшенню викидів вуглецю в атмосферу. Усі ці технології мають великий потенціал для майбутнього розвитку, оскільки ринок Smart Home продовжує розвиватися, пропонуючи нові можливості для управління енергоспоживанням та оптимізації побутових процесів.

## 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

### 2.1 Актуальність дослідження

Актуальність дослідження обумовлена поширеним використанням інтелектуальних систем управління витратами електроенергії в сучасних. З поглибленням розуміння та застосуванням алгоритмів машинного навчання, аналізу даних та інших методів штучного інтелекту, можливо досягти значних покращень у енергоефективності та комфортності життя власників таких будинків. Оптимізація процесів управління витратами електроенергії має велике практичне значення для енергозбереження та зниження витрат на побутове утримання. У контексті стрімкого розвитку Інтернету речей (IoT) та зростаючого інтересу до екологічних технологій, розробка ефективних інтелектуальних систем управління витратами електроенергії є важливим напрямком для покращення якості життя та збереження енергетичних ресурсів.

### 2.2 Цілі та завдання дослідження

Головною метою цього дослідження є розробка та вдосконалення інтелектуальної системи управління витратами електроенергії.

Ключовими цілями є оптимізація алгоритмів управління витратами електроенергії з використанням методів штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу даних, забезпечення інтеграції інтелектуальної системи управління витратами електроенергії з іншими пристроями та системами для максимальної зручності та ефективності в управлінні побутовими процесами, розробка механізмів захисту та безпеки даних користувачів, що використовуються в процесі управління витратами електроенергії, з метою запобігання несанкціонованому доступу та зловживанню інформацією,

визначення та аналіз факторів, що впливають на енергоспоживання, таких як погода, час доби, активність мешканців тощо, з метою розробки більш точних та ефективних стратегій управління енергією.

## 2.3 Інтелектуальні системи управління витратами електроенергії

### 2.3.1 Основні поняття

Інтелектуальна система управління витратами електроенергії – це комплекс програмних та апаратних рішень, що дозволяє оптимізувати споживання енергії. Ця система використовує методи аналізу даних, машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування та регулювання енергоспоживання на основі різних факторів, таких як активність мешканців, погодні умови, час доби та інші.

Основні компоненти інтелектуальної системи управління включають датчики, що збирають інформацію про споживання електроенергії та умови навколишнього середовища, і контролери, які приймають рішення на основі аналізу зібраних даних. Наприклад, система може автоматично вимикати освітлення або регулювати температуру в приміщеннях залежно від наявності людей у домі та зовнішніх температурних умов.

Інтелектуальні системи також використовують алгоритми машинного навчання для аналізу патернів споживання електроенергії та прогнозування майбутніх витрат. Це дозволяє системі адаптуватися до звичок мешканців та змінювати режими роботи пристроїв для досягнення максимального енергозбереження.

Основним принципом роботи таких систем є інтеграція з іншими компонентами системи, що дозволяє створити синергію між різними елементами будинку для досягнення оптимального енергоспоживання. Це включає взаємодію з системами освітлення, опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та іншими електроприладами, які можуть бути

керовані централізовано або дистанційно через мобільний додаток або веб-інтерфейс.

### 2.3.2 Принципи роботи

Алгоритм управління витратами електроенергії базується на використанні сучасних технологій аналізу даних та автоматизації для забезпечення ефективного та раціонального споживання електроенергії. Основний принцип роботи такої системи полягає у безперервному зборі даних про споживання енергії від різних пристроїв та датчиків, встановлених у будинку.

Зібрані дані передаються до центрального контролера, де відбувається їх аналіз за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. Ці алгоритми здатні виявляти патерни та аномалії у споживанні електроенергії, прогнозувати майбутні витрати та оптимізувати роботу електроприладів для зменшення енергоспоживання. Наприклад, система може автоматично зменшувати потужність опалення або кондиціонування повітря в ті години, коли мешканці зазвичай відсутні, або навпаки, збільшувати її перед поверненням додому.

Важливою складовою є інтеграція з іншими системами, що дозволяє інтелектуальній системі управління витратами електроенергії взаємодіяти з освітленням, системами безпеки, побутовими приладами та іншими елементами. Це забезпечує комплексний підхід до управління енергоспоживанням, що підвищує загальну ефективність та комфорт мешканців.

Крім того, система має можливість адаптації до змінних умов та навчання на основі отриманих даних, що дозволяє їй постійно покращувати свої рішення та стратегії управління. Завдяки цьому інтелектуальна система управління витратами електроенергії забезпечує не тільки поточну оптимізацію споживання, але й довгострокове зниження витрат на електроенергію, враховуючи індивідуальні потреби та звички мешканців.

### 2.3.3 Сучасний стан та перспективи

Сучасний стан розвитку інтелектуальних систем управління витратами електроенергії характеризується значним прогресом у галузі автоматизації та використанням передових технологій штучного інтелекту і машинного навчання. На сьогоднішній день, багато виробників пропонують рішення для управління енергоспоживанням, які інтегруються з іншими компонентами, такими як освітлення, системи безпеки, опалення та кондиціонування повітря. Ці системи дозволяють здійснювати моніторинг та аналіз споживання електроенергії в реальному часі, забезпечуючи зручне керування через мобільні додатки або веб-інтерфейси.

Перспективи розвитку інтелектуальних систем управління витратами електроенергії полягають у подальшому вдосконаленні алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту, що дозволить підвищити точність прогнозування та оптимізації споживання енергії. Крім того, розробка нових датчиків та пристроїв з нижчим енергоспоживанням сприятиме зменшенню загальних витрат на електроенергію.

На горизонті також з'являються перспективи використання блокчейн-технологій для підвищення безпеки та прозорості даних, що збираються та обробляються системами управління енергоспоживанням. Це забезпечить додатковий рівень захисту від несанкціонованого доступу та підвищить довіру користувачів до таких систем.

## 2.4 Технології інтелектуальних систем

### 2.4.1 Архітектура

Архітектура інтелектуальної системи складається з різноманітних компонентів, що взаємодіють між собою для створення комфортного,

безпечного та енергоефективного житлового середовища. Центральним елементом цієї архітектури є контролер або центральний хаб, який координує роботу всіх підключених пристроїв та систем.

Центральний контролер або хаб є "мозком" системи, який забезпечує зв'язок між різними пристроями та користувачем. Контролер обробляє інформацію, що надходить від датчиків та інших пристроїв, і виконує команди, задані користувачем через мобільний додаток або інтерфейс веб-порталу. Контролер може бути окремим пристроєм або інтегрованим у маршрутизатор або інші домашні пристрої [1].

Датчики відіграють ключову роль у зборі даних про навколишнє середовище та стан будинку. Вони включають датчики руху, температури, вологості, освітлення, витоку води, диму та газу, а також датчики відкриття дверей та вікон. Ці датчики забезпечують систему актуальною інформацією, необхідною для прийняття рішень щодо управління будинком.

Актори (виконавчі пристрої) - це компоненти, які виконують команди від центрального контролера. До них належать розумні термостати, розумні лампи, розумні розетки, системи опалення та кондиціонування, розумні замки, штори та інші пристрої, які можуть автоматично керуватися для забезпечення комфорту та безпеки мешканців.

Мережевий зв'язок забезпечує інтеграцію всіх компонентів системи. Це можуть бути бездротові технології, такі як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, а також дротові з'єднання. Мережевий зв'язок дозволяє пристроям обмінюватися інформацією та виконувати команди в реальному часі.

Інтерфейси користувача включають мобільні додатки, веб-портали та голосові асистенти, такі як Amazon Alexa або Google Assistant. Ці інтерфейси дозволяють користувачам легко керувати своїм розумним будинком, налаштовувати сценарії автоматизації та отримувати сповіщення про стан приміщення.

Хмарні сервіси додають додатковий рівень функціональності, зберігаючи дані та обробляючи інформацію на віддалених серверах. Це дозволяє

користувачам отримувати доступ до своїх систем з будь-якої точки світу, а також забезпечує можливість інтеграції з іншими онлайн-сервісами та платформами.

#### 2.4.2 Інтеграція інтелектуальних систем управління

Інтеграція включає можливість взаємодії з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі або вітрові генератори, що додатково зменшує залежність від централізованих мереж та сприяє зниженню витрат на електроенергію. Крім того, завдяки використанню алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту, система може аналізувати дані про споживання енергії та навчатися на основі цього аналізу, пропонуючи користувачам персоналізовані рекомендації для подальшого зменшення витрат [2]. Таким чином, інтеграція інтелектуальних систем управління витратами електроенергії не лише підвищує енергоефективність, але й покращує якість життя мешканців, забезпечуючи їм комфорт і зручність у користуванні сучасними технологіями.

#### 2.4.3 Використання сенсорів та IoT технологій

Використання сенсорів та IoT технологій є ключовим компонентом сучасних інтелектуальних систем управління витратами електроенергії. Сенсори дозволяють збирати дані про різні параметри навколишнього середовища та стану будинку, що є основою для прийняття рішень і оптимізації енергоспоживання. IoT технології забезпечують зв'язок між цими сенсорами, контролерами та виконавчими пристроями, створюючи інтегровану мережу, яка може керуватися автоматично або дистанційно [3].

Серед найбільш розповсюджених сенсорів в IoT системах можна виділити датчики руху, які використовуються для виявлення присутності або руху людей в приміщенні, що дозволяє автоматично вмикати або вимикати

освітлення та інші пристрої, зменшуючи непотрібне споживання електроенергії. Також важливими є датчики температури та вологості, які забезпечують моніторинг кліматичних умов всередині будинку. Вони можуть інтегруватися з системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC), оптимізуючи їх роботу для підтримки комфортних умов з мінімальним енергоспоживанням. Окрім того, датчики освітленості вимірюють рівень природного світла в приміщенні і можуть керувати штучним освітленням, автоматично регулюючи його інтенсивність в залежності від зовнішніх умов. Датчики відкриття дверей та вікон дозволяють відслідковувати стан дверей та вікон, сигналізуючи про відчинені вікна або двері, що запобігає втратам тепла чи проникненню зловмисників. Також варто зазначити датчики витоку води та газу, які забезпечують безпеку, виявляючи витoki та попереджаючи мешканців про потенційні небезпеки, дозволяючи оперативно реагувати на надзвичайні ситуації.

#### 2.4.4 Виклики та обмеження впровадження технологій

Впровадження інтелектуальних технологій стикається з низкою викликів та обмежень, серед яких виділяються висока вартість обладнання та встановлення, складність інтеграції різних пристроїв від різних виробників. Існує потреба в постійній технічній підтримці та оновленнях програмного забезпечення, що може створювати додаткові труднощі для користувачів. Обмеження також включають обмежену сумісність з існуючими електричними системами в старих будинках, що вимагає значних інвестицій у модернізацію інфраструктури [4]. Незважаючи на ці виклики, потенціал ІОТ технологій для підвищення комфорту, енергоефективності та безпеки житла робить їх впровадження перспективним напрямом розвитку сучасних житлових систем.

## 2.5 Управління електроенергією в інтелектуальних системах

### 2.5.1 Моніторинг енергоспоживання

Моніторинг енергоспоживання є ключовим компонентом управління електроенергією, оскільки він дозволяє відстежувати та аналізувати споживання електроенергії різними пристроями в режимі реального часу. Це забезпечує мешканцям можливість зрозуміти свої енергетичні витрати та вжити заходів для їх оптимізації. Системи моніторингу енергоспоживання використовують різноманітні датчики та інтелектуальні лічильники, які збирають дані про споживання електроенергії і передають їх до центрального контролера.

Для управління споживанням електроенергії можна використовувати різні методи та алгоритми, включаючи формули для розрахунку енерговитрат. Наприклад, загальне споживання електроенергії  $E_{total}$  за певний період можна визначити як суму споживання всіх пристроїв:

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n (P_i * t_i) , \quad (2.1)$$

де  $P_i$  - потужність пристрою  $i$  (у ватах),  $t_i$  - час роботи пристрою  $i$  (у годинах), і  $n$  - кількість пристроїв.

Для оптимізації енергоспоживання можна використовувати алгоритми прогнозування, які враховують різні фактори, такі як час доби, активність мешканців, та погодні умови [5]. Наприклад, прогнозоване споживання електроенергії  $E_{forecast}$  можна моделювати за допомогою наступного рівняння:

$$E_{forecast} = \alpha * E_{historical} + \beta * A + \gamma * W , \quad (2.2)$$

де  $E_{\text{historical}}$  - історичні дані про споживання,  $A$  - коефіцієнт активності мешканців,  $W$  - коефіцієнт впливу погодних умов, а  $\alpha$ ,  $\beta$ , та  $\gamma$  - вагові коефіцієнти, які визначають вплив кожного фактору.

Системи моніторингу можуть також використовувати машинне навчання для покращення точності прогнозів і рекомендацій. Аналізуючи зібрані дані, такі системи можуть автоматично налаштовувати параметри роботи пристроїв, щоб зменшити загальне енергоспоживання без шкоди для комфорту мешканців [6].

### 2.5.2 Аналіз даних та прогнозування

Аналіз даних та прогнозування є критичними елементами систем управління електроенергією в ІОТ. За допомогою зібраних даних про споживання електроенергії, система може виявляти закономірності та аномалії, що дозволяє оптимізувати використання енергії та знижувати витрати. Наприклад, аналіз даних може виявити, які пристрої споживають найбільше енергії або в які періоди доби споживання є найвищим.

Прогнозування базується на історичних даних та враховує різноманітні фактори, такі як погодні умови, поведінка мешканців та тарифи на електроенергію. Використовуючи методи машинного навчання та алгоритми прогнозування, система може передбачати майбутнє споживання електроенергії та пропонувати рекомендації для його оптимізації. Наприклад, система може передбачити пікові періоди споживання і запропонувати зменшити навантаження на електромережу шляхом відкладення роботи енергоємних пристроїв на менш завантажені години [7].

Завдяки аналізу даних та прогнозуванню, інтелектуальні системи управління електроенергією дозволяють забезпечити не лише комфорт та безпеку мешканців, але й значно підвищити енергоефективність будинку, що сприяє економії ресурсів та зниженню витрат на електроенергію.

### 2.5.3 Автоматизація та оптимізація витрат

Автоматизація та оптимізація витрат є ключовими компонентами управління електроенергією, які дозволяють значно підвищити енергоефективність і знизити витрати на електроенергію. Завдяки інтеграції інтелектуальних алгоритмів та сенсорних мереж, система може автоматично керувати роботою електроприладів, налаштовуючи їхню активність відповідно до режиму дня мешканців, погодних умов, тарифів на електроенергію та інших факторів.

Наприклад, система може автоматично знижувати температуру опалення або вимикати освітлення, коли приміщення не використовується, а також перемикає пристрої на енергоощадний режим під час пікових періодів споживання [8]. Це дозволяє забезпечити оптимальне використання ресурсів, зменшити витрати на електроенергію та сприяти створенню більш сталого та економічного середовища.

## 2.6 Виклики та перспективи впровадження інтелектуальних систем

### 2.6.1 Технічні виклики

Впровадження інтелектуальних систем управління електроенергією стикається з рядом технічних викликів, які впливають на їх ефективність та широке прийняття. Одним із основних викликів є сумісність та інтеграція різноманітних пристроїв та систем в одну цілісну інфраструктуру [9]. Враховуючи різноманітність виробників та протоколів зв'язку, створення сумісних інтегрованих систем може виявитися складним завданням.

Інтелектуальні системи повинні мати високу надійність та безпеку, оскільки будь-які вразливості можуть ставити під загрозу як самі системи, так і приватні дані мешканців. Забезпечення цих характеристик вимагає відповідних

заходів з кібербезпеки та стандартизації, що є ще одним викликом для розробників та виробників інтелектуальних систем.

Для кращого уявлення про технічні виклики та їх розв'язання можна розглянути таку таблицю [10]:

Таблиця 2.1. Технічні виклики та їх рішення

Технічний виклик	Рішення
Сумісність пристроїв	Розробка єдиних стандартів комунікації
Кібербезпека	Використання шифрування та автентифікації
Надійність системи	Проведення ретельних тестувань та аудитів

Дана таблиця допомагає визначити конкретні проблеми та способи їх вирішення в контексті впровадження інтелектуальних систем управління електроенергією.

### 2.6.2 Економічні та соціальні аспекти

Впровадження інтелектуальних систем управління електроенергією в інтелектуальних системах відкриває широкі перспективи в економічному та соціальному вимірах. З погляду економіки, такі системи сприяють зниженню витрат на електроенергію шляхом оптимізації її споживання, що в свою чергу призводить до зменшення рахунків за комунальні послуги для мешканців. Більш того, велике розповсюдження інтелектуальних систем може сприяти зменшенню навантаження на енергетичні мережі та зниженню викидів CO<sub>2</sub>, що позитивно впливає на екологічну ситуацію.

З соціальної точки зору, впровадження інтелектуальних систем управління електроенергією забезпечує комфорт та безпеку для мешканці розумного будинка. Автоматизація процесів споживання електроенергії дозволяє мешканцям економити час та зосереджуватися на важливіших аспектах свого життя. Крім того, зменшення споживання електроенергії сприяє

збереженню енергоресурсів та зниженню негативного впливу на довкілля, що важливо для створення сталого та екологічно чистого середовища для майбутніх поколінь [1].

### 2.6.3 Екологічний вплив

Впровадження інтелектуальних систем управління електроенергією відіграє важливу роль у зменшенні екологічного впливу сучасних технологій на навколишнє середовище. Шляхом оптимізації споживання електроенергії та ефективного використання ресурсів, такі системи сприяють зменшенню викидів CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин, що виробляються при виробництві та експлуатації електроенергії [12]. Автоматизація та оптимізація споживання енергії дозволяє зменшити навантаження на енергетичні мережі, що сприяє підвищенню ефективності їх роботи та зменшенню ризику аварій. Таким чином, інтелектуальні системи управління електроенергією відіграють ключову роль у створенні більш сталого та екологічно чистого середовища для нас і майбутніх поколінь.

### 2.6.4 Можливості практичного застосування інтелектуальних систем

Можливості практичного застосування інтелектуальних систем управління електроенергією включають автоматизацію освітлення, оптимізацію опалення та кондиціонування, а також моніторинг та управління електроприладами. Ці системи забезпечують ефективне використання енергоресурсів та підвищують комфорт та безпеку для мешканців. Наприклад, автоматичне вимикання світла у порожніх приміщеннях або регулювання температури відповідно до погодних умов та активності мешканців допомагають зменшити споживання електроенергії та забезпечують економію ресурсів [13]. Також, можливість керування електроприладами з мобільних пристроїв дозволяє користувачам моніторити та оптимізувати своє

енергоспоживання в реальному часі, забезпечуючи при цьому більшу гнучкість та контроль над своїм домашнім середовищем.

## 3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ІТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

### 3.1 Методи збору даних

Методи збору даних в інтелектуальних системах для управління витратами електроенергії можуть варіюватися в залежності від специфіки системи та поставлених завдань. Одним з найпоширеніших методів є використання датчиків рівня освітленості, температури, руху та інших параметрів для збору інформації про середовище в будинку. Важливою складовою є збір даних з розумних лічильників електроенергії, які надають інформацію про споживання електричної енергії у різних частинах будинку та на різний час доби. Інші методи включають аналіз даних, отриманих з додатків мобільних пристроїв, спеціальних датчиків руху та вимикачів, а також використання даних з погодних станцій для оптимізації управління системами кондиціонування повітря та опалення. [14]

Нижче наведена ілюстрація алгоритму збору даних – фіксований ітервал.

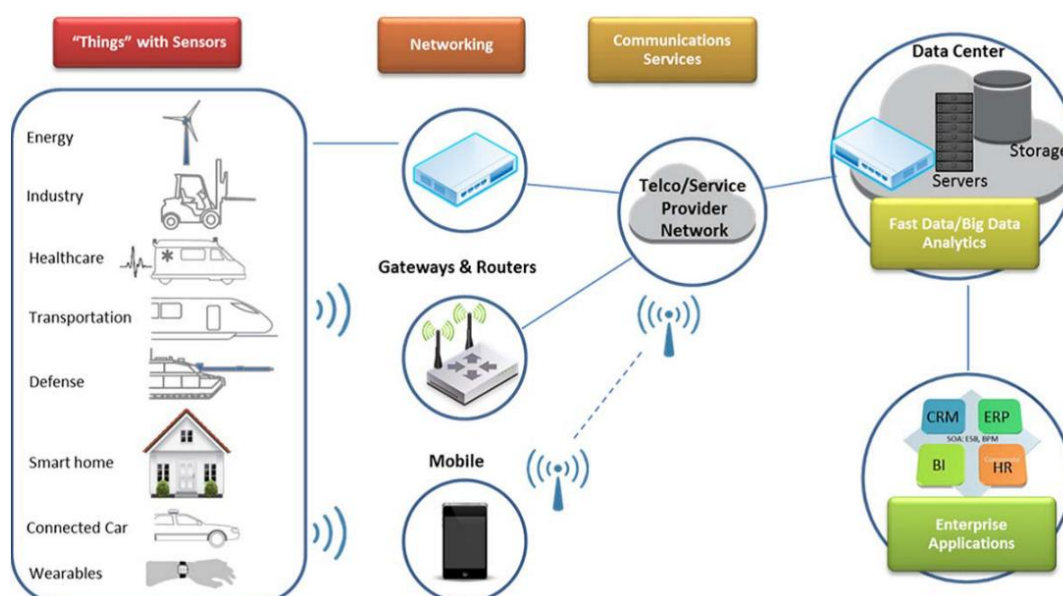


Рисунок 3.1 – Алгоритму збору даних – фіксований ітервал

### 3.1.1 Використання сенсорів для моніторингу

Розглянемо різноманітні сенсори, які використовуються для моніторингу енергоспоживання в ІОТ системах. Один із найпопулярніших сенсорів - датчик руху. Він активується, коли відчуває рух в зоні його дії та може використовуватися для автоматизації освітлення або регулювання системи опалення. Наприклад, коли датчик виявляє рух у приміщенні, він увімкне світло, а коли руху не виявляється протягом певного часу, світло вимикається, що допомагає зменшити споживання електроенергії. Однак, датчики руху мають свої обмеження, тому існують альтернативи, такі як датчики присутності. Вони відрізняються тим, що активуються не тільки при русі, а й при наявності людини в приміщенні, що робить їх більш ефективними в деяких випадках.

Окрім датчика руху, для моніторингу електронапруги та енергоспоживання системи також широко використовуються різноманітні електронапругові сенсори. Один із них - датчик напруги, який моніторить напругу в електричних мережах та дозволяє виявляти аномалії, такі як перенапруження або відсутність напруги. Це дозволяє користувачам оперативно реагувати на проблеми та попереджувати можливі аварії. Датчики струму використовуються для моніторингу споживаної електроенергії окремими приладами або групами приладів. Вони надають інформацію про кількість електричного струму, що проходить через них, що дозволяє визначити їхню енергоефективність та виявляти енергозатратність окремих процесів. Такі дані можуть бути використані для розрахунку витрат електроенергії та впровадження ефективних стратегій енергозбереження.

Нижче наведена архітектура використання сенсорів для моніторингу у розумному будинку

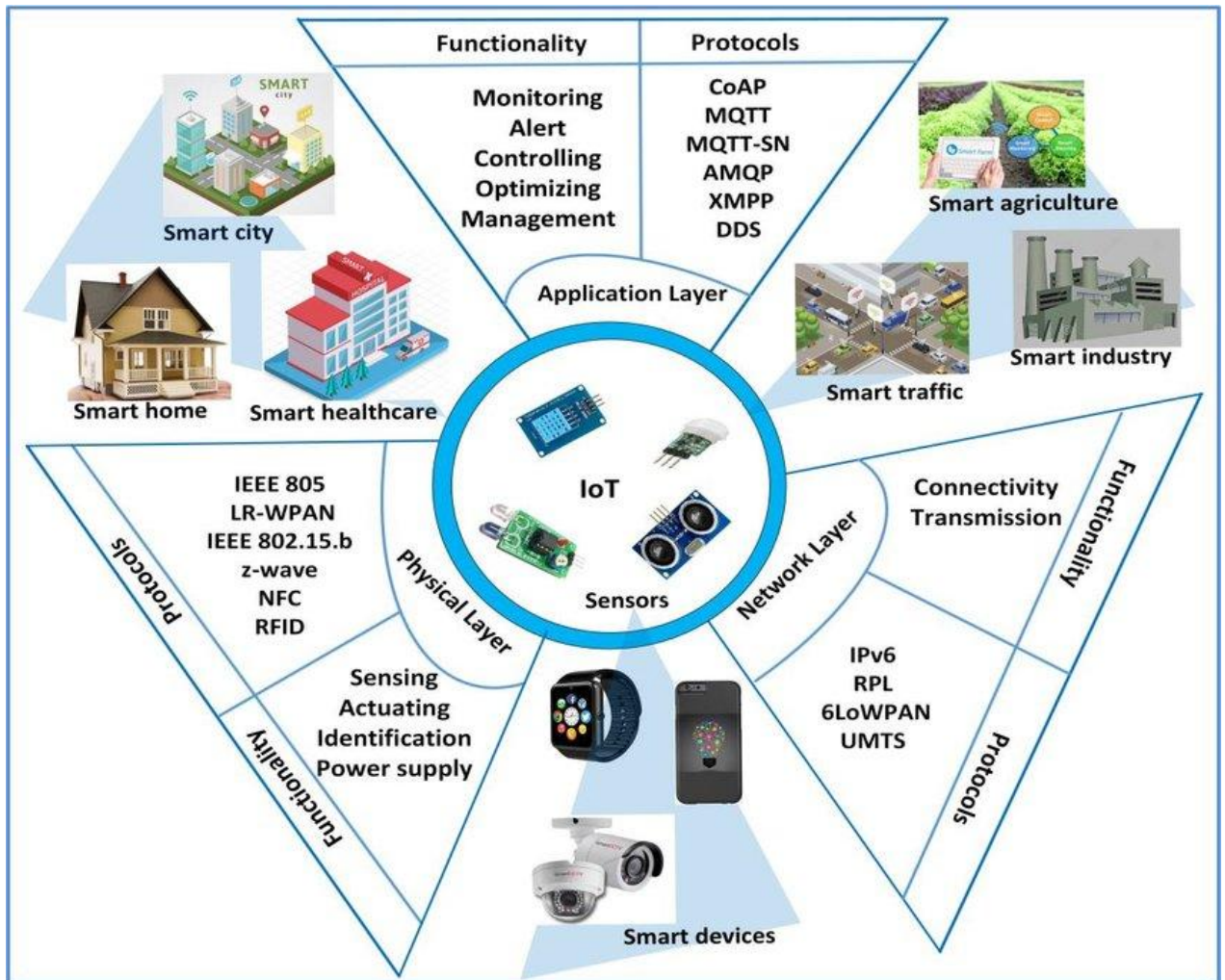


Рисунок 3.2 Архітектура використання сенсорів для моніторингу у розумному будинку

### 3.1.2 Інтеграція з існуючими інтелектуальними системами

Інтеграція з існуючими системами є важливим аспектом забезпечення повноцінного функціонування та оптимального управління витратами електроенергії. Нові інтелектуальні системи управління можуть бути інтегровані з вже існуючими системами автоматизації будинку, такими як системи "розумний дім" від компаній Google, Amazon або Apple, що дозволяє користувачам керувати різними аспектами свого домашнього середовища за

допомогою голосових команд або мобільних додатків. Також, інтеграція з системами моніторингу енергоспоживання дозволяє отримувати точні дані про витрати електроенергії в реальному часі та аналізувати їх для подальшої оптимізації.[15]

Наприклад, система Google Nest дозволяє інтегрувати термостати, камери, датчики руху та освітлення в одну мережу, що дозволяє знизити витрати на опалення та освітлення за рахунок автоматичного регулювання залежно від присутності людей в будинку. Аналогічно, система Amazon Alexa може контролювати різні пристрої, включаючи лампи, розетки та електроприлади, забезпечуючи централізоване управління та оптимізацію енергоспоживання.

Системи розумних лічильників електроенергії, такі як ті, що використовують платформу IoT, дозволяють виявляти енергозатратні пристрої та процеси, а також надавати рекомендації щодо їх заміни або оптимізації. Наприклад, інтеграція з системою HomeKit від Apple дозволяє користувачам контролювати витрати електроенергії через мобільний додаток та отримувати сповіщення про аномальні витрати.

### 3.1.3 Обробка та зберігання даних

Обробка та зберігання даних є ключовими компонентами, які забезпечують ефективне функціонування всієї системи. Дані, зібрані з різноманітних сенсорів та пристроїв, потребують ретельної обробки для перетворення їх у корисну інформацію, яка може бути використана для оптимізації енергоспоживання.

Спочатку дані з сенсорів проходять через попередню обробку, де відбувається фільтрація шумів та перевірка на аномалії. Цей етап важливий для забезпечення точності та надійності інформації. Після цього дані передаються на сервери або хмарні платформи для подальшого аналізу. Використання

хмарних технологій дозволяє масштабувати обробку даних, забезпечуючи можливість обробляти великі обсяги інформації в реальному часі.

Для зберігання даних використовуються бази даних, які можуть бути як локальними, так і розміщеними у хмарі. Важливо, щоб ці бази даних мали високий рівень захисту та були доступні для швидкого доступу та аналізу. Система зберігання даних повинна забезпечувати їх структурованість та можливість швидкого пошуку необхідної інформації.

Аналітичні алгоритми, що використовуються для обробки даних, включають машинне навчання та інші методи штучного інтелекту, які дозволяють прогнозувати енергоспоживання, виявляти потенційні можливості для оптимізації та автоматично приймати рішення для зниження витрат. Наприклад, алгоритми можуть аналізувати історичні дані про споживання електроенергії та надавати рекомендації щодо оптимального використання енергії в залежності від часу доби або погодних умов.

Таким чином, обробка та зберігання даних є критичними елементами інтелектуальних систем управління витратами електроенергії, забезпечуючи їх ефективність, надійність та адаптивність до змінних умов.

## 3.2 Методи аналізу даних у сфері ІОТ технологій

### 3.2.1 Методи статистичного аналізу

Методи статистичного аналізу відіграють важливу роль в інтелектуальних системах управління витратами електроенергії. Вони дозволяють ефективно аналізувати великі обсяги даних, зібраних з різноманітних сенсорів та пристроїв, і знаходити кореляції та тренди, які можуть бути використані для оптимізації енергоспоживання.

Основні методи статистичного аналізу включають регресійний аналіз, аналіз часових рядів та кластерний аналіз. Регресійний аналіз дозволяє моделювати залежність між споживанням електроенергії та різними

факторами, такими як час доби, температура, активність мешканців тощо. Це допомагає прогнозувати майбутні витрати електроенергії та приймати рішення щодо їх оптимізації.

Аналіз часових рядів використовується для виявлення сезонних та циклічних патернів у даних про енергоспоживання. Це може бути корисним для визначення періодів високого та низького споживання, що дозволяє розробити стратегії управління електроенергією для зниження витрат. Кластерний аналіз, з іншого боку, дозволяє групувати схожі за споживанням пристрої або періоди часу, що допомагає виявити нетипові або аномальні випадки споживання.

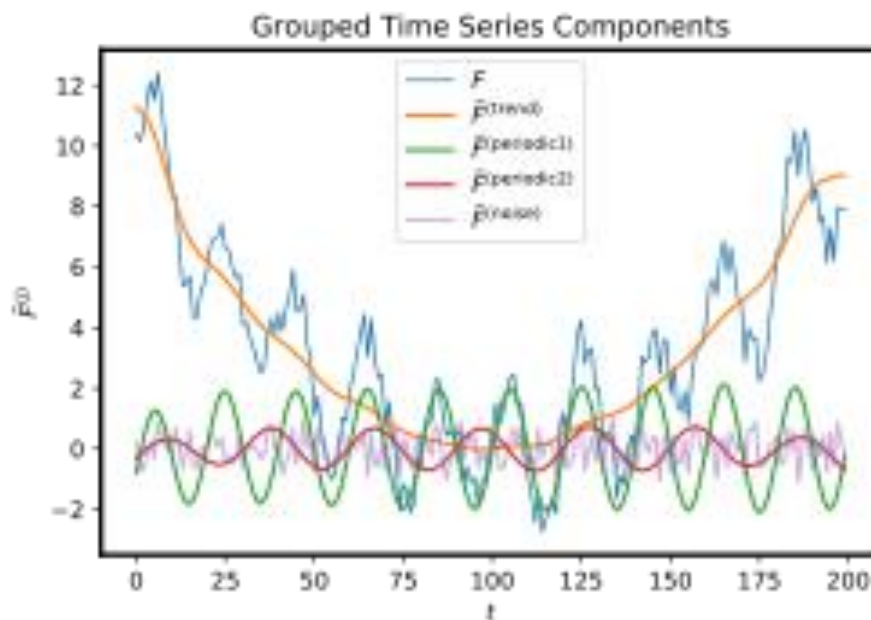


Рисунок 3.3 Графік спектрального аналізу

Для реалізації систем IoT, які використовують ці методи статистичного аналізу, широко використовуються різні плати та контролери. Наприклад, плата Raspberry Pi є популярним вибором завдяки своїй потужності та гнучкості. Вона підтримує різні програмні платформи та має достатню обчислювальну потужність для виконання складних аналітичних задач.

Іншим прикладом є плата Arduino, яка також часто використовується в IoT проектах завдяки своїй простоті та доступності. Arduino ідеально підходить для збору даних з сенсорів та їх попередньої обробки, перед тим як передавати ці дані на більш потужні обчислювальні платформи для глибокого аналізу.

Методи статистичного аналізу є ключовими інструментами в інтелектуальних системах управління витратами електроенергії, дозволяючи ефективно використовувати дані для покращення енергоефективності та зниження витрат.



Рисунок 3.4 – Схема плати Arduino

### 3.2.2 Моделювання та прогнозування енергоспоживання

Моделювання та прогнозування енергоспоживання є важливим етапом в розробці інтелектуальних систем управління витратами електроенергії. Один з найпоширеніших алгоритмів моделювання - авторегресійні моделі часових рядів. Ці моделі використовують історичні дані про енергоспоживання для прогнозування майбутніх значень. Іншим популярним методом є нейронні мережі, які здатні виявляти складні зв'язки між різними факторами, такими як час доби, погода, активність мешканців та інші, та враховувати їх при прогнозуванні споживання електроенергії.

Додатково, для прогнозування енергоспоживання можна використовувати алгоритми машинного навчання, такі як градієнтний спуск або випадкові ліси. Ці алгоритми дозволяють побудувати складні моделі, які здатні автоматично адаптуватися до змінних умов та враховувати багато факторів для точного прогнозування.

Наприклад, алгоритм ARIMA (авторегресійна інтегрована змінна з косвенною середньою) часто використовується для моделювання та прогнозування часових рядів, таких як споживання електроенергії. Він дозволяє урахувати сезонні та трендові зміни в даному ряді, що робить його ефективним для прогнозування витрат електроенергії в інтелектуальних системах в залежності від різних чинників.[16]

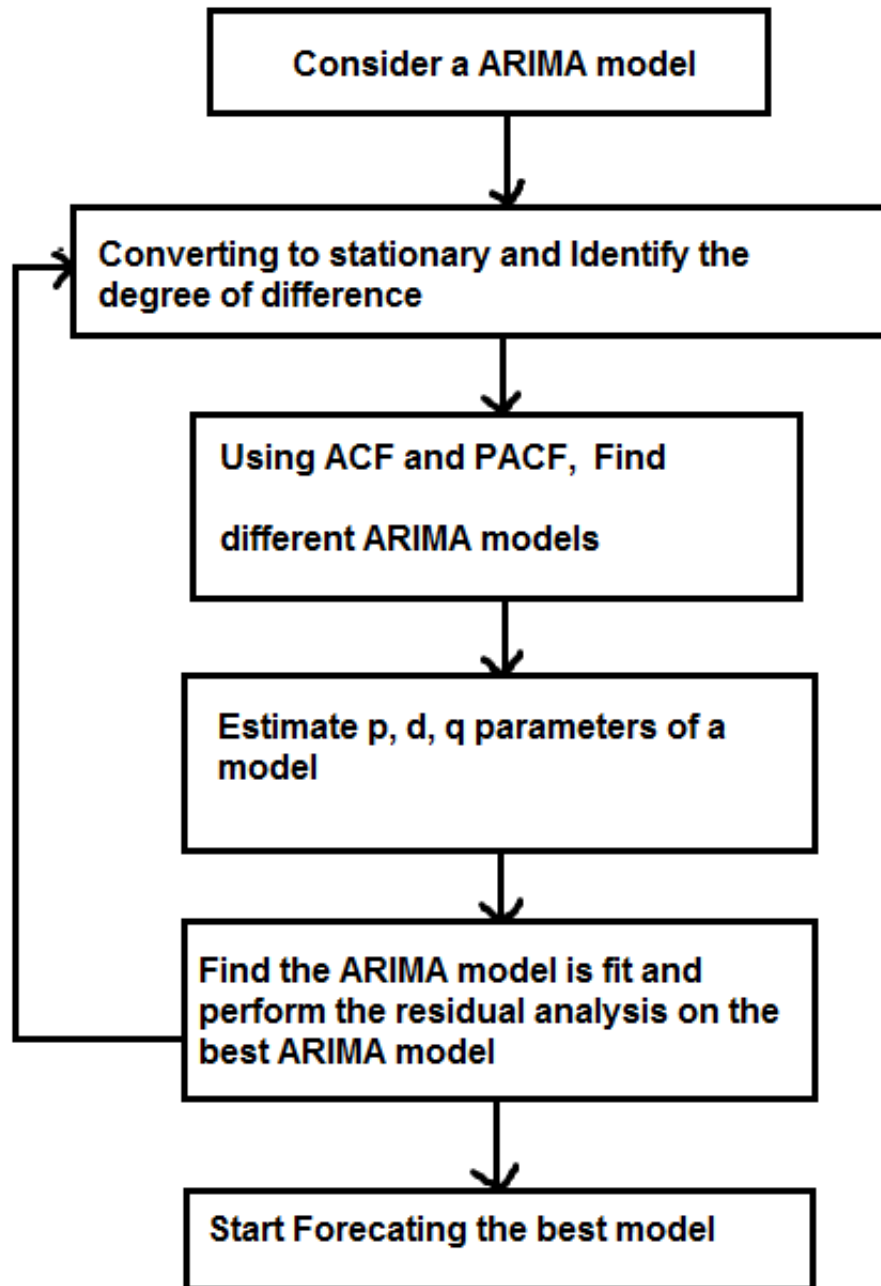


Рисунок 3.5 – Схема алгоритму авторегресійної інтегрованої змінної з косвенною середньою

Іншим прикладом є використання рекурентних нейронних мереж (RNN), які можуть враховувати послідовність даних та динамічно змінювати свою модель для кращого прогнозування енергоспоживання в майбутньому.

Ці алгоритми допомагають побудувати надійні моделі, які можуть прогнозувати енергоспоживання з високою точністю, що дозволяє раціонально використовувати ресурси та ефективно управляти витратами електроенергії.

### 3.2.3 Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування та оптимізації витрат електроенергії

Використання алгоритмів машинного навчання в інтелектуальних системах управління витратами електроенергії відкриває широкі можливості для прогнозування та оптимізації споживання електроенергії. Приклади таких алгоритмів включають лінійну регресію, яка може використовуватися для прогнозування витрат електроенергії на основі історичних даних про споживання та інших вхідних факторів, таких як температура, час доби та активність мешканців. Нейронні мережі, зокрема глибокі нейронні мережі, можуть застосовуватися для складних аналізів великих обсягів даних про електроенергію та розробки моделей прогнозування, що враховують багатовимірність вхідних даних. Дерева рішень використовуються для ідентифікації оптимальних стратегій управління електроенергією на основі вхідних параметрів, таких як час доби, день тижня, погода та активність мешканців. Алгоритми кластеризації можуть допомогти виявити схожі малоповторювані патерни споживання електроенергії та розробити індивідуальні стратегії оптимізації для різних груп споживачів.

Дані алгоритми машинного навчання можуть бути використані для розробки інтелектуальних систем, які не лише прогнозують споживання електроенергії, але й автоматично оптимізують роботу різних пристроїв та інтелектуальних систем з метою зниження витрат та підвищення комфорту користувачів.

### 3.2.4 Перспективи використання технологій штучного інтелекту для управління енергоефективністю

Використання технологій штучного інтелекту для управління енергоефективністю має великий потенціал для оптимізації витрат електроенергії та забезпечення екологічності. Перспективи цього напрямку включають автоматизацію процесів, де технології штучного інтелекту можуть допомогти створити автоматичні системи, які аналізують поведінку користувачів та умови навколишнього середовища для оптимального керування різними пристроями та системами з метою зменшення споживання електроенергії. Штучний інтелект також може використовуватися для розробки алгоритмів прогнозування споживання електроенергії на основі історичних даних, погодних умов та інших факторів, що дозволить планувати оптимальний режим роботи систем. Крім того, технології штучного інтелекту можуть навчити інтелектуальні системи адаптуватися до змінних умов, таких як зміна погоди чи активність користувачів, для забезпечення ефективного використання електроенергії.[17]

Використання цих технологій може допомогти побудувати ефективні та екологічно чисті системи управління витратами електроенергії, що забезпечать комфорт та зручність для користувачів, а також внесуть свій внесок у збереження навколишнього середовища.

## 3.3 Програмне забезпечення для інтелектуальної системи

### 3.3.1 Платформи розробки програмного забезпечення

Для розробки програмного забезпечення для інтелектуальної системи управління витратами електроенергії часто використовуються різноманітні платформи. Одні з найпопулярніших включають Arduino, Raspberry Pi та



### 3.3.3 Системи управління енергоспоживанням

Системи управління енергоспоживанням дозволяють автоматизувати процес управління електроживленням пристроїв для оптимізації витрат електроенергії. Ці системи можуть бути інтегровані з іншими платформами для ефективного контролю та управління споживанням електроенергії.

#### 3.3.4 OpenEnergyMonitor

OpenEnergyMonitor - це відкрите програмне забезпечення, яке надає інтерфейс для моніторингу енергоспоживання та аналізу даних. Воно дозволяє візуалізувати дані про споживання електроенергії та розробляти стратегії оптимізації витрат енергії.

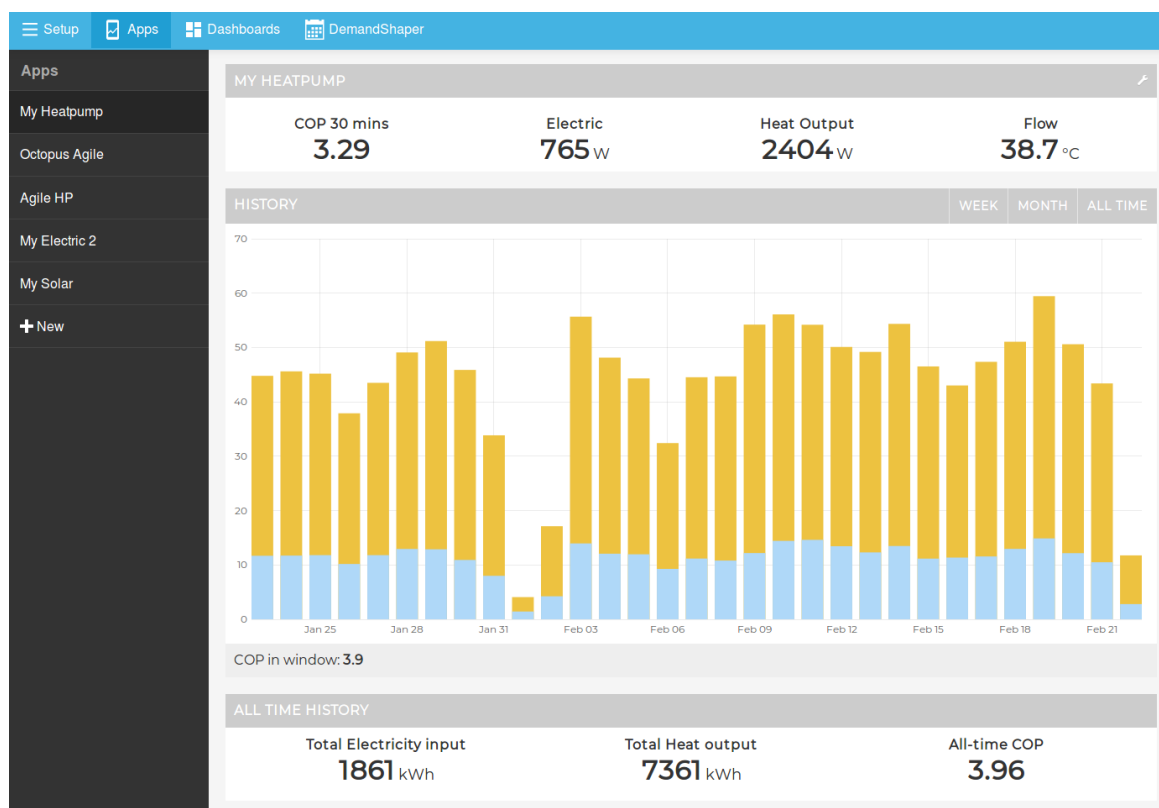


Рисунок 3.7 – Інтерфейс інструменту OpenEnergyMonitor

### 3.3.5 Node-RED

Node-RED - це візуальний інструмент для програмування з відкритим вихідним кодом, який дозволяє створювати взаємодію між різними пристроями та системами ІОТ. Він забезпечує легкий спосіб побудови потоків даних та автоматизації задач управління енергоспоживанням.

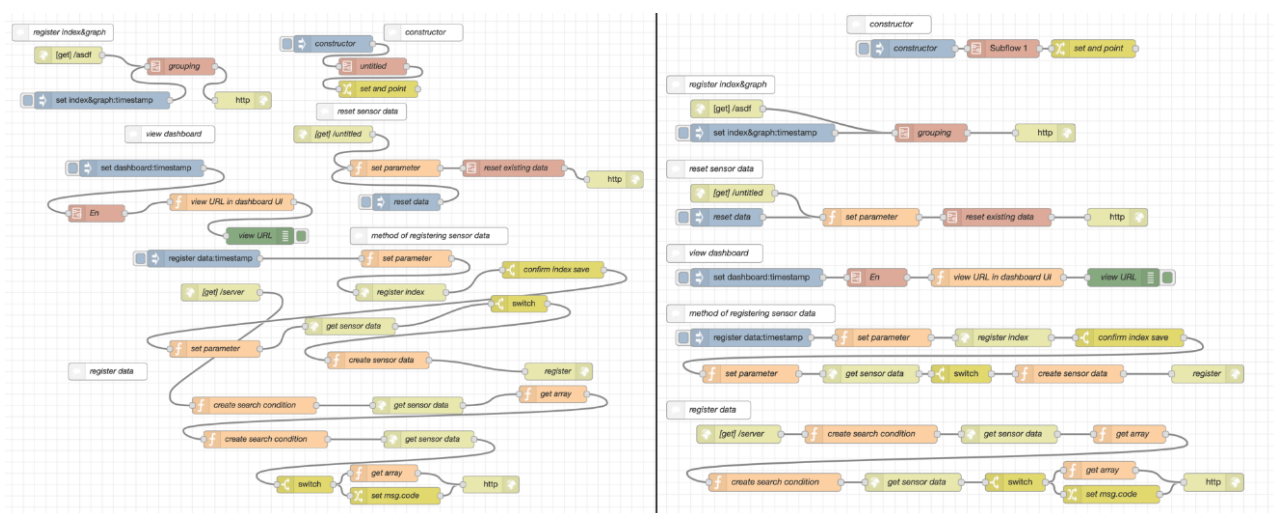


Рисунок 3.8 – Архітектура утіліти Node-Red

### 3.4 Аналіз проблем та вирішення їх в інтелектуальній системі

Аналіз проблем та пошук рішень є важливими етапами розробки та впровадження інтелектуальних систем управління витратами електроенергії. Ці системи повинні враховувати різноманітні фактори, включаючи точність даних, надійність зв'язку, безпеку та інтеграцію з іншими ІОТ елементами.

Одна з головних проблем полягає у точності та надійності даних. Низька точність сенсорів може призвести до неточних даних про споживання

електроенергії. Для вирішення цієї проблеми необхідно використовувати високоякісні сенсори та алгоритми для фільтрації та корекції даних.

Затримки у передачі даних між сенсорами та обробною системою також можуть впливати на ефективність управління. Це можна вирішити шляхом оптимізації мережевих протоколів та використання локальних обчислювальних ресурсів для попередньої обробки даних, що зменшить затримки.

Інтеграція з іншими системами є ще одним викликом. Відсутність сумісності між різними пристроями та системами може обмежити функціональність. Використання стандартів протоколів зв'язку, таких як MQTT або Zigbee, може забезпечити сумісність та ефективну взаємодію між різними елементами системи.

Безпека даних є критичним аспектом інтелектуальних систем. Ризик несанкціонованого доступу до даних та управління системою може мати серйозні наслідки. Впровадження заходів кібербезпеки, включаючи шифрування даних та автентифікацію користувачів, допоможе захистити систему від потенційних загроз.[18]

Ефективність алгоритмів управління також є важливою для оптимізації енергоспоживання. Недостатня ефективність алгоритмів може призвести до невиправданих витрат електроенергії. Використання машинного навчання та штучного інтелекту для розробки адаптивних та оптимізованих алгоритмів управління дозволить підвищити ефективність та зменшити витрати.

### 3.4.1 Виявлення проблем

Алгоритми машинного навчання відіграють ключову роль у виявленні проблем. Використовуючи історичні дані та моделі поведінки системи, алгоритми можуть ідентифікувати аномалії, які можуть вказувати на потенційні проблеми, такі як перевищення споживання електроенергії, несправність пристроїв або невідповідність оптимальним режимам роботи. Наприклад, якщо певний пристрій починає споживати значно більше енергії,

ніж зазвичай, система може автоматично згенерувати попередження для користувача або запропонувати заходи для усунення проблеми.

Після виявлення потенційної проблеми система може виконувати додатковий аналіз для визначення причини та впливу проблеми. Це включає детальний перегляд відповідних даних, аналіз ланцюгів взаємодії між різними пристроями та оцінку можливих рішень. Залежно від результатів цього аналізу, система може автоматично вживати заходів для усунення проблеми, таких як перезавантаження пристроїв, перемикання на альтернативні режими роботи або інформування користувача про необхідність ручного втручання. Цей підхід забезпечує не лише ефективне виявлення проблем, але й їх швидке та ефективне вирішення, мінімізуючи вплив на загальну продуктивність системи.

### 3.4.2 Оптимізація використання ресурсів

Зібрані дані про споживання електроенергії від різноманітних сенсорів та пристроїв аналізуються для виявлення патернів і пікових періодів споживання. На основі отриманої інформації система розробляє оптимальні стратегії управління, такі як зниження енергоспоживання в пікові години, використання енергоефективних режимів роботи приладів та автоматичне відключення невикористовуваних пристроїв.

Важливим аспектом оптимізації є застосування алгоритмів машинного навчання. Вони дозволяють системі навчатися на основі зібраних даних та розробляти прогнози майбутнього споживання електроенергії. Наприклад, система може передбачити підвищення споживання енергії у вечірні години та заздалегідь оптимізувати роботу систем опалення та освітлення, забезпечуючи комфортні умови з мінімальними витратами. Інтеграція з іншими інтелектуальними системами, такими як освітлення чи безпека, також сприяє підвищенню загальної ефективності та зручності використання системи.

### 3.4.3 Зменшення часу реакції

Першим кроком у зменшенні часу реакції є використання високошвидкісних сенсорів і пристроїв, які забезпечують безперервний моніторинг споживання електроенергії в режимі реального часу. Дані, отримані від цих сенсорів, надходять до центральної обчислювальної системи, де вони аналізуються за допомогою спеціалізованих алгоритмів. Завдяки цьому, система може миттєво виявляти зміни у споживанні енергії та виявляти потенційні проблеми або неефективності. Наприклад, якщо система помічає раптове збільшення споживання електроенергії, вона може автоматично зменшити потужність або вимкнути деякі пристрої для уникнення перевантаження мережі.[19]

Другим важливим аспектом є застосування методів прогнозування та адаптивного управління. Алгоритми машинного навчання можуть використовувати історичні дані для прогнозування майбутніх змін у споживанні електроенергії, дозволяючи системі готуватися до цих змін заздалегідь. Наприклад, якщо прогнозується підвищення споживання електроенергії в певний час доби, система може заздалегідь оптимізувати роботу пристроїв для зниження пікових навантажень. Такий підхід не тільки зменшує час реакції, але й дозволяє ефективніше керувати ресурсами та знижувати витрати на електроенергію.

Також це відіграє важливу роль у зменшенні часу реакції. Система управління витратами електроенергії може взаємодіяти з системами безпеки, освітлення, опалення та вентиляції для забезпечення скоординованих дій. Наприклад, у разі виявлення незвичайної активності або зміни умов, таких як відчинені двері чи вікна, система може автоматично регулювати споживання електроенергії відповідно до нових обставин. Така синергія дозволяє швидше реагувати на зміни та підтримувати оптимальні умови у будинку.

### 3.4.4 Розширення функціоналу

Перший метод – інтеграція з іншими системами та пристроями ІОТ, створюючи єдину екосистему для взаємодії та обміну даними. Це дозволяє автоматично регулювати споживання енергії відповідно до умов та поведінки мешканців, підвищуючи ефективність і забезпечуючи комфорт та безпеку.

Другий метод – використання хмарних технологій для зберігання та обробки даних. Хмарні сервіси дозволяють зберігати великі обсяги даних і використовувати потужні обчислювальні ресурси для аналізу. Це забезпечує можливість реалізації складних алгоритмів машинного навчання та прогнозування, а також доступ до даних з будь-якого місця.

Третій метод – використання відкритих платформ та API для розробки додаткових функцій та інтеграцій. Відкриті платформи, такі як OpenHAB або Home Assistant, дозволяють створювати власні модулі та додатки, додаючи новий функціонал до існуючих систем і адаптуючи їх до конкретних потреб користувачів.

Розширення функціоналу також може включати впровадження нових типів сенсорів та пристроїв, таких як сенсори якості повітря або інтеграція з електромобілями, що забезпечують додаткові можливості для моніторингу та управління енергією.

### 3.4.5 Додавання нових можливостей

В системі управління витратами електроенергії можна впроваджувати різноманітні можливості для поліпшення функціональності. Серед таких можливостей варто відзначити інтеграцію нових типів сенсорів, таких як сенсори якості повітря, вологості, температури або присутності. Це дозволяє не лише вимірювати параметри середовища, а й оптимізувати споживання електроенергії на основі зібраних даних. Також важливим є підтримка додаткових електронних пристроїв, наприклад, електромобілів або

аккумуляторів, для керування їх зарядкою з метою економії енергії та ресурсів. Такі інтеграції дозволяють підвищити зручність управління та ефективність використання енергетичних ресурсів у побуті. [20]

### 3.4.6 Розробка API для зручного взаємодії з іншими системами

Для полегшення взаємодії з іншими системами в інтелектуальній системі управління витратами електроенергії розробляється API (Application Programming Interface), яке забезпечує стандартизований інтерфейс для обміну даними та комунікації з іншими пристроями та платформами. Це дозволяє легко і ефективно інтегрувати систему управління енергоефективністю з існуючими рішеннями та сервісами, забезпечуючи зручність користувачам у керуванні та моніторингу споживання електроенергії.

Нижче представлена таблиця, яка вказує на основні параметри та можливості розробленого API для інтеграції з іншими системами:

Таблиця 3.1. Основні параметри та можливості API для інтеграції з іншими інтелектуальними системами

Параметр/API	Опис
RESTful API	Стандартний протокол для взаємодії зі сторонніми системами за допомогою HTTP запитів і відповідей.
Документація API	Детальна документація з описом доступних методів, параметрів і форматів даних для інтеграції.
Автентифікація	Підтримка різних методів автентифікації, таких як OAuth, для забезпечення безпеки та конфіденційності даних.
Підтримка форматів	Підтримка різних форматів даних, таких як JSON і XML, для зручного обміну інформацією з іншими системами.
Моніторинг та логування	Можливість ведення журналу подій та моніторингу API запитів для налагодження та відладки інтеграцій.

### 3.5 Покращення енергоефективності

Інтелектуальні системи використовують передові технології для зниження загального споживання енергії, збереження ресурсів і зниження викидів парникових газів.

Одним із методів покращення енергоефективності є оптимізація роботи підключених до системи пристроїв. За допомогою аналізу даних про споживання енергії і використання алгоритмів машинного навчання, система визначає оптимальні часи для включення і вимкнення приладів, щоб мінімізувати споживання електроенергії без втрати зручності для користувачів.

Впровадження енергоефективних технологій, таких як LED-освітлення, сенсори присутності та автоматизовані системи управління опаленням і кондиціонуванням повітря, дозволяє значно зменшити споживання енергії.

#### 3.5.1 Використання оптимізованих алгоритмів енергозбереження

Для ілюстрації принципу роботи оптимізованого алгоритму енергозбереження можна використати блок-схему, яка показує кроки обробки даних і прийняття рішень. Графіки споживання енергії до та після впровадження оптимізованих алгоритмів можуть демонструвати зменшення споживання енергії з часом, що може бути відображено на лінійному графіку.

Щодо інтерфейсу програмного забезпечення, знімки екрану або скріншоти з панелі керування, де представлена статистика з енергозбереження та параметри системи, будуть ілюстративними. Вони дозволяють користувачам спостерігати і взаємодіяти з різними аспектами системи управління енергоефективністю.

Також зображення, що ілюструє інтеграцію інтелектуальної системи управління витратами електроенергії з іншими частинами ІОТ, наприклад, з системами опалення, освітлення чи вентиляції, буде корисним для візуалізації їх взаємодії та синергії.

Для якщо використання спеціалізованих сенсорів, зображення цих пристроїв може допомогти зрозуміти їхню роль у вимірюванні енергозберігаючих параметрів та забезпеченні точності моніторингу електропоточу в інтелектуальних системах.

### 3.5.2 Мінімізація споживання електроенергії

Один із способів зменшити енергоспоживання — впровадження більш ефективних алгоритмів обчислення ШПФ. Наприклад, можна оптимізувати алгоритм перетворення таким чином, щоб зменшити кількість арифметичних операцій, необхідних для обчислення кожного вихідного елемента. Це може бути досягнуто за рахунок використання передових технік, таких як зменшення гілок у кодї або використання апаратних можливостей мікроконтролера, як-от DMA (Direct Memory Access), що може виконувати деякі операції з даними без прямої участі CPU.

## 4 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В SMART HOME

### 4.1 Використані елементи та їх характеристика

Для реалізації системи інтелектуального енергоменеджменту в рамках концепції Internet of Things (IoT) для смарт-будинку були використані кілька ключових елементів, які забезпечують вимірювання електричних величин, обробку даних і їх передачу для подальшого аналізу.

NodeMCU — це мікроконтролер на базі 32-бітного ESP8266-12E, що дозволяє здійснювати IoT-додатки за низькою ціною. Цей модуль пропонує цифрові I/O, аналогові входи, PWM виходи та підтримує бездротову комунікацію. NodeMCU має вбудований Wi-Fi модуль і активно використовується для IoT-додатків. Для програмування можна використовувати мови Lua або середовище Arduino IDE. Програмування здійснюється через MicroUSB порт, що не потребує додаткового програматора.

Таблиця 4.1 Технічні характеристики NodeMCU

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	32 бітний Tensilica L106
Частота	80/160 МГц
Вхід/Вихід	13x DIO, 1x ADC (10 біт)
Напруга живлення	3.0 ~ 3.6 В
Пам'ять програми	4 МБ
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n
Споживана потужність (Режим сну)	< 10 мкА
Споживана потужність (Режим очікування)	< 10 мА

Мікроконтролер використовує 32-бітний процесор Tensilica Xtensa LX106, що працює на частоті 160 МГц, має 13 цифрових вхідних/вихідних портів і 1 аналоговий порт з роздільною здатністю 10 біт.

Arduino Pro Mini — це компактний мікроконтролер на базі 8-бітного ATmega328P. Цей мікроконтролер має малий розмір і низьку вартість, що робить його ідеальним для використання в невеликих пристроях. Для програмування використовується зовнішній програматор через Rx і Tx порти.

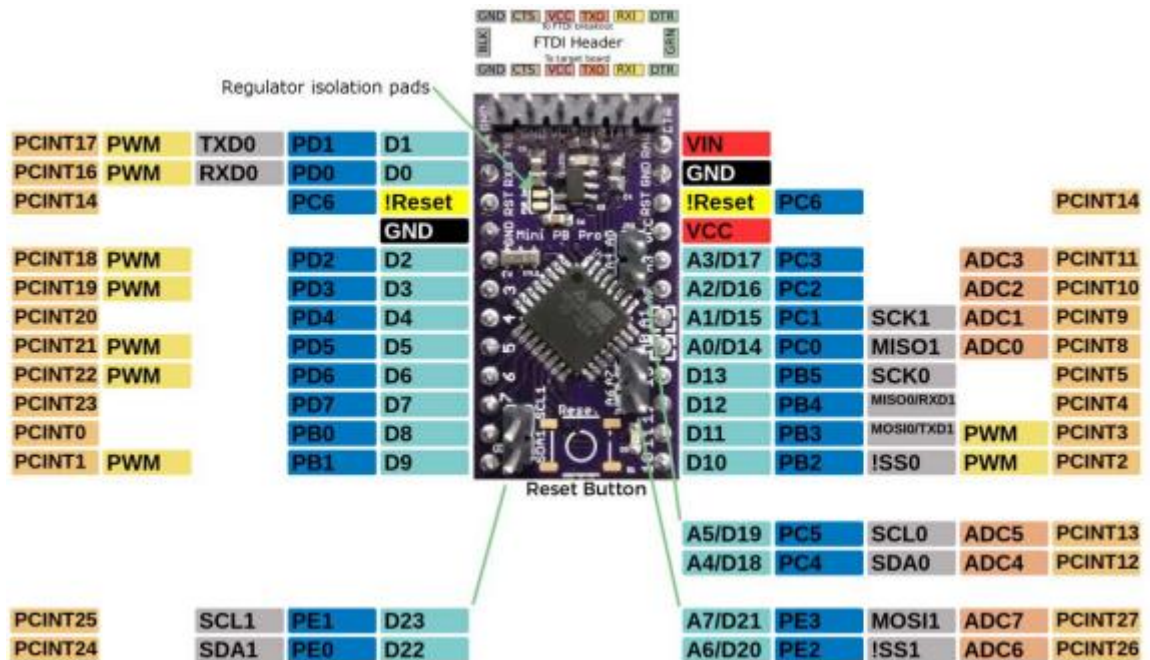


Рисунок 4.1 – Схема підключення Arduino Pro Mini

Таблиця 4.2 Технічні характеристики Arduino Pro Mini

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	8-бітний ATmega328P
Частота	16 МГц
Вхід/Вихід	14x DIO, 6x ADC (10 біт)
Напруга живлення	5 В
Струм на виході	40 мА
Пам'ять програми	32 кБ

Arduino Pro Mini працює на 8-бітному ATmega328P процесорі, що має частоту 16 МГц, 14 цифрових вхідних/вихідних портів і 6 аналогових портів з роздільною здатністю 10 біт.

Для вимірювання струму та напруги в системі використовуються ACS712 — датчик струму на основі ефекту Холла, розроблений для вимірювання змінного та постійного струму. Вихідний сигнал цього датчика змінюється пропорційно струму, що протікає через нього. Максимальна вимірювальна здатність 30А. Наприклад, для версії 30А вихідний сигнал змінюється на 66 мВ/А. Датчик має вбудований вихідний рівень 2.5 В, що дозволяє вимірювати як позитивні, так і негативні значення струму. [21]

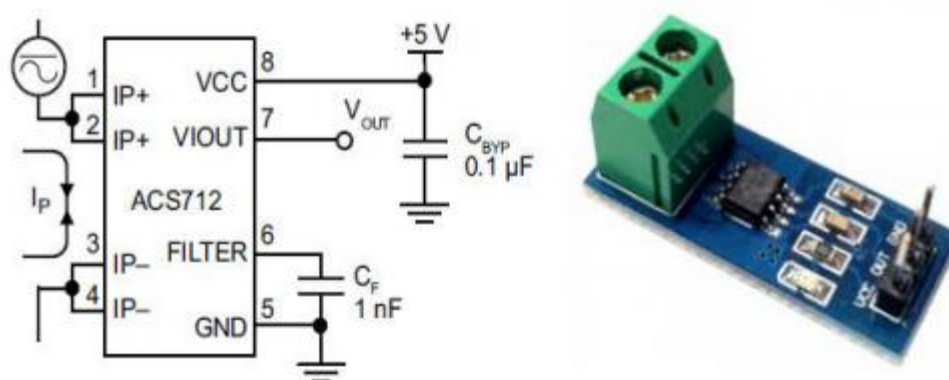


Рисунок 4.2 ACS712-30А датчик струму

ZMPT101B — сенсор напруги на основі трансформатора напруги, що дозволяє вимірювати змінну напругу до 250 В з високою точністю. Вихідний сигнал датчика є DC напругою, яку можна підключити безпосередньо до ADC Arduino для подальшої обробки.



Рисунок 4.3 ZMPT101B датчик напруги

## 4.2 Архітектура пристрою

Архітектура системи управління енергоспоживанням (SEM) представлена на рис. 4.4. Основними компонентами системи є контролер NodeMCU, який має можливість комунікації з сервером Blynk через Wi-Fi, контролер Arduino Pro Mini для вимірювання потужності та керування операціями, інтерфейс SEM на платформі Blynk і сам сервер Blynk. [22]

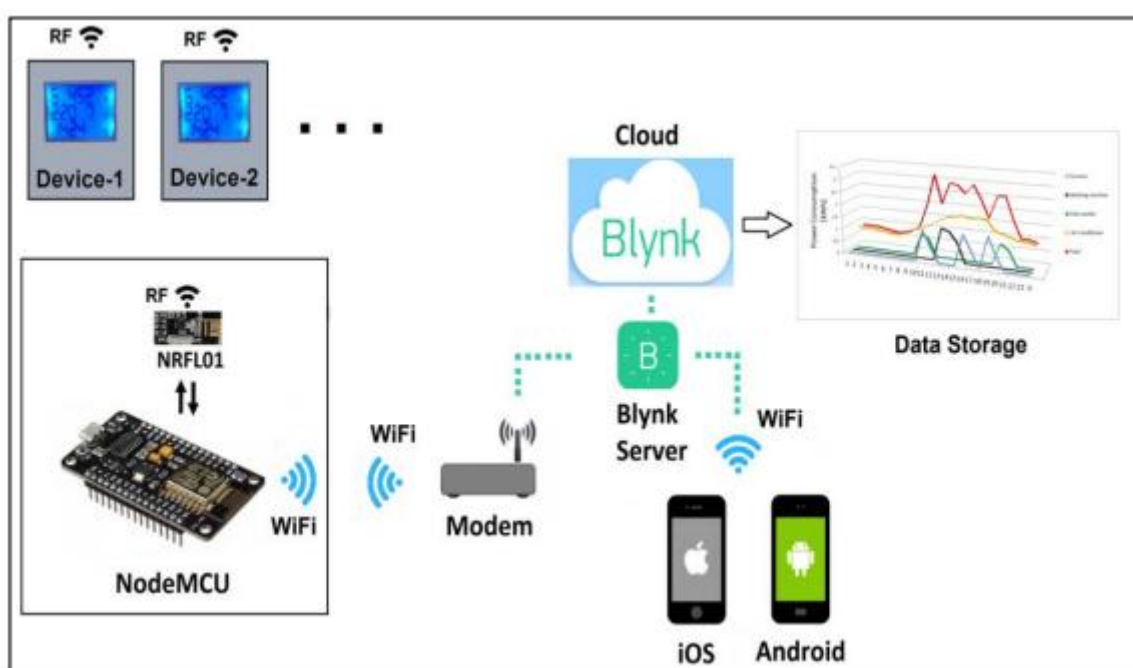


Рисунок 4.4 Архітектура системи

Програмне забезпечення для виконання вимог системи для контролерів NodeMCU та Arduino Pro Mini написано за допомогою Arduino IDE. NodeMCU з вбудованим Wi-Fi модулем передає значення струму, напруги та потужності, отримані від блоку вимірювання та контролю потужності, на сервер Blynk кожну секунду. Інформація, отримана NodeMCU, передається через локальну бездротову мережу на сервер Blynk, а потім на інтерфейс Blynk. В інтерфейсі Blynk через віртуальні пини можуть бути передані 10-бітові дані за допомогою таких віджетів, як дисплей та термінал.



Рисунок 4.5. Модуль вимірювання потужності та керування

Модуль вимірювання та контролю потужності складається з датчиків струму та напруги, RF модуля NRF24L01, джерела живлення та реле. Потужність, споживану пристроями, обчислюють за значеннями струму, напруги та коефіцієнта потужності, що вимірюються датчиками. Ці значення потужності відображаються на дисплеї, а також передаються бездротово через RF модуль до NodeMCU. Крім того, модуль може обчислювати загальну вартість енергії, якщо ввести одиничну вартість енергії. Введення номінальних значень струму та напруги підключеного пристрою забезпечує захист пристрою від перевантажень струму та коливань напруги. Цей захист здійснюється шляхом відключення живлення пристрою через реле в модулі. [23]

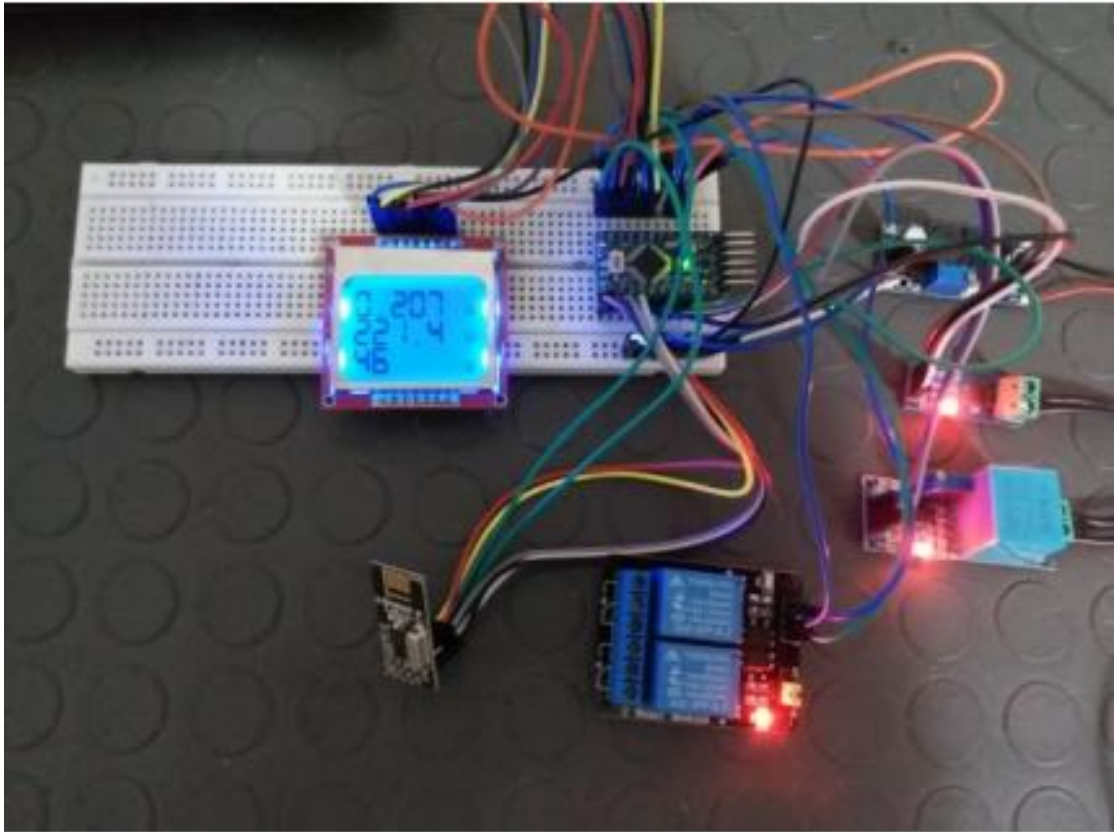


Рисунок 4.6 Етапи тестування модуля вимірювання та керування потужністю  
[25]

На рис. 4.6 зображено монтаж модуля вимірювання та керування потужністю, включаючи зображення з етапу тестування. Спочатку модуль монтується на платі, а потім проводяться калібрування струму та напруги шляхом тестування на різних рівнях струму та напруги.

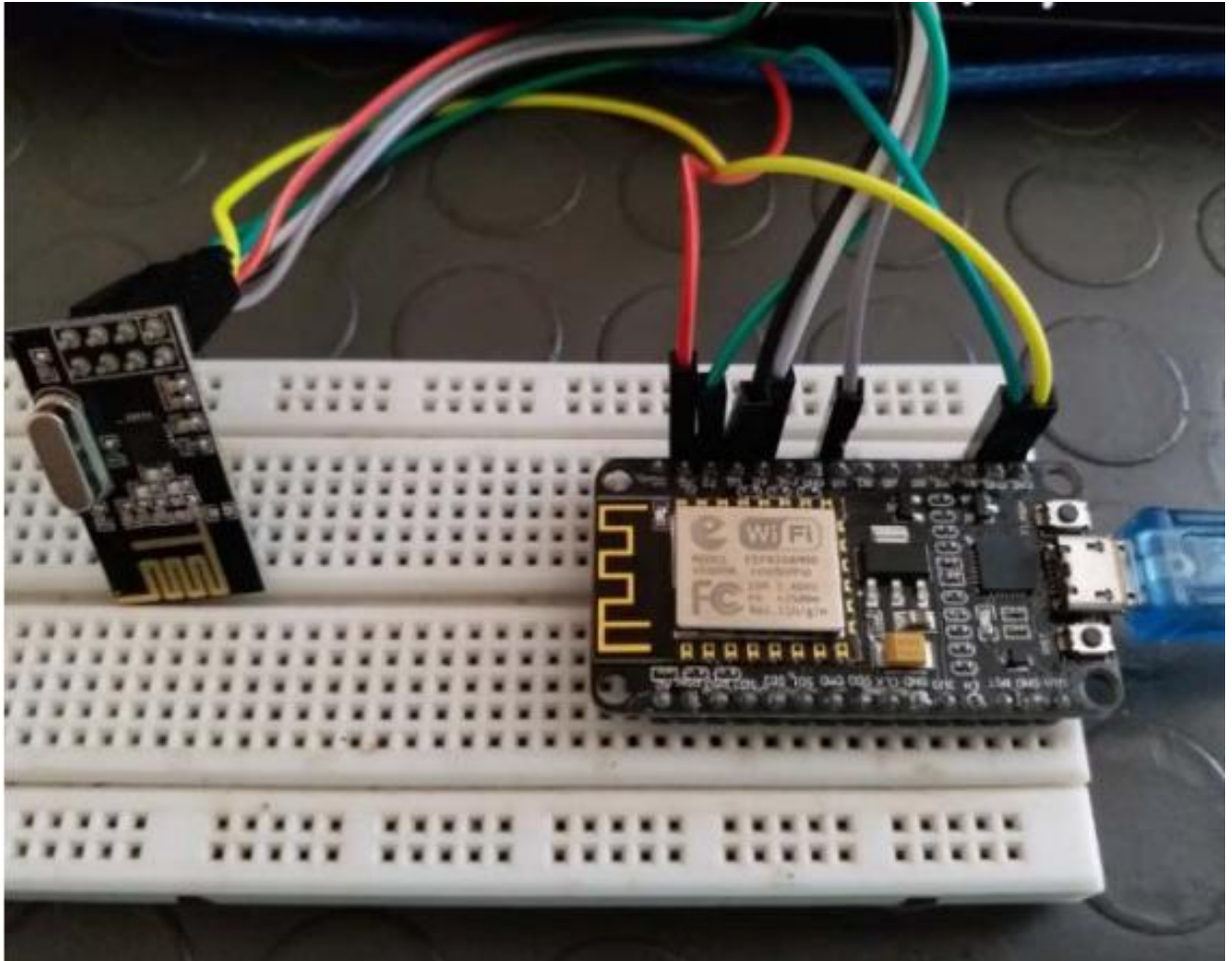


Рис.4.7. Підключення контролера NodeMCU та RF модуля NRF24L01

На рис. 4.7 показано контролер NodeMCU. Він передає значення потужності, отримані від модуля вимірювання та контролю потужності через RF, на сервер Blynk через Wi-Fi мережу. Ці значення потужності передаються на інтерфейс системи через сервер Blynk. NodeMCU використовує лише RF модуль NRF24L01 як зовнішнє апаратне забезпечення, не вимагаючи додаткових зовнішніх пристроїв.

#### 4.3 Результати дослідження

Завдяки використанню додатку SEM на Android-пристрої, система безперервно отримує дані з Blynk сервера. Потік даних між інтерфейсом системи і NodeMCU є двостороннім, що надає можливість вмикати/вимикати

пристрої, а також відображати дані, такі як струм, напруга, миттєва потужність та енергоспоживання через інтерфейс Blynk. [24] На рисунку 4.10 зображені панелі користувача для таких пристроїв, як пральна машина, посудомийна машина, кондиціонер і духовка піч, що інтегровані в інтерфейс SEM.



Рисунок 4.8 Панелі користувача для моніторингу пральної машини, посудомийної машини, кондиціонера та духової печі.

Завдяки інтерфейсу, дані, такі як зміни миттєвої потужності та енергоспоживання для кожного пристрою, можна відображати графічно в межах часових інтервалів від 15 хвилин до 1 року. Аналізуючи ці графіки, можна вжити необхідних заходів для зниження енергоспоживання в домогосподарстві.

Інтерфейс управління пристроями системи дозволяє програмувати час роботи пристроїв, що дає змогу працювати з ними в задані періоди. Пристрої, які працюють за розкладом, відображаються як "АКТИВНІ", а ті, які працюють за запитом, як "НЕАКТИВНІ". Стан індикаторів для кожного пристрою відображає його актуальний робочий статус-інтерфейс також надсилає сповіщення користувачам через різні канали, такі як електронна пошта або інтерфейс системи. Сповіщення можуть містити дані про струм, напругу,

потужність, енергоспоживання та статус вмикання/вимикання пристроїв відповідно до бажань користувача.

## ВИСНОВКИ

У ході роботи було успішно досліджено і реалізовано інтелектуальні системи управління витратами електроенергії, що дозволило суттєво покращити ефективність використання енергоресурсів у житлових будинках. Застосування сучасних технологій та алгоритмів машинного навчання дозволило досягти значного зменшення енергоспоживання та забезпечити комплексне управління енергопотоками.

Оптимізація управління енергопотокком через впровадження алгоритмів машинного навчання для прогнозування і реального часу управління витратами енергії дозволила підвищити точність передбачень та знизити загальне споживання електроенергії. Завдяки цьому система забезпечує ефективне управління енергоресурсами без зайвих витрат енергії.

Інтеграція з іншими енергосистемами, такими як освітлення, опалення та вентиляція, дозволила створити комплексну систему управління енергоефективністю, що забезпечує максимальний комфорт при мінімальних енергозатратах. Взаємодія між компонентами дозволила значно оптимізувати енергоспоживання всього будинку, знижуючи витрати та підвищуючи зручність для користувачів.

Використання інструментів для аналізу та прогнозування даних, а також своєчасне виявлення аномалій у споживанні електроенергії, дозволяє оперативно реагувати на проблеми та ефективно коригувати параметри енергоспоживання. Це сприяє стабільній роботі системи та зменшенню ризиків надмірного споживання енергії.

Розробка та впровадження оптимізованих алгоритмів енергозбереження дозволили значно підвищити ефективність роботи системи та знизити витрати електроенергії. Підвищення ефективності роботи системи управління енергоспоживанням забезпечує зменшення витрат на утримання будинку, що важливо для користувачів, які прагнуть до економії.

Для подальшого розвитку необхідно фокусуватися на вдосконаленні алгоритмів машинного навчання, інтеграції з новими технологічними платформами та підвищенні надійності інтелектуальних систем. Це дозволить досягти ще більших результатів у забезпеченні енергоефективності та зниженні витрат на енергоспоживання в майбутньому.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Sulaiman Alharbi, Abdulmotaleb El Saddik. Architectural Design of Smart Home Systems: Technologies, Tools and Applications. 2016. . – P. 301 – 350
2. Nandhini Arumugam, C. Saravanan. Integration of Intelligent Systems in Smart Homes. 2020. – P. 111 – 130
3. Juan Ye, Lianyong Qi, Athanasios V. Vasilakos, et al. Sensor Technologies and Data Integration in Smart Homes: State-of-the-Art and Challenges. 2021. – P. 421 – 440
4. Shafiq Rehman, Muhammad Usama, Kashif Nisar, et al. Challenges and Limitations of Smart Home Technologies: A Review. 2019. – P. 81 – 100
5. Nilanjan Dey, Amira S. Ashour, Chintan Bhatt, et al. Energy Management in Smart Homes. 2020. – P. 221 – 240
6. Ali Alsamhi, Tao Zhang, Mohammad Mehedi Hassan, et al. Energy Consumption Monitoring Systems for Smart Homes: A Review. 2020. – P. 381 – 400
7. Zhe Chen, et al. Data Analytics for Energy Forecasting in Smart Homes: A Survey. 2018. – P. 41 – 60
8. Ahmed A. Mohamed, Sameh Sorour, Salwa M. Nassar, et al. Automation and Optimization of Energy Consumption in Smart Homes: Challenges and Solutions. 2021. – P. 171 – 190
9. Cheng-Jun Li, Ting-Jie Lu, Honggang Zhang, et al. Challenges and Opportunities in Smart Home Systems: A Review. 2017. – P. 451 – 470
10. Ramon Huerta, Jorge F. Silva, Nikolaos Papakonstantinou, et al. Technical Challenges in Implementing Smart Home Systems. 2019. – P. 251 – 270
11. Christina Priya Doss, Yacine Atif, Christophe Gonzales, et al. Economic and Social Impact of Smart Home Technologies: A Critical Review. 2020. – P. 61 – 80

12. Priya Darshini, Ajith Abraham, Mohamed Elhoseny, et al. Environmental Impact of Smart Home Technologies: A Comprehensive Review. 2018. – P. 141 – 160
13. Tarek Zayed (Ed.). Practical Applications of Smart Home Systems: Case Studies and Examples. 2019. – P. 371 – 380
14. Xiaochen He, Mingming Sun, Jun Zhou, et al. Artificial Intelligence Techniques for Energy Management in Smart Homes: A Review. 2021. – P. 191 – 210
15. Ram, K. S. S.; Gupta, A. N. P. S. IoT based Data Logger System for weather monitoring using Wireless sensor networks / K. S. S. Ram, A. N. P. S. Gupta. – 2016. – P. 71–75.
16. Shrouf, Fadi; M., Giovanni. Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management / F. Shrouf, G. M. – 2015. – P. 235–246.
17. Kansara, K.; Zaveri, V.; Shah, S.; Delwadkar, S.; Jani, K. Sensor based Automated Irrigation System with IOT: A Technical Review / K. Kansara, V. Zaveri, S. Shah, S. Delwadkar, K. Jani. – 2015. – P. 1–10.
18. Zagan, I.; Gaitan, V. G.; Petrariu, A. I.; Brezulianu, A. Healthcare IoT m-GreenCARDIO remote cardiac monitoring system—concept, theory of operation and implementation / I. Zagan, V. G. Gaitan, A. I. Petrariu, A. Brezulianu. – 2017. – P. 23–31.
19. Im, H.; Lee, S.; Naqi, M.; Lee, C.; Kim, S. Flexible PI-Based Plant Drought Stress Sensor for Real-Time Monitoring System in Smart Farm / H. Im, S. Lee, M. Naqi, C. Lee, S. Kim. – 2018. – P. 114.
20. Gungor, V. C.; Sahin, D.; Kocak, T.; Ergut, S.; Buccella, C.; Cecati, C.; Hancke, G. P. Smart grid technologies: Communication technologies and standards / V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, G. P. Hancke. – 2011. – P. 529–539.
21. Hu, M.; Xiao, J. W.; Cui, S. C.; Wang, Y. W. Distributed real-time demand response for energy management scheduling in smart grid / M. Hu, J. W.

Xiao, S. C. Cui, Y. W. Wang. – 2018. – P. 233–245.

22. Ejaz, W.; Naeem, M.; Shahid, A.; Anpalagan, A.; Jo, M. Efficient energy management for the internet of things in smart cities / W. Ejaz, M. Naeem, A. Shahid, A. Anpalagan, M. Jo. – 2017. – P. 84–91

23. Hussain, H. M.; Javaid, N.; Iqbal, S.; Hasan, Q. U.; Aurangzeb, K.; Alhussein, M. An Efficient Demand Side Management System with a New Optimized Home Energy Management Controller in Smart Grid / H. M. Hussain, N. Javaid, S. Iqbal, Q. U. Hasan, K. Aurangzeb, M. Alhussein. – 2018. – P. 190.

24. Shakeri, M.; Shayestegan, M.; Reza, S. S.; Yahya, I.; Bais, B.; Akhtaruzzaman, K.; Sopian, K.; Amin, N. Implementation of a novel home energy management system (HEMS) architecture with solar photovoltaic system as supplementary source / M. Shakeri, M. Shayestegan, S. S. Reza, I. Yahya, B. Bais, K. Akhtaruzzaman, K. Sopian, N. Amin. – 2018. – P. 108–120.

25. Mehmet Tastan, Internet of Things based Smart Energy Management for Smart Home, 2019, p. 9 – 15