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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 126 –Інформаційні системи та технології

на тему: «Інформаційна система оптимізації споживання енергії в Розумному будинку»

КвРІСТ.230111.23.01.01 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група ІСТм–23–1 _____ Владислав АНДРЕЄВ
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник: кандидат техн. наук, доцент _____ Андрій НІЧЕПОРУК
Науковий ступінь, вчене звання Підпис Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
В.о. зав. кафедри КІІС,
PhD Ольга ПАВЛОВА
17 12 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 12 Інформаційні технології

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітня програма Освітньо–професійна програма «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА
"17" 12 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Андрєєву Владиславу Руслановичу
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Інформаційна система оптимізації споживання енергії в Розумному будинку.

Керівник проекту (роботи) Нічепорук А.О., к.т.н., доцент
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 26.08.2024 р. № 60

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз відомих методів та рішень для оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку

Прийняття рішення про оптимізацію енергоспоживання в Розумному будинку на основі системи нечіткого логічного висновку

Інформаційна система оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку

Реалізація прототипу та оцінка ефективності інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Сергій ЛИСЕНКО, професор кафедри КІІС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КІІС		

7. Дата видачі завдання «_1_»_____09_____2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	01.09.2024	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	15.09.2024	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.10.2024	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей прийняття рішення про оптимізації енергоспоживання на основі нечіткої логіки	15.10.2024	виконано
5	Робота над науковою публікацією	15.10.2024	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка інформаційної системи оптимізації енергоспоживання	01.11.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – реалізації прототипу інформаційної системи та оцінка ефективності	15.11.2024	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	01.12.2024	виконано
9	Попередній захист ДРМ	02.12.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 20.12.2024	

Студент _____ Владислав АНДРЕЄВ
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Андрій НІЧЕПОРУК
Підпис Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Інформаційна система оптимізації споживання енергії в Розумному будинку.

Автор роботи: Андреєв Владислав Русланович

Керівник роботи: кандидат техн. наук, доцент Нічепорук А.О.

Пояснювальна записка: 75 с., 22 рис., 1 табл., 2 дод., 76 джерел.

Перелік ключових слів: енергоспоживання, оптимізація, Розумний будинок.

Об’єктом дослідження є процес оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

Предметом дослідження є методи та засоби інформаційної технології оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

Метою роботи є оптимізація споживанням електроенергії у системі Розумного будинку.

Методи дослідження. У роботі було застосовано наступні теорії та засоби: аналітичні та математичні методи дослідження, засоби комп’ютерних систем та мереж, методи оцінки ефективності, сучасні програмні засоби проектування та дослідження.

Наукова новизна роботи:

– набув подальшого розвитку метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку, який, на відміну від відомих, використовує індивідуальні профілі споживання для кожного пристрою з урахуванням пріоритетних інтервалів використання, що дозволило забезпечити дотримання лімітів енергоспоживання;

– удосконалено інформаційну систему оптимізації споживання енергії в Розумному будинку, яка на відмінну від відомих залучає систему нечіткого логічного висновку та інтегрує механізм розподілу енергоспоживання на основі пріоритетних інтервалів використання для кожного пристрою, що дозволило не лише виявляти перевищення споживання, але й автоматично коригувати енергоспоживання для забезпечення дотримання встановлених лімітів.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ……..……..……4
ВСТУП..... 5
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ..... 8
1.1 Аналіз системи енергозабезпечення у Розумних будинках 8
1.2 Промислові засоби вимірювання параметрів електроспоживання пристроїв 13
1.3 Огляд відомих методів та систем оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку 19
1.4 Постановка задачі дослідження..... 23
2 ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ 24
2.1 Прийняття рішення за допомогою системи нечіткого логічного висновку 24
2.2 Використання системи нечіткого логічного висновку для оптимізації енергоспоживання..... 28
2.3 Формування нових значень енергоспоживання для пристроїв..... 30
2.4 Визначення присутності користувача в заданій локації..... 34
2.5 Висновки 37
3 ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ 39
3.1 Структура інформаційної системи оптимізації енергоспоживання в Розумному будинку 39
3.2 Структура вимірювального та відстежувального вузлів 45
3.3 Організація комунікаційного середовища інформаційної системи оптимізації енергоспоживання 48

3.4 Метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку 52
3.5 Висновки 54
4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОТОТИПУ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ 56
4.1 Представлення та реалізація програмної частини 56
4.2 Індекс споживаної потужності (ІСП) та місячний відсоток споживання (МВС) 59
4.3 Імплементація системи нечіткої логіки 62
4.4 Реалізація прототипу та оцінка ефективності інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку 66
4.5 Висновки 71
ВИСНОВКИ 73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 76
ДОДАТОК А Копії наукових публікацій 84
ДОДАТОК Б Презентація до захисту кваліфікаційної роботи 89

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БД - база даних

ІС – інформаційна система

ІЕ – індекс енергоспоживання

ПЗ - програмне забезпечення

СНЛВ - система нечіткого логічного висновку

ТД – точка доступу

ФП – Функція приналежності

HEMS – Home Energy Management System

NFC – Near-field communication

RSSI – Received Signal Strength Indication

ВСТУП

Інформаційна система оптимізації споживання енергії в розумному будинку є ключовим елементом сучасних енергоефективних рішень. Зі зростанням вартості енергоресурсів та вимог до екологічної відповідальності, питання раціонального використання енергії стає пріоритетним для багатьох домогосподарств та компаній. Розумні будинки, обладнані сенсорами, автоматичними системами керування та інтегрованими інформаційними платформами, забезпечують не лише комфорт і зручність, а й сприяють значному зменшенню енергетичних витрат.

Такі системи здатні в режимі реального часу моніторити споживання електроенергії, аналізувати поточні та історичні дані, а також формувати рекомендації для користувачів щодо оптимізації роботи побутових приладів та зниження енергоспоживання. Крім того, інтелектуальні системи можуть автоматично регулювати роботу пристроїв, адаптуючись до умов оточення та потреб мешканців, що підвищує ефективність використання енергоресурсів. У поєднанні з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі чи вітрові турбіни, ці системи сприяють створенню енергетично автономних будинків, що зменшує залежність від традиційних енергетичних мереж.

Розвиток таких технологій також відкриває нові можливості для інтеграції штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє прогнозувати майбутні потреби в енергії та ефективніше управляти ресурсами. Інформаційні системи оптимізації споживання енергії в розумних будинках є важливою складовою глобальних зусиль зі зменшення вуглецевого сліду та сприяння стійкому розвитку.

Метою роботи є оптимізація споживанням електроенергії у системі Розумного будинку.

Об’єктом дослідження є процес оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

Предметом дослідження є методи та засоби інформаційної технології оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

Методи дослідження. У роботі було застосовано наступні теорії та засоби:

– аналітичні та математичні методи дослідження;
– засоби комп'ютерних систем та мереж;
– методи оцінки ефективності;
– сучасні програмні засоби проектування та дослідження.

Наукова новизна роботи:

– набув подальшого розвитку метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку, який, на відміну від відомих, використовує індивідуальні профілі споживання для кожного пристрою з урахуванням пріоритетних інтервалів використання, що дозволило забезпечити дотримання лімітів енергоспоживання;

– удосконалено інформаційну систему оптимізації споживання енергії в Розумному будинку, яка на відмінну від відомих залучає систему нечіткого логічного висновку та інтегрує механізм розподілу енергоспоживання на основі пріоритетних інтервалів використання для кожного пристрою, що дозволило не лише виявляти перевищення споживання, але й автоматично коригувати енергоспоживання для забезпечення дотримання встановлених лімітів.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонована інформаційна система оптимізації енергоспоживання дозволяє автоматично коригувати енергоспоживання для забезпечення дотримання встановлених лімітів пристроями у Розумному будинку.

Важливість роботи і висновки. Робота має важливе значення для розвитку технологій домашньої автоматизації.

За результатами роботи зроблені наступні висновки:

1. Проведено аналіз відомих методів, систем та технологій оптимізації електроенергії у Розумному будинку.

2. Досліджено прийняття рішення за допомогою системи нечіткого логічного висновку;

3. Удосконалено метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку;

4. Запропоновано інформаційну систему оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку;

5. Досліджено ефективність пропонованої інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

Публікації. Дослідження проведені у даній роботі були представлені на Всеукраїнській науково–практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН–2024», за результатами якої опубліковано у збірнику конференції тезу доповіді «Інформаційна система оптимізації споживання електроенергії у системі Розумний будинок» [47].

Структура та об'єм дипломної роботи. Дипломна складається з вступу, чотирьох розділів, висновку та додатків, її повний зміст 98 сторінок, основний зміст викладено на 75 сторінках, 3–х додатках, містить 22 рисунків, 1 таблиця, включає 76 найменувань вітчизняної та зарубіжної літератури.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

1.1 Аналіз системи енергозабезпечення у Розумних будинках

В епоху, коли відбувається глобальний перехід до стійкої енергетики, ефективне управління енергетикою набуває все більшого значення у суспільстві. Домовласники тепер мають доступ до домашніх систем управління енергоспоживанням (HEMS), які пропонують інтелектуальний та оптимізований підхід до використання енергії.

Домашня система управління енергоспоживанням – це складна установка, призначена для моніторингу, контролю та оптимізації енергоспоживання в будинку за допомогою передових технологій. Ця система включає такі функції, як відстеження енергоспоживання, автоматичне управління і мережеве управління. Його основна мета – допомогти домовласникам вміло керувати споживанням енергії, що врешті-решт призведе до зниження витрат на електроенергію та підвищення ефективності використання енергії. В умовах нинішнього енергетичного переходу, що характеризується зростаючою залежністю від поновлюваних джерел енергії, системи управління енергоспоживанням «розумного будинку» відіграють ключову роль у розвитку енергетичного інтелекту.

Система енергозабезпечення у розумних будинках (Smart Homes) є ключовою складовою сучасних технологій автоматизації житлових приміщень, спрямованою на оптимізацію споживання електроенергії та підвищення енергоефективності (рис. 1.1). Такі системи забезпечують інтеграцію різних компонентів для моніторингу, управління та регулювання енергопотоків, що дозволяє мінімізувати витрати електроенергії та підвищити комфорт проживання. Основні компоненти системи енергозабезпечення у розумних будинках включають: централізований контролер, сенсори та датчики, розумні розетки та реле, система моніторингу енергоспоживання, системи управління освітленням та клімат-контролем, компоненти інтеграції з відновлюваними

джерелами енергії, алгоритми енергоефективності та автоматизація, а також системи зберігання даних та аналітики.

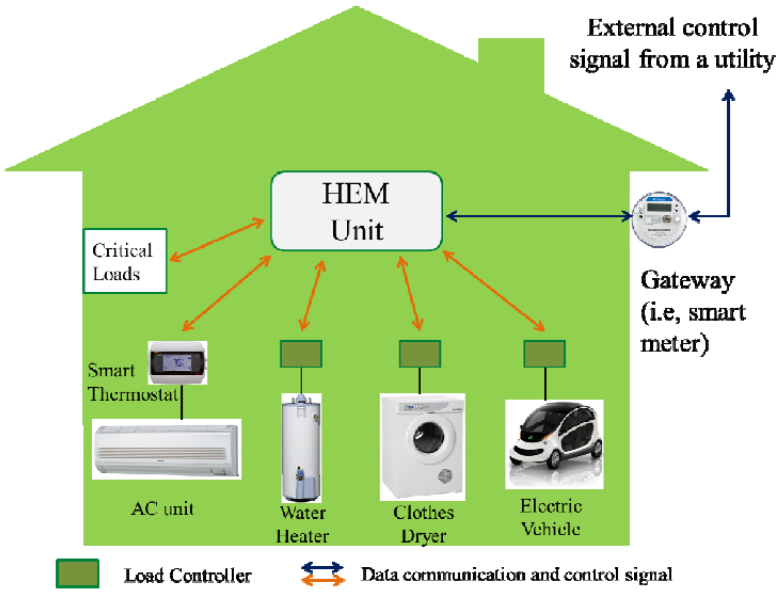


Рисунок 1.1 – Загальна структура системи оптимізації енергоспоживання

Централізований контролер або хаб є головним компонентом системи енергозабезпечення, який відповідає за збір та обробку даних від усіх підключених приладів і систем. Він дозволяє відстежувати та керувати енергоспоживанням у режимі реального часу. Хаби можуть використовувати різні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Zigbee або Z-Wave, і взаємодіяти з іншими системами, включаючи голосові асистенти (Amazon Alexa, Google Assistant).

Різноманітні сенсори та датчики забезпечують збір даних про споживання енергії та стан електричних приладів (рис. 1.2). Вони можуть включати:

– датчики споживання електроенергії – вимірюють кількість спожитої електроенергії, напругу, струм та інші параметри.

– датчики руху та присутності – допомагають автоматично вимикати освітлення та інші електроприлади, якщо у приміщенні нікого немає.

– температурні датчики – використовуються для регулювання опалення та кондиціонування повітря, що знижує витрати на енергоресурси.

а)

б)

Рисунок 1.2 – Типові датчики, що використовуються у розумних системах оптимізації енергоспоживання: а) датчик струму ACS712 30A, б) датчик напруги MH 25V

Розумні розетки та реле дозволяють дистанційно керувати підключеними електроприладами та вимірювати їх енергоспоживання. Вони можуть автоматично вимикати непотрібні прилади або перемикати їх у режим енергозбереження. Ці пристрої часто мають функції таймера і роботи за розкладом, що дозволяє налаштовувати їх роботу відповідно до часу доби або дня тижня.

Система моніторингу енергоспоживання забезпечує відображення детальної інформації про споживання електроенергії у вигляді графіків та звітів, доступних через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Користувачі можуть відстежувати поточне споживання, аналізувати історичні дані та отримувати сповіщення про перевищення встановлених лімітів. Моніторинг дозволяє вчасно реагувати на аномалії в споживанні енергії та вживати заходів для його зменшення.

Ще один компонент у системах оптимізації енергоспоживання є системи управління освітленням та клімат-контролем. Ці системи дозволяють автоматично регулювати яскравість або вимикати світло залежно від часу доби, кількості денного світла або присутності людей у приміщенні. Системи клімат-контролю інтегруються з опалювальними приладами, кондиціонерами та вентиляцією, що дозволяє налаштовувати оптимальну температуру та знижувати витрати на енергоресурси.

Розумні будинки часто оснащуються системами для інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі. Система енергозабезпечення може автоматично керувати використанням електроенергії з міської мережі та генерованою сонячною енергією, оптимізуючи витрати. Важливою частиною цієї системи є акумулятори, які накопичують енергію, вироблену від сонячних панелей, для подальшого використання у періоди пікового навантаження або відсутності сонячного світла.

Алгоритми енергоефективності та автоматизація є обов'язковими об'єктами у системі оптимізації енергоспоживання. Наприклад, вона може автоматично налаштовувати роботу приладів у періоди низького енергоспоживання або відповідно до тарифів на електроенергію. Автоматизація також дозволяє програмувати сценарії, як-от автоматичне вимкнення всіх приладів при виході з дому або зниження температури опалення вночі.

Важливою складовою є система зберігання та обробки даних, яка дозволяє проводити довгостроковий аналіз енергоспоживання і прогнозувати витрати на основі історичних даних. Такі дані можуть бути використані для складання енергетичних профілів користувачів та оптимізації використання електроприладів.

Централізоване керування системою енергозабезпечення здійснюється через мобільні додатки або голосових помічників (Amazon Alexa, Google Assistant). Це дозволяє користувачам легко контролювати енергоспоживання, отримувати сповіщення та налаштовувати роботу системи відповідно до їхніх уподобань.

Таким чином інтеграція всіх цих компонентів у єдину систему оптимізації енергозабезпечення у розумних будинках дозволяє значно підвищити енергоефективність та знизити витрати на електроенергію завдяки інтеграції різних технологій, таких як сенсори, розумні прилади, моніторинг та автоматизація. Вона створює комфортне і безпечне середовище для мешканців, одночасно забезпечуючи гнучке управління та оптимізацію енергоспоживання.

Як підсумок можна виділити наступні переваги домашньої системи керування енергоспоживанням:

– зниження вартості. Інтеграція систем управління енергоспоживанням у житлових будинках з фотоелектричними системами дозволяє домогосподарствам гнучко використовувати електроенергію, що самостійно виробляється, ефективно покриваючи свої енергетичні потреби. Інтелектуальне керування та накопичення енергії, наприклад, за рахунок тепла або EV заряджання, призводить до зниження витрат на електроенергію;

– підвищення ефективності використання енергії. Домашні системи керування енергоспоживанням забезпечують комплексне використання енергії за рахунок комплексного керування побутовими та фотоелектричними системами. Стратегічно координуючи сонячну енергію, споживання навантаження та зберігання енергії, система забезпечує ефективне використання енергії, запобігаючи втратам, викликаним надлишковим потоком електроенергії в мережу, і тим самим підвищуючи загальну ефективність використання електроенергії;

– енергозбереження та скорочення викидів. Контролюючи та оптимізуючи використання енергії, системи управління енергоспоживанням будинку дозволяють домовласникам точно розуміти та контролювати споживання енергії. Регулярний аналіз даних та інтелектуальний контроль допомагають виявляти потенційні втрати енергії, дозволяючи домовласникам вживати ефективних заходів та сприяти досягненню цілей енергозбереження та скорочення викидів;

– інтелектуальний життєвий досвід. За допомогою мобільних програм або онлайн-платформ користувачі можуть отримувати доступ до даних про енергоспоживання в режимі реального часу, налаштовувати параметри пристроїв та контролювати енергоспоживання вдома, підвищуючи комфорт та зручність домашнього життя.

1.2 Промислові засоби вимірювання параметрів електроспоживання пристроїв

На сьогоднішній день процес оптимізації енергоспоживання зазвичай не обходиться без енергометрів. Енергометр – це прилад, призначений для вимірювання і контролю енергоспоживання в електричних мережах. Він вимірює параметри, такі як напруга, струм, активна і реактивна потужність, а також іноді коефіцієнт потужності. Енергометри часто використовуються для обліку кількості спожитої електроенергії (в кіловат-годинах, кВт·год), що дозволяє ефективно керувати енергоспоживанням, оптимізувати витрати та виявляти можливі проблеми в електричних мережах. Розглянемо детальніше відомі засоби.

Одним із рішень для оптимізації енергоспоживання є енергометр Tuya Smart Two-Way Bilateral WiFi Energy Meter (рис. 1.3). Цей пристрій призначений для моніторингу двостороннього енергоспоживання, зокрема для будинків із встановленою сонячною фотоелектричною системою (Solar PV System). Після встановлення за схемою підключення пристрій дозволяє контролювати як вироблену сонячною системою енергію, так і спожиту електроенергію з міської мережі. Підключившись до Wi-Fi, користувачі можуть контролювати стан пристрою через додатки Tuya або Smart Life з будь-якого місця, де є інтернет.

Пристрій оснащений двома трансформаторами струму (CT Clamp Sensors) на 80 ампер, які мають отвір діаметром 10 мм. Він вимірює напругу, струм, коефіцієнт потужності та активну потужність, забезпечуючи точний контроль за електроспоживанням. Також підтримуються автоматизація і сценарії “Tap-to-Run” із сумісними пристроями Tuya.

Через додаток можна переглядати дані про енергоспоживання за годину, день, місяць або рік, зберігаючи записи до одного року. Пристрій працює з напругою 90-250В на частоті 50/60 Гц і встановлюється на DIN-рейку шириною 35 мм. Оновлення даних відбувається раз на 15 секунд, а для підключення

використовується Wi-Fi 2.4G (5G не підтримується). Підтримується вологість до 90% без конденсації, при температурному діапазоні від -10°C до +55°C.

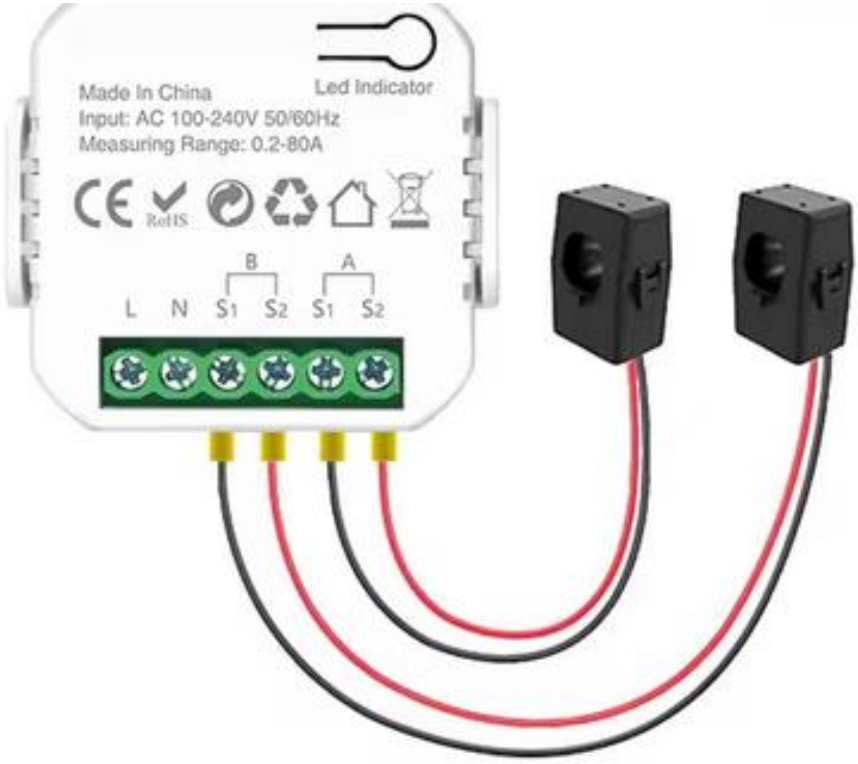


Рисунок 1.3 – Енергометр Tuya Smart Life WiFi Energy Meter 120A Bidirectional 2 Channel with Clamp App Monitor Solar Export and Import Power AC110V/240V

Ще одним пристроєм, який використовується у сучасних Розумних будинка для оптимізації енергоспоживання є розумна розетка. Зокрема одним із рішень є пристрій від Chic (рис. 1.4). Дана розумна Wi-Fi розетка підтримує максимальну силу струму до 16 А. Вона забезпечує дистанційне керування підключеними електроприладами через Wi-Fi за допомогою мобільних додатків на Android та iOS, а також сумісна з голосовими асистентами Amazon Alexa та Google Home.

Розетка оснащена функцією захисту від перевантажень і підтримує роботу в діапазоні температур від -20 °C до +50 °C. Однією з ключових функцій є облік витраченої електроенергії, що дозволяє відстежувати споживання енергії через

додатки. Вона також має таймер і можливість налаштування роботи за розкладом, що дає змогу автоматизувати увімкнення і вимкнення пристроїв у зазначений час. Захисні шторки забезпечують додаткову безпеку, а підсвітка додає зручності в користуванні. Розетка виготовлена з вогнестійкого матеріалу PC v0, що гарантує її надійність та довговічність. Вона підтримує стандарти бездротового зв'язку IEEE 802.11b/g/n і має кілька рівнів захисту, включаючи WPA-PSK, WPA2-PSK, і WEP.

Комплект постачання включає розумну Wi-Fi розетку та інструкцію з експлуатації, а її живлення здійснюється від мережі з напругою 100-240 В.

Рисунок 1.4 – Розумна Wi-Fi-розетка RZTK Chic

Ще один пристрій для оптимізації енергоспоживання є розумний лічильник електроенергії, одним із представників яких є пристрій від компанії Atorch (рис. 1.5). Atorch S1W WiFi – лічильник електроенергії для розетки дозволить не тільки контролювати споживання живлення, а й дистанційно керувати його подачею: увімкнути/відімкнути, а також контролювати електричні параметри.

Рисунок 1.5 – Розумний лічильник електроенергії від компанії Atorch

Atorch S1W WiFi дозволяє дистанційно керувати живленням електроприладів, за допомогою мобільного телефону або планшета. Atorch S1W контролює і передає у застосунок всі дані, що протікають через нього, а це напруга, струм і потужність, які потім можна подивитися в додатку. Прилад має низку популярних функцій, які дозволяють частково автоматизувати роботу з електричним обладнанням та полегшують її. Усі дані відображаються в режимі реального часу, інформація відображається одразу після вибору параметра у програмі або натискання відповідної кнопки та вибору потрібного параметра.

Особливістю є поєднання в одному корпусі лічильника електроенергії з кольоровим дисплеєм і «автомата живлення», що дистанційно керується. Наявна функція підрахунку використаної електроенергії у перерахунку на гроші, що дає змогу вказати вартість за одиницю енергії. Лічильник є «накладкою» на розетку або посередником між приладом та електромережею, ніж повноцінною розеткою. Управління живленням реалізовано за допомогою потужних електромагнітних реле. Управління можливе як за допомогою кнопок на корпусі, так і за допомогою мобільного пристрою через додаток. WiFi лічильником

можна керувати за допомогою мобільних пристроїв на базі iOS та Android, через програму APP TUYA.

Ще один пристрій, що представляє собою інтелектуальний лічильник, який призначений для вимірювання та моніторингу енергоспоживання електроприладів є JYARZ Intelligent AC Power Meter Wattmeter Socket Power (рис. 1.6). Він підключається через двоконтактну німецьку вилку та працює в діапазоні напруги від 230В до 250В, при частоті 50 Гц. Максимальний струм, який підтримує цей лічильник, становить 10А, а споживана потужність самого пристрою – лише 0,5 Вт. Даний лічильник показує реальну споживану потужність в межах від 0 до 2400 Вт, хоча його дисплей може відображати значення до 9999 Вт. Пристрій також має функцію відображення напруги в межах 0-9999В, струму від 0.000А до 10.000А, а також частоти до 9999 Гц. Додатково він може відображати загальне енергоспоживання в кіловат-годинах та загальну вартість електроенергії, яку можна налаштувати в межах 0.00–99.99 за КВт·год. Особливістю даного пристрою є те, що він обладнаний таймером, який може відображати час роботи, що дозволяє зручно відстежувати споживання енергії протягом тривалого періоду. Його робота супроводжується індикатором функціонування.

Рисунок 1.6 – JYARZ Intelligent AC Power Meter Wattmeter Socket Power

Окрім розумних розеток, для оптимізації енергоспоживанню також залучаються бездротові реле, як приклад розумне реле TriniX TRX-WC01 (рис. 1.7). Даний пристрій дозволяє дистанційно керувати електроприладами через Wi-Fi. Особливістю даного реле є підтримка максимального струму до 10 А і сумісність із популярними голосовими асистентами, такими як Amazon Alexa та Google Assistant. Завдяки бездротовому стандарту Wi-Fi і частоті 433 МГц, бездротове реле забезпечує стабільне з'єднання і можливість віддаленого керування пристроями через смартфон або голосові команди. Також даний пристрій має ступінь захисту IP20 і працює в діапазоні температур від -10 °C до +40 °C. Даний пристрій також оснащений нульовою лінією, що дозволяє точніше контролювати електроживлення. Також дане безпровідне реле працює із операційними системами Android (версія 5.0 і вище) та iOS (версія 11 і вище), і може витримувати граничну потужність навантаження до 1100 Вт. Підключається до мережі з напругою 85-250 В і має компактні розміри 67 x 41.2 x 25.7 мм.

Рисунок 1.7 – Розумне реле TriniX TRX-WC01

Альтернативою розглянутих рішень є комплексне рішення від EcoFlow – EcoFlow PowerInsight, що представляє собою систему управління енергією для

розумного дому, яка забезпечує ефективне використання електроенергії. Завдяки 10-дюймовому сенсорному екрану вона дозволяє в реальному часі відслідковувати енергоспоживання та керувати енергетичними процесами в домі (рис. 1.8). Система оптимізує споживання, використовуючи сонячну енергію та акумулятори для зниження витрат. Вона автоматично регулює клімат у домі, попереджає про негоду, і надає можливість використовувати економічний або екологічний режими для заощадження ресурсів.

Рисунок 1.8 – Інформаційна панель EcoFlow PowerInsight

1.3 Огляд відомих методів та систем оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку

На сьогоднішній день питанню оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку приділяється значна увага. Розглянемо детальніше деякі відомі методи та системи.

Серед уже згаданих рішень у сфері оптимізації у Розумному будинку деякі рішення базуються на технологіях обчислювального інтелекту. Для автоматичної оптимізації температури та, відповідно, заощадження енергії, у [2]

було використано нечітку логіку в поєднанні з тепловими датчиками для регулювання температури в приміщенні відповідно до встановлених стандартів, запропонованих мешканцями. У [3] нечітка логіка застосовується для зниження енергоспоживання будинку відповідно до різних специфікацій, таких як зовнішня температура, скориговані графіки, стан заряду акумулятора, а також широкий діапазон тарифів і переваг щодо використання електроенергії. Нечітку логіку також можна використовувати у сценаріях, що реагують на контекст. Нечітка логіка в обчислювальному інтелекті здатна працювати з точністю приблизно 95% і є трохи швидшою за інші архітектури, як показано у роботі [4].

Для управління та оптимізації енергоспоживання також використовуються інші подібні рішення. У [5] адаптовано та використано байєсівську мережу для управління джерелами живлення, призначеними для забезпечення комфорту. Ця структура створить зв’язок між станом обладнання та середовищем житлових будинків.

У [6] представлено рішення для розумної енергосистеми на основі хмарних обчислень і вебсервісів із використанням IoT датчиків та пристроїв із штучним інтелектом. У дослідженні встановлено з’єднання LoRaWAN для управління деякими побутовими приладами, а також використано датчики та виконавчі механізми для вимірювання змінних середовища. Дані про трафік збираються та зберігаються на хмарному сервері, доступ до яких здійснюється за допомогою ноутбука або смартфона.

У [7] створено архітектуру на основі концепції IoT для покращення систем віддаленого доступу, зокрема запропоновано підхід, що здійснює моніторинг і управління будинком користувача, а також забезпечує більш комфортну та безпечну систему. Користувачі отримають доступ до веб- або мобільних додатків, які можуть використовувати хмарні сервіси, включаючи евристичні системи для розумних будинків.

У [8] автор пропонує рішення для управління енергоспоживанням з метою підвищення безпеки в будинку користувача на основі IoT. Це рішення включає релейний модуль для управління пристроєм, датчики безпеки для виявлення

диму, центральний пристрій (що спілкується через інтернет). У пропонованій структурі комунікація між користувачем і пристроєм відбувається через інтернет і мобільні додатки для управління будинком.

Інтелектуальний додаток для розумного дому, заснований на концепції IoT, також розроблено у [8]. Це рішення може використовуватися для мобільних пристроїв, що мають доступ до центрального хоста. Пропонована система має можливість керувати різними домашніми приладами та контролювати безпеку у системі Розумного будинку.

У [9] розроблено архітектуру моніторингу з метою економії енергії в житловому середовищі за допомогою IoT і методів машинного навчання. Фізична частина системи моніторингу використовує датчик струму, підключений до Raspberry Pi 3 A, який передає інформацію, яка потім зберігається в однопалатній комп'ютерній системі. Raspberry Pi передає ці дані (дата, час, загальна активна і реактивна потужність, напруга, струм і активна потужність трьох різних приладів) на рівень проміжного програмного забезпечення IoT, де дані обробляються і зберігаються на хмарному сервері. Нарешті, оброблені дані відображаються на рівні додатків для кращої візуалізації. За допомогою тестів на основі середньої квадратичної помилки (MSE) і коефіцієнта детермінації (R2) було визначено, що розроблена модель LSTM (довготривала короткочасна пам'ять) має точність приблизно 84%.

У роботі [10] обговорюється використання та важливість IoT-комунікацій у будівлях і університетах у поєднанні з машинним навчанням для економії енергії. Моніторинг здійснюється за допомогою температурних датчиків і датчиків вуглекислого газу для визначення кількості присутніх користувачів з метою управління системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Комунікація між датчиками та базою даних здійснюватиметься як за допомогою як протоколу далекого радіусу дії (LoRaWAN), так і короткого радіусу дії (ZigBee, Bluetooth і RF). Разом з машинним навчанням для прогнозування кількості людей у приміщенні за допомогою ймовірнісних розрахунків застосовується теорії марківської черги. Дані передаються до бази даних для

інтерпретації та оптимізації системи. Було встановлено, що серед протестованих IoT-комунікацій LoRaWAN покриває на 60% більшу площу порівняно з короткодіючими комунікаціями, також досягаючи 0% втрати пакетів.

Метою дослідження у [11] є оцінка продуктивності технології LPWA (Low Power Wide Area) на основі рішення LoRaWAN для підтримки додатків розумної енергосистеми, особливо інтелектуальних лічильників. Це засновано на простій бездротовій інфраструктурі та ієрархічній структурі, яка підходить для багатьох розподілених вимірювань і додатків IoT. Оскільки мережа базується на зірковій топології, вона може створити інтерконекцію між кінцевими вузлами та базовими станціями/шлюзами, які збирають і пересилають повідомлення в Інтернет до одного або кількох мережевих серверів. Сервер додатків забезпечує безпеку даних користувачів, надісланих або отриманих від кінцевого пристрою.

У [12] обговорюється електрична розетка, побудована на мікроконтролері ATmega328, заснована на протоколі ZigBee. Вона має пристрої для встановлення бездротового зв’язку між датчиками, розеткою та контролером, здатними передавати інформацію про споживання енергії для керування потужністю.

Проведений огляд показав, що хоча існуючі рішення для управління енергоспоживанням у розумних будинках демонструють значний потенціал, все ще залишається потреба в розробці нових, більш ефективних інформаційних систем для оптимізації енергоспоживання. Зокрема, рішення на основі нечіткої логіки показують значний потенціал для підвищення енергоефективності та більш точного прогнозування енергоспоживання, і як наслідок оптимізації споживання ресурсів. Така система повинна також враховувати економічні аспекти, персональні переваги користувачів та забезпечувати високий рівень безпеки даних. Інтеграція машинного навчання і передових алгоритмів аналізу дозволить підвищити точність прийняття рішень, а також знизити витрати на енергію, що є критично важливим у контексті сучасних тенденцій сталого розвитку та зростаючого попиту на енергоресурси.

1.4 Постановка задачі дослідження

Після дослідження предметної області та аналізу відомих рішень і методів, виявлено низку недоліків існуючих систем оптимізації енергоспоживання, таких як недостатня точність прогнозування, обмежені можливості інтеграції з різними джерелами енергії та відсутність гнучкого управління енергоспоживанням.

З огляду на ці недоліки, основним завданням даної роботи є розробка інформаційної системи для оптимізації енергоспоживання в розумному будинку. Основна мета полягає у створенні системи, яка буде здійснювати періодичний моніторинг споживання електроенергії та автоматично коригувати режими роботи пристроїв з метою підвищення енергоефективності. Для вирішення цього завдання необхідно:

1) Проаналізувати відомі методи та засоби для оптимізації енергоспоживання;
2) Розробити нечітку модель прийняття рішення для оптимізації споживання енергії в Розумному будинку;
3) Розробити інформаційну систему оптимізації споживання енергії в Розумному будинку;
4) Розробити метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку;
5) Розробити алгоритми оптимізації енергоспоживання пристроїв у Розумному будинку;
6) Провести дослідження ефективності запропонованої інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

2 ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ

2.1 Прийняття рішення за допомогою системи нечіткого логічного висновку

Моделі конкретних біологічних систем відносяться до поняття обчислювального інтелекту (ОІ) та технік прийняття рішень, що є ефективними методами для допомоги кінцевим користувачам, дозволяючи системам виконувати інтелектуальні дії з прийняття рішень. Тип розуміння, який виникає завдяки обчислювальному прийняттю рішень, призвів до формування таких загальних напрямків:

– інтероперабельна модель: передбачає, що інтелект (наприклад, нейронні мережі) виникає через динамічні зв’язки між вузлами та шарами, такими як штучні нейрони;

– символічний підхід: включає набір правил і процедур для створення структур, як-от дерева рішень.

– нечіткий підхід: дозволяє оцінювати приналежність компонентів до певного класу, визначаючи ступінь їх значущості (наприклад, через нечітку логіку);

– еволюційне обчислення: ґрунтується на природних процесах, що здатні розвиватися, маючи адаптивне управління, самоорганізацію та використання генетичних алгоритмів.

Завдяки своїм характеристикам ці системи здатні виконувати функції, пов’язані із моніторингом, автоматизацією, управлінням та виконанням – ключовими для застосувань у розумних мережах та розумних будинках (РБ).

Дана робота присвячена проєктуванню інформаційної системи оптимізації споживання енергії в Розумному будинку, прийняття рішення в середині якої реалізується за допомогою апарату нечіткої логіки. Основними перевагами

вибору такого типу рішення полягає у врахуванні таких аспектів, як прийняття обчислювальних витрат, простота правил і процес прийняття рішень.

Ці нечіткі методи здатні обробляти складні змінні, сортувати або прогнозувати результати, що сприяє прийняттю рішень. Вони можуть інформувати мешканців про можливе зростання споживання електроенергії та впроваджувати оптимальні стратегії для управління енергоспоживанням, ґрунтуючись на параметризації, яка відбувається під час налаштування системи розумного споживання.

Нечітка логіка є одним із поширених методів, що розглядаються у літературі присвяченій автоматизованих систем. Вона надає інструменти для роботи з процесами, які за принципом функціонування схожі на роботу комп'ютера. Її суть полягає в тому, щоб розділяти безперервні числові значення на кілька станів. Ці стани можуть перекриватися або частково змінювати одне одного, що визначається за допомогою функцій приналежності (ФП). Під час перекриття значення змінної не змінюється різко, а поступово втрачає свою вагу в одній функції і переходить до наступної, зберігаючи плавний перехід між станами. Плавний перехід між станами під час перекриття значень змінної дає змогу системі працювати з неповною або нечіткою інформацією. Це дозволяє ухвалювати рішення в умовах невизначеності, коли змінні не мають чітких меж. Такий підхід допомагає уникнути різких змін у результатах і забезпечує більш гнучке реагування на поступові зміни вхідних даних, що робить систему стійкішою до неточностей і більш адаптивною в реальних умовах, де дані часто бувають неповними або варіативними.

Нечітка логіка це обчислювальна техніка, яка базується на ступені істинності. Система нечіткої логіки використовує ступінь істинності вхідних даних і лінгвістичні змінні для отримання певного результату. Стан цього входу визначає характер виходу. Ця техніка відрізняється від булевої логіки, яка використовує лише дві категорії (істина чи хибність). У булевій логіці дві категорії (0 і 1) використовуються для опису об'єктів. Наприклад, температура води, що подається в склянці, може бути високою (1) або низькою (0). Вода

описана за допомогою більшої кількості категорій у нечіткій логіці, але в межах двох категорій, згаданих раніше. У цьому випадку вода може бути дуже холодною, дуже теплою або теплою. Візьмемо інший простий приклад. Припустимо, у нас є питання, на яке потрібно відповісти. У булевій логіці відповідь буде або так, або ні. У нечіткій логіці відповідь може бути між цими двома категоріями. Деякі з ймовірних відповідей у цій логіці можуть включати, можливо, так, можливо, ні або, звичайно, ні. Таким чином системи нечіткої логіки використовують ступені можливостей, а не точні категорії [33-35].

Архітектура нечіткої логіки складається з таких компонентів (рис. 1.1):

– база правил: містить правила та функції належності, які регулюють або контролюють прийняття рішень у системі нечіткої логіки. Вона також містить умови IF-THEN, які використовуються для умовного програмування та керування системою;

– фазифікатор: цей компонент перетворює необроблені вхідні дані в нечіткі набори. Нечіткі множини надходять до системи керування, де проходять подальшу обробку;

– механізм логічного висновку: це інструмент, який встановлює оптимальні правила для певного введення. Потім він застосовує ці правила до вхідних даних, щоб створити нечіткий вихід;

– дефазифікатор: цей компонент перетворює нечіткі набори в явний вихід (у формі чітких вхідних даних). Дефазифікація є завершальним етапом нечіткої логічної системи.

Техніка нечіткої логіки може бути реалізована в різних системах (апаратних і програмних). Розглянемо алгоритм побудови нечіткого висновку наприклад для кондиціонера.

У даному прикладі система нечіткої логіки забезпечує встановлення необхідної температури кондиціонером. Якщо є невідповідність між бажаною температурою та температурою в приміщенні, кондиціонер використовуватиме нечітку логіку, щоб налаштувати температуру до бажаного значення.

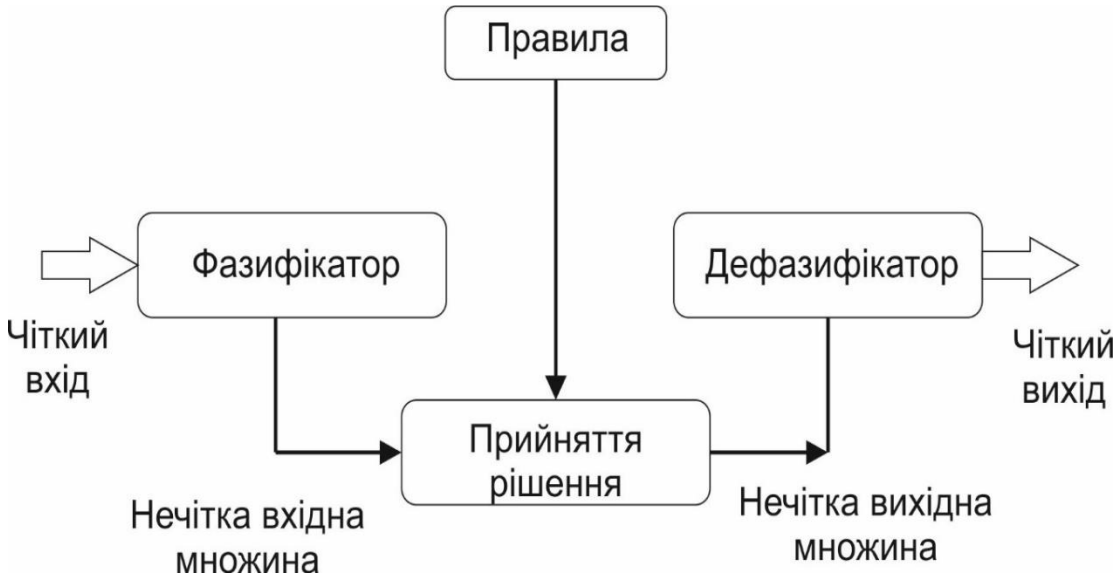


Рисунок 2.1 – Архітектура системи нечіткого логічного висновку

Нижче наведені основні кроки алгоритму для нечіткої логіки.

Крок 1: спочатку слід визначити лінгвістичні терми (або змінні). У булевій логіці температуру можна розділити на дві основні категорії: гаряча та холодна. У системі нечіткої логіки можна використовувати лінгвістичні терми для опису різних категорій температури. Деякі з лінгвістичних термів, які використовуються в цьому випадку, включають дуже холодний, гарячий, дуже теплий, теплий, холодний і дуже гарячий. Температуру можна назвати нечітким набором t що складається з вищезгаданих лінгвістичних термінів.

Крок 2: після визначення лінгвістичних термів слід створити функції належності. Цей крок передбачає графічне представлення нечіткої множини (t). Вхідна температура відкладена на осі абсцис, а градуси приналежності – на осі y. Функція належності обчислює ступені належності різних температурних елементів.

Крок 3: на третьому кроці створюються правила контролю температури кондиціонера. У даному кроці застосовується логіка правил виду IF-THEN. Наприклад:

– якщо кімнатна температура дуже низька, а бажана температура дуже висока, то слід нагріти;

– якщо температура в приміщенні дуже висока, а необхідна температура холодна, то слід охолодити;

– якщо температура в приміщенні тепла, а необхідна температура тепла, то не потрібно вживати жодних заходів.

У трьох умовах IF-THEN нагрівання, охолодження та відсутність дії представляють дії, які необхідно виконати після виконання умов IF-THEN.

Крок 4: Після встановлення системних правил фазифікатор використовує їх для перетворення необроблених вхідних даних у нечіткі набори. Це робиться за допомогою нечітких операцій (наприклад, Max і Min). Ці нечіткі набори використовуються для генерації виходу функції належності.

Крок 5: Дефазифікація: це останній крок алгоритму. На цьому кроці дефазифікатор використовує функцію належності для встановлення вихідної температури.

2.2 Використання системи нечіткого логічного висновку для оптимізації енергоспоживання

В основі проєктованої інформаційної системи пропонується використати систему нечіткого логічного висновку. Як показано на рис. 2.2, пропонована структура нечіткої системи логічного висновку для інформаційної системи має дві вхідні змінні: індекс енергоспоживання та відсоток місячного споживання. Ці змінні є вхідними даними для 18 нечітких правил, які після процесу дефазифікації генерують вихідну змінну прогнозування споживання. Вона дозволяє оцінити майбутнє енергоспоживання користувача.

Таким чином індекс споживання та щомісячний відсоток є вхідними змінними, які використовуються для прогнозування або аналізу енергоспоживання в системі:

Індекс енергоспоживання (IE) – це інтегральний показник, який відображати рівень або стан споживання енергії користувачем. Даний показник враховує поточне або середнє енергоспоживання, яке інформаційна система

використовує для прийняття рішень щодо прогнозування або управління споживанням енергії.

Рисунок 2.2 – Система нечіткого логічного висновку

Відсоток місячного споживання (ВМС) – це частка або відсоток енергоспоживання за певний місяць, яка порівнюється з іншими місяцями чи встановленими нормами. Вона використовується для відстеження змін споживання енергії з плином часу.

Ці показники є вхідними даними для нечіткої логіки, яка на основі цих змінних аналізує та прогнозує майбутнє споживання енергії, щоб допомогти користувачам оптимізувати енергоспоживання або реагувати на можливі перевищення.

Наприклад, на рис. 2.1 продемонстровано, як вхідне значення індексу енергоспоживання може бути перетворено на декілька рівнів (нечітку терм

множину): середнє споживання енергії (ССЕ) та споживання Вище середнього на (СВС). Значення СВС можуть мати різні рівні, такі як 20%, 40%, 60%, 80% та 100%. Якщо значення належить до діапазону СВС, то йому буде надано оцінку вище 1, тоді як для значення ССЕ складатиме 1.

Наприклад, якщо в середньому споживання користувачем енергії становить 100 кВт·год на місяць, то показник ССЕ складає 100. Споживання Вище Середнього (СВС) визначає ситуацію коли споживання користувача перевищує середнє значення. Наприклад, якщо користувач споживаєте 120 кВт·год, це становить 20% вище за ССЕ.

Ця структура працює за рахунок інтеграції всіх вхідних даних, формуючи набір правил для кожної конкретної ситуації. Наприклад, якщо Індекс енергоспоживання має значення 1 для нечіткої змінної ССЕ та більше 1 для СВС20, система перевіряє всі відповідні правила. Після цього система генерує нечіткі результати, які потім об'єднуються для створення вихідного набору. Вага кожного результату може варіюватися від 0 (відсутність результату) до 1 (максимальний результат). Ці результати є нечіткими, оскільки вони можуть відображати не точні, а приблизні значення. І, як наслідок, на останньому етапі відбувається процес дефазифікації. Тобто процес, під час якого нечіткі результати перетворюються на конкретні значення, щоб їх можна було використовувати для прийняття рішень. Остаточний вихідний результат отримується після дефазифікації.

2.3 Формування нових значень енергоспоживання для пристроїв

Системи енергетичного менеджменту зазвичай спрямовані на зменшення енергоспоживання для зниження витрат та екологічного впливу. Проте, радикальне скорочення використання електричних пристроїв або систем (кондиціонерів, опалення тощо) може призвести до зниження комфорту для мешканців.

Тому при формуванні нових значень енергоспоживання пристроїв важливо оцінювати комфорт користувачів. Для цього введемо поняття індекс комфорту. Індекс комфорту мешканця (ІК) є важливим показником у системах управління енергоспоживанням, оскільки він дозволяє збалансувати між економією енергії та забезпеченням комфортних умов для мешканців. Як наслідок розрахунок індексу комфорту допомагає визначити оптимальний баланс між зниженням енергоспоживання та забезпеченням комфортних умов для людей. Таким чином, можна уникнути надмірної економії, яка може негативно вплинути на якість життя.

Для визначення зони комфорту щодо побутових приладів та рівня комфорту користувачів введемо наступну формулу:

$$ІК = КГВО / КПВ, \quad (2.1)$$

де КГВО – це кількість годин використання обладнання, КПВ – кількість годин перебування мешканця вдома.

Формула 2.1 визначає, наскільки використання обладнання відповідає часу, коли мешканець вдома. Чим більше значення КГВО у порівнянні із КПВ, тим вищий ІК, що свідчить про те, що користувач, ймовірно, відчуває більший комфорт, оскільки обладнання працює, коли він присутній.

Пропонований показник індексу комфорту буде використано для оцінки та ранжування пріоритетного списку споживання – відсортованого списку приладів, значення у якому, розміщуватимуться від більшого до меншого значення ІК.

Після того, як система нечіткого логічного висновку сформує результат про перевищення спожитої електроенергії користувачу пропонується обрати один із двох сценаріїв оптимізації енергоспоживання приладів. Розглянемо детальніше запропоновані сценарії:

Сценарій1: балансування постачання та попиту для зменшення надлишкового споживання енергії: надмірне споживання компенсується

кількістю енергії, доступною для інших приладів, на основі загального споживання кожного з них. Мета даного сценарію полягає в тому, щоб збалансувати споживання енергії між приладами у Розумному будинку, якщо деякі з них споживають занадто багато енергії. Для цього використовується набір емпіричних формул, які допомагають визначити, скільки енергії потрібно "забрати" у приладу, що споживає більше, ніж потрібно, і як правильно розподілити це споживання між іншими приладами. Таким чином новий рівень споживання розраховується за допомогою формул 2.2-2.4. Спочатку визначається відсоток споживання обладнанням:

$$ПСЕЕО = (СЕО \times 100) / ЗСЕВП, \quad (2.2)$$

де, ПСЕЕО (показник споживання енергії екземпляром обладнанням) – це відсоток споживання електроенергії обладнанням, СЕО (споживання екземпляру обладнання) – споживання електроенергії даного обладнання в КВт·год; ЗСЕВП (загальне споживання енергії всіма пристроями Розумного будинку) – загальне споживання енергії житла в КВт·год.

Визначення значення, на яке споживання даного приладу зменшить його надмірне споживання здійснюється на основі формули:

$$ЗСО=СО\times К \times ПСЕЕО/100, \quad (2.3)$$

де, СО – це надмірне споживання обладнання, тобто та кількість енергії, на яку цей прилад споживає більше, ніж потрібно в середньому. Іншими словами це різниця між фактичним споживанням і оптимальним споживанням. К – коефіцієнт корекції. Він відображає, на скільки відсотків потрібно зменшити надмірне споживання (наприклад, якщо К = 0.8, це означає, що потрібно зменшити надмірне споживання на 80%). Значення даного коефіцієнту отримується із системи нечіткого логічного висновку, і є її результатом роботи. ПСЕЕО (показник споживання енергії екземпляра обладнання) – це відсоток

енергії, який даний прилад споживає від загального енергоспоживання будинку. Тобто, формула 3 розраховує, на скільки саме потрібно зменшити споживання приладу відповідно до його частки в загальному енергоспоживанні.

Таким чино формула 2.3 враховує, що корекція надмірного споживання залежить від того, який відсоток загального споживання займає дане обладнання. Якщо прилад споживає відносно велику частку енергії, його корекція буде більше впливати на загальний енергобаланс. Множення на значення СО та коефіцієнт К показує, яку частку надмірного споживання електроенергії потрібно скоригувати, а коефіцієнт ПСЕЕО/100 враховує вплив приладу на загальне споживання.

Тоді нове споживання енергії визначатиметься:

$$НСО = СЕО – ЗСО. \quad (2.4)$$

НСО (нове споживання обладнання) є новим рівнем споживання, призначеним для кожного приладу, щоб відновити енергетичний баланс у Розумному будинку.

Також, альтернативно розроблено і сценарій2.

Сценарій2: управління енергією за запитом: користувач матиме повну автономію вибору, яке обладнання повинне зменшити своє споживання для підтримання заданого ліміту споживання.

Даний сценарій намагається допомогти кінцевому споживачу, якщо він перевищує свій середньодобовий рівень споживання енергії, водночас намагаючись при цьому зберегти обслуговування та всі необхідні зручності, щоб забезпечити мінімальний вплив на використання приладів. Враховуючи це, наведені плани беруть до уваги ступінь комфорту, який кожен прилад надає користувачеві. За замовчуванням проєктована інформаційна система націлена на використання першого підходу.

2.4 Визначення присутності користувача в заданій локації Розумного будинку

Окрім ідентифікації загального споживання енергії в розумному будинку, однією з головних цілей цієї інформаційної системи є також передача цієї інформації всім користувачам через мобільний додаток, надаючи їм індивідуальні ліміти споживання електроенергії для кожного приладу, які можуть бути розділені, якщо двоє або більше людей перебувають в одній кімнаті.

Для реалізації цієї функціональності є декілька варіантів.

Використання системи NFC або RFID для ідентифікації користувачів. Кожен користувач носить пристрій з NFC або RFID міткою, яка дозволяє системі визначати, коли користувач входить у кімнату. Це допоможе відстежувати, які користувачі перебувають у кожному приміщенні в реальному часі. При вході користувача в кімнату, його NFC або RFID мітка сканується за допомогою спеціальних зчитувачів. Система фіксує це і розраховує індивідуальні ліміти споживання електроенергії для кожного користувача в кімнаті. Якщо в кімнаті кілька користувачів, споживання може розподілятися між ними. Основними перевагами є простота реалізації та точне визначення користувачів.

Іншим варіантом відстеження місцезнаходження користувачів є застосування Wi-Fi або Bluetooth. У такому випадку визначення присутності користувачів реалізується за допомогою їх смартфонів або інших мобільних пристроїв, підключених до мережі Wi-Fi або Bluetooth у розумному будинку. Система відстежує MAC-адреси пристроїв користувачів і може визначити, коли пристрій входить або виходить із кімнати. В залежності від цього, індивідуальні ліміти споживання можуть змінюватись динамічно, розподіляючи електроенергію між користувачами в кімнаті. Основною перевагою такого підходу є мінімальна потреба в додаткових пристроях, оскільки використовуються вже існуючі технології.

Ще один підхід передбачає використання датчиків руху для визначення присутності користувачів. Датчики руху встановлюються в кожній кімнаті, що

дозволяє виявляти присутність користувачів та керувати електроспоживанням. Якщо датчики руху виявляють рух у кімнаті, система припускає, що там перебувають люди. Індивідуальні ліміти можуть бути визначені на основі попередніх даних про те, хто частіше користується тією чи іншою кімнатою. Додатково можна інтегрувати NFC або RFID для точнішої ідентифікації. Перевагами такого підходу є автоматизація процесу та можливість визначення не тільки присутності, але й кількості осіб.

В рамках даної інформаційної системи було обрано варіант із відстеженням через смартфон, який є найбільш поширеним пристроєм у світі та який більшість людей носять із собою майже двадцять чотири години на добу. З цією метою пропонується підхід, що нагадує технологію у стільниковому зв'язку перехід (handover), тобто процес переходу абонента від однієї базової станції до іншої.

В загальному розумінні, перехід – це процес перемикання точок доступу (ТД) на основі ідентифікації якості сигналу. Наприклад, якщо є дві точки доступу, і сигнал, до якого наразі підключений смартфон, слабкий, перехід переключає смартфон на ту точку доступу, яка має кращий сигнал. Перехід є важливим не лише для комфорту, а й для застосунків, які використовують обмін даними в режимі реального часу, наприклад, телефонні дзвінки, оскільки вони потребують швидкого обміну даними, і коли людина рухається, ручне перемикання є непрактичним.

Технологія переходу відіграє важливе значення у контексті даної інформаційної системи оптимізації енергоспоживання, оскільки вона дозволяє ідентифікувати декількох користувачів у режимі реального часу разом із описом того, де знаходиться ця людина, який прилад використовується, і скільки енергії вона споживає, незалежно від місця перебування.

У системі Розумного будинку може бути створена окрема мережа, яка складатиметься із мікроконтролерів із ESP32, що будуть імітувати точку доступу. Цей мікроконтролер буде використовуватися для ідентифікації конкретних кімнат у будинку за допомогою індикатора сили прийнятого сигналу

(RSSI) і визначатиме, скільки користувачів є в цих кімнатах та хто саме вони. Пошук проводитиметься шляхом картування сили сигналу, і цей сигнал буде обмежений територією кожної кімнати за допомогою мікроконтролера, який буде розміщений у центрі кімнати.

Це картування буде виконуватися в кожній кімнаті по черзі за допомогою короткої послідовності дій, які вимагатимуть від користувача послідовно стати: під мікроконтролером, у кутах кожної кімнати, між мікроконтролером і дверима виходу з кімнати, і нарешті, біля дверей виходу, щоб надати кожній кімнаті межі в dBm для системи управління енергією будинку.

Інформація буде відправлена до бази даних разом із ідентифікацією користувача за допомогою MAC-адреси смартфона, а також інформацією про кожну частину будинку.

Таким чином процес відстеження локації користувача у системі Розумного будинку передбачає:

– у кожній кімнаті будинку в центральній точці (або поблизу неї) буде розташований мікроконтролер, який буде виконувати роль точки доступу (ТД);

– кожне середовище, яке має ТД на основі мікроконтролера, буде відображене за рівнями dBm, присутніми на його межах, через програмне забезпечення для Android-пристроїв. Це відображення буде виконуватись користувачем просто та інтуїтивно;

– смартфон, що належить певному користувачу, знаходячись у певному середовищі, надішле Wi-Fi сканування, яке дозволить підключитися до найближчої точки доступу мікроконтролера з найсильнішим сигналом, якою в цьому випадку буде та, що знаходиться в середовищі, де перебуває мобільний пристрій. Таким чином, якщо мобільний пристрій підключений до ТД і знаходиться в межах попередньо встановлених dBm для цього середовища, інформаційна система визначить, що користувач знаходиться саме в цьому середовищі;

– коли користувач переміщується в іншу кімнату, сигнал dBm від точки доступу попередньої кімнати, до якого він був підключений, починає слабшати.

Інформаційна система аналізує це, визначаючи, що користувач знаходиться поза межами попередньо встановлених RSSI для цього середовища, ініціюючи його відключення від старої точки доступу та нове Wi-Fi сканування в пошуках точки доступу з сильнішим сигналом, що призводить до переходу між точками доступу. Таким чином, система ідентифікує нове місцезнаходження користувача.

Природні бар'єри будівлі, такі як кладка, гіпсокартон та інші, що сприяють поділу кімнат у будинку, також допомагають у позиціонуванні користувача всередині приміщення через RSSI та передачі ТД, оскільки інтенсивність Wi-Fi сигналу в межах аналізованого середовища значно сильніша, ніж коли користувач залишає це середовище.

Отже, коли користувач залишає приміщення, до якого він підключений через точку доступу, зниження сигналу дає змогу інформаційній системі точно визначити, що через слабку інтенсивність з'єднання з цією точкою доступу користувач більше не знаходиться в кімнаті.

Таким чином, ця реалізація має відмінності порівняно з іншими проєктами, які використовують датчики або лише MAC-адресу для ідентифікації користувача з мінімальними змінами в середовищі. З огляду на зростаючу потребу у рівномірному покритті Wi-Fi сигналом в будинках, а також збільшення кількості антен (точок доступу) по всій оселі, інтеграція точок доступу на базі мікроконтролерів стає значно простішою. Ці точки можуть функціонувати як розширювачі мережі та одночасно виконувати роль ідентифікаторів користувачів.

2.5 Висновки

У результаті дослідження процесу формування нечіткого логічного висновку було запропоновано підхід до оптимізації енергоспоживання в розумних будинках, що враховує не лише технічні аспекти, але й комфорт мешканців. Формування нових значень енергоспоживання для пристроїв у

Розумному будинку відбувається через аналіз надмірного споживання окремих приладів і розподіл цієї енергії між іншими пристроями, з урахуванням індексу комфорту. Індекс комфорту є важливим показником у системах управління енергією, оскільки дозволяє збалансувати економію енергії та забезпечення комфортних умов для мешканців. На основі цього показника та аналізу споживання, система визначає, скільки енергії потрібно зменшити в приладі, що споживає більше, ніж потрібно, і як розподілити її між іншими пристроями, підтримуючи оптимальний баланс між енергоспоживанням та комфортом у Розумному будинку.

Запропонована система інтегрує не лише можливості моніторингу й коригування енергоспоживання, але й надає користувачам можливість керування споживанням через пристрої користувача, наприклад мобільний додаток. Особлива увага приділяється індивідуальним лімітам енергоспоживання для кожного пристрою, які можуть бути розподілені між мешканцями, наприклад, якщо кілька людей перебувають в одній кімнаті. Це дозволяє користувачам слідкувати за енергоспоживанням в реальному часі та приймати обґрунтовані рішення для економії енергії. Таке рішення реалізується через розташування точок доступу у кожній кімнаті, у поєднанні із залученням технології перемикання (handover).

3 ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

3.1 Структура інформаційної системи оптимізації енергоспоживання в Розумному будинку

Пропонована структура інформаційної системи дозволяє контролювати джерела енергії (розподілена генерація) та автоматизацію побутових приладів через розумні пристрої, а також контролювати швидкість споживання, наприклад, шляхом встановлення правил для планування щоденних дій, а також управління енергоспоживанням побутової техніки в режимі реального часу.

Метою пропонованої структури інформаційної системи є забезпечення ефективного управління споживанням електроенергії у системі Розумного будинку шляхом моніторингу енергоспоживання кожного приладу та індивідуального користувача. Система надає користувачам персональні ліміти споживання, які автоматично коригуються, якщо кілька осіб знаходяться в одній кімнаті. Завдяки використанню мікроконтролерів і точок доступу, вона також дозволяє ідентифікувати та відстежувати користувачів на основі їхньої взаємодії з середовищем через NFC, Wi-Fi або інші технології. Це дозволяє ефективніше управляти енергоресурсами, інформувати користувачів про перевищення лімітів і надавати їм можливості для енергетичної оптимізації через мобільний додаток.

Подамо структуру запропонованої інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку у вигляді схеми, наведеної на рис. 3.1.

Вхідними даними для запропонованій інформаційної системи є профілі, що описують користувача, план будинку та список пристроїв у Розумному будинку.

Кожний профіль користувача визначає набір початкових даних, необхідних для прийняття рішення про оптимізацією енергоспоживання конкретного споживача. Зокрема кожний профіль користувача містить

інформацію про самого користувача (метадані), ліміт споживання електроенергії на місяць та пріоритетний список споживання.

Пріоритетний список споживання для кожного користувача поданий у формі {device – [переважні_інтервали_використання]}, наприклад:

Device1 [8-10, 14, 17-19]

Device2 [9]

Device3 [8-10, 14, 17-19]

У даному списку переважні інтервали використання визначають періоди найбільшої активності даного пристрою для заданого користувача. Даний список використовується у алгоритм підтримки заданого рівня енергоспоживання.

План будинку використовується для визначення місця перебування користувача, а список пристроїв необхідний для чіткого визначення набору обладнання, яке споживає електроенергію, яку потрібно оптимізувати.

Вихідними даними пропонованої інформаційної системи є прогнозне значення для оптимізації енергоспоживання. Дане значення представляє собою число в діапазоні від 0 до 1. Таким чином, після формування прогнозного значення здійснюється оповіщення користувача через мобільний додаток про рівень перевищення споживання електроенергії. Окрім того дане прогнозне значення використовується при формуванні нових значень споживання для кожного пристрою у Розумному будинку відповідно до профілю користувача, зокрема дане прогнозне значення виступає коефіцієнтом корекції K, відповідно до виразу 2.2.

Пропонована система використовує евристичні методи прийняття рішень, що базуються на аналізі даних, отриманих від різних пристроїв та користувачів. Завдяки цьому підхід до оптимізації енергоспоживання стає більш гнучким та масштабованим. Крім того, використання центрального вузла з сервісами публікації/підписки (IoT-сервіси) дозволяє ефективно керувати комунікацією між підсистемами та забезпечувати інтероперабельність на різних рівнях, що сприяє зручному інтегруванню нових пристроїв та розширенню системи без втрати її ефективності.

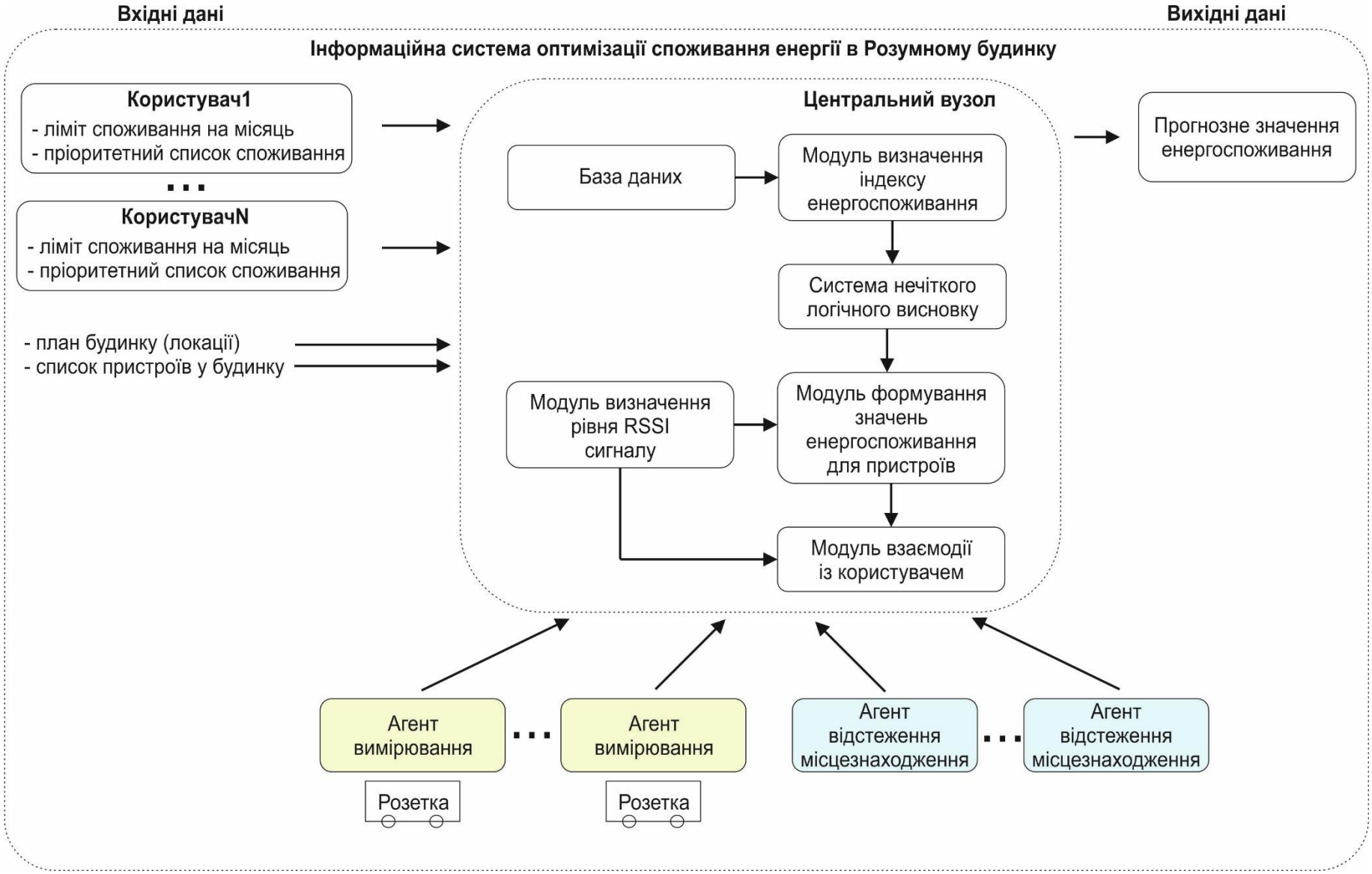


Рисунок 3.1 – Структура інформаційної системи оптимізації споживання енергії в Розумному будинку

Центральний вузол не лише забезпечує обмін повідомленнями між підсистемами, але й дозволяє інтегрувати рішення для подальшого розвитку системи. Такий підхід забезпечує можливість використання розумного управління, що дозволяє більш ефективно вимірювати та аналізувати споживання енергії кожного користувача.

З точки зору структури центрального вузла, то він складається із набору програмних модулів, зокрема:

- модуль визначення індексу енергоспоживання;
- система нечіткого логічного висновку;
- модуль формування значень енергоспоживання для пристроїв;
- модуль визначення RSSI сигналу;
- база даних;
- модуль взаємодії із користувачем.

Модуль визначення індексу енергоспоживання є планувальником, який із заданим інтервалом виконує зчитування значень про поточні параметри енергоспоживання пристроїв та виконує обчислення індексу споживаної потужності. У випадку якщо це значення більше одиниці здійснюється активація процесу оптимізації енергоспоживання для даного користувача та обрахунку нових значень очікуваної споживаної потужності для всіх пристроїв відповідно до пріоритетного списку споживання.

Система нечіткого логічного висновку використовується як засіб прийняття рішення всередині інформаційної системи. Дана СНЛВ отримує в якості вхідних параметрів індекс енергоспоживання (що розрахований модулем визначення індексу енергоспоживання), а також місячний відсоток споживання. Результатом роботи системи нечіткого логічного висновку є прогнозне значення енергоспоживання (наприклад, прогноз про перевищення на 20%, 40%, 60%, 80% або 100%). Варто відзначити, що результат роботи даної СНЛВ не є безпосереднім виходом пропонованої інформаційної системи. Для формування виходу або результату роботи інформаційної системи оптимізації енергоспоживання здійснюється обчислення нових

значень показників очікуваного енергоспоживання для кожного приладу, беручи до увагу отримане прогнозне значення енергоспоживання, отримане від системи нечіткого логічного висновку.

Модуль визначення RSSI сигналу призначений для оцінки місцезнаходження користувача у приміщенні Розумного будинку. Даний модуль, разом із результатом роботи системи нечіткого логічного висновку є основою для розрахунку нових показників енергоспоживання для пристроїв.

Модуль взаємодії із користувачем відповідальний за ретрансляцію отриманих значень показників енергоефективності на мобільні телефони користувачів.

Фізичним втіленням центрального вузла є комп'ютерна система із обов'язковою наявністю модуля Wi-Fi. Зокрема це може бути як звичайна стаціонарна комп'ютерна система, так і однопалатна комп'ютерна система, наприклад Raspberry Pi.

Важливо також зазначити, що система може бути розширена для виконання функцій каналу зв'язку між різними елементами потоку даних, що робить її більш гнучкою і придатною для розширення та інтеграції нових сервісів. Таким чином, запропонована система не тільки вирішує проблему управління енергоспоживанням на рівні окремих користувачів, але й підтримує масштабованість і інтероперабельність, дозволяючи розширювати її функціонал відповідно до потреб сучасного Розумного будинку.

У складі пропонованої інформаційної системи наявні множина вимірювальних вузлів, які виконують функцію перевірки даних електронного обладнання за допомогою датчиків напруги та струму для отримання даних про споживання, а також видобування інших даних, наприклад, точне визначення, яке електронне обладнання фактично підключено до конкретної розетки за допомогою NFC-технології.

У пропонованій структурі кожна розетка у системі Розумного будинку, а також кожен конектор електронного обладнання передбачають наявність NFC давача. Передбачається можливість для користувача вводити через

мобільний застосунок конкретні характеристики обладнання, зокрема, назву обладнання, модель, NFC тег та інші метадані.

NFC-тег, присутній у розетці, отримуватиме точні дані (марка і модель) кожного пристрою, підключеного до нього, і разом із даними про напругу та струм вони будуть передані за допомогою протоколу wi-fi до центрального вузла.

Ще однією особливістю пропонованої структури інформаційної системи оптимізації енергоспоживання є наявність функції відстеження місцезнаходження користувача у системі Розумного будинку. Дана функціональність реалізується через технологію передачі, яка враховує силу сигналу RSSI відносно точок доступу. Ця функція у пропонованій структурі інформаційної системи покладена на вузол відстеження місцезнаходження.

Сумісність усіх компонентів цієї структури, як апаратних, так і програмних, є важливою для того, щоб вони відповідали вимогам і могли бути налаштовані під конкретний сценарій чи інтерфейси зв'язку. Також необхідно, щоб протоколи зв'язку були сумісні з REST API. Завдяки цій сумісності та використанню відкритих стандартів, компоненти системи можуть легко налаштовуватися під потреби кінцевого користувача.

Таким чином основні характеристики пропонованої структури інформаційної системи оптимізації енергоспоживання включають:

– секційність: оскільки запропонована архітектура є відкритою, її функціональні можливості можуть бути гнучкими. Якщо зберігається початковий комунікаційний протокол, до системи можна легко додавати нові модулі управління, такі як управління освітленням чи опаленням, без необхідності кардинальних змін у базовій структурі.

– надійність: архітектура включає метод перевірки та безпеки даних на рівні прикладного шару мережі;

– адаптивність: конкретна реалізація може здійснюватись у специфікаціях, відмінних від тих, що перераховані в даній інформаційній системі;

– масштабованість: пропонована структура інформаційної системи дозволяє додавати нові модулі та розширювати управління мережею.

– доступність: за умови отримання попереднього дозволу та наявності доступу до Інтернету, немає обмежень щодо доступу користувачів до контрольованих приладів незалежно від їхнього місцезнаходження.

3.2 Структура вимірювального та відстежувального вузлів

Виходячи з обговорених раніше функцій, компоненти центрального вузла повинні мати можливість керувати і контролювати вимірювальні та відстежувальні вузли, а також забезпечувати встановлення додатків чи інших функцій (як проміжного програмного забезпечення, так і додаткових програм, створених з метою зберігання та моніторингу даних).

Після збору даних із датчиків, вимірювальний вузол передає їх через wi-fi до центрального вузла. Він не лише збирає інформацію, але й контролює роботу побутових приладів (увімкнення/вимкнення живлення). У цьому сценарії кожна розетка Розумного будинку буде обладнана вимірювальним вузлом, який зможе вимірювати споживання кожного підключеного до електромережі пристрою для підвищення ефективності вимірювань.

Окрім збереження інформації, такої як сила струму, напруга, споживання електроенергії користувачем, дані та час використання, центральний вузол також відіграє ключову роль у моніторингу та керуванні підключеними електричними пристроями. Уся інформація інкапсулюється та передається через wi-fi і перенаправляється до центрального вузла.

У пропонованій інформаційній системі оптимізації енергоспоживання вимірювальний вузол визначає тип підключеного пристрою через NFC-мітку, яка знаходиться на вилці електроприладу (рис. 3.2). Мітка зчитується NFC модулем, що знаходиться в смарт-розетці, а інформація про тип електричного обладнання передається мікроконтролеру.

Реєстрація NFC-міток відбувається через додаток, при цьому ID і інформація про прилади зберігаються в базі даних, щоб при використанні розумної розетки ідентифікувати, які прилади споживають електроенергію. Вузол також отримує дані про напругу і силу струму, зібрані датчиками, і обробляє їх у часових рамках для розрахунку споживання енергії. На рис. 3.2 показана структура та схема зв'язків вимірювального вузла.

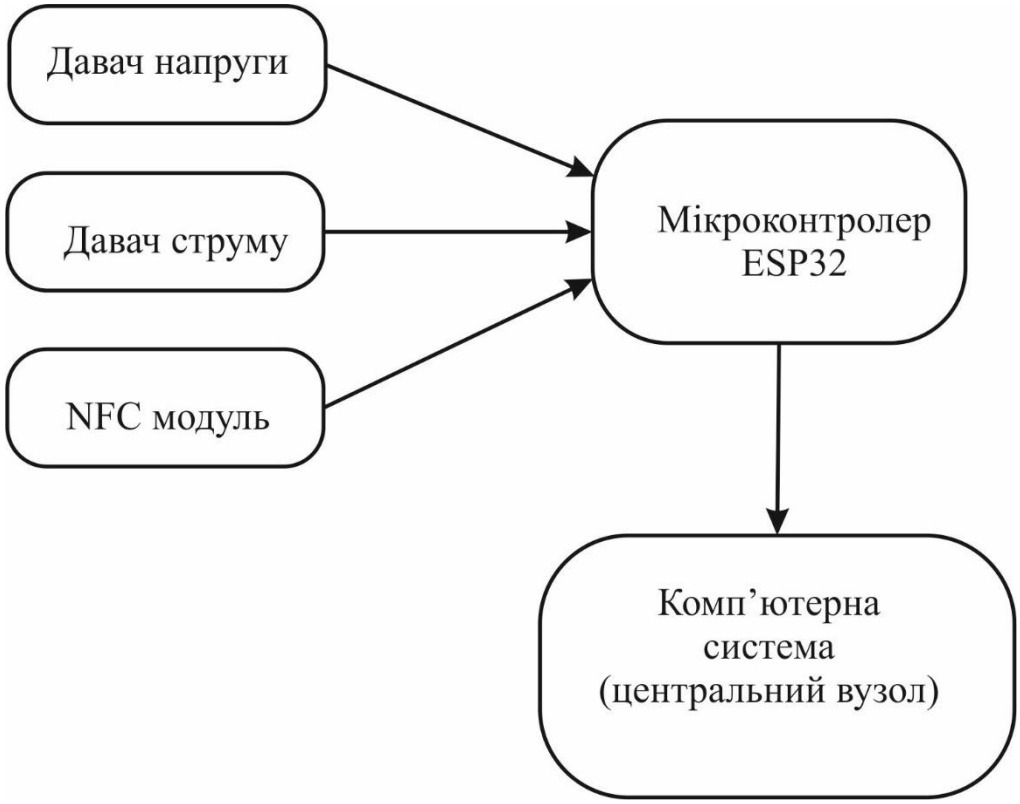


Рисунок 3.2 – Структура та схема зв'язків вимірювального вузла у пропонованій інформаційній системі оптимізації енергоспожитвання у Розумному будинку

У випадку відстеження в реальному часі процес надсилання інформації схожий на процес вимірювального вузла, і ця технологія передає інформацію до проміжного програмного забезпечення. Природа цієї інформації включає місцезнаходження користувача та потужність сигналу (дБм) того місця, де він/вона перебуває.

У випадку відстеження в реальному часі передача даних здійснюється аналогічно процесу вимірювального вузла. У такому випадку інформація із відстежувального вузла також передається на центральний вузол. Ця інформація містить дані про місцезнаходження користувача та силу сигналу (дБм) у точці його перебування.

Відстежувальний вузол представляє собою мікроконтролерну систему ESP32 [46].

Даний мікроконтролер виконує функцію перемикання (рис. 3.3). Фізично відстежувальні вузли розташовуються в центрі кожної кімнати будинку, щоб рівномірно розподілити сигнал. Дане обладнання буде спрямоване на забезпечення отримання сигналу RSSI в децибелах, а також відповідатиме за підключення користувача до інтернету як звичайна точка доступу. Користувач залишить відбиток сигналу, що є важливим для точного визначення його місцезнаходження, фіксуючи інформацію про потужність сигналу відповідно до відстані.

Рисунок 3.3 – Ядро відстежувального вузла: мікроконтролерна плата ESP32

3.3 Організація комунікаційного середовища інформаційної системи оптимізації енергоспоживання

Вся організація взаємодії в інформаційній системі базується на бездротовій технології передачі даних Wi-Fi. Таким чином ключовою складовою вимірювального, відстежувального вузлів, а також центрального вузла є комунікаційні інтерфейси.

У проєктованій структурі інформаційної системи можна виділити два комунікаційні інтерфейси – зовнішній та внутрішній (рис. 3.4).

Рисунок 3.4 – Комунікаційне середовище інформаційної системи оптимізації енергоспоживання

Внутрішній комунікаційний інтерфейс грає важливу роль у визначенні місця перебування користувача в Розумному будинку. Він використовує технологію RSSI (Received Signal Strength Indicator), для оцінки сили сигналу від точок доступу Wi-Fi. Це дозволяє системі визначити, в якій частині приміщення перебуває користувач, а також забезпечити адаптивність функцій управління в залежності від їхнього місця розташування.

Зовнішній комунікаційний інтерфейс допомагає користувачам керувати даними та зовнішнім середовищем через центральний вузол. Щоб забезпечити прозорість технологій доступу до мережі, їх потрібно піддавати перевіркам. Основною характеристикою при забезпеченні доступу до даних у гетерогенних доменах є комунікація, яка передбачає встановлення доступу для користувачів у реальному часі, незалежно від їхнього місця перебування, і є вирішальним фактором для функціонування всієї інформаційної системи.

Кожен пристрій в архітектурі потребує ідентифікаційного протоколу та своєї категорії (вимірювальний чи відстежувльний вузол, обладнання, тощо), щоб його можна було активувати системою управління інформаційної системи. Важливою частиною цього процесу є визначення правил і стратегій для оптимізації споживання енергії. Це допомагає зрозуміти, як користувачі споживають енергію, і дає можливість створити більш ефективні рішення для зменшення витрат. Таким чином, ідентифікаційний процес і оптимізація споживання енергії є ключовими для забезпечення ефективної роботи системи. В цьому контексті нечітка логіка є технікою прийняття рішень, яка необхідна для реалізації правил оптимізації, що можуть бути застосовані до розумних приладів або видобутку моделей споживання.

У процесі проектування інформаційної системи безпека є ключовим елементом, оскільки вона забезпечує належний захист даних і транзакцій. Система управління безпекою розробляє стандарти, які охоплюють сертифікацію, контроль доступу, відновлення після аварій та шифрування інформації. Це дозволяє запобігти несанкціонованому доступу та витоку даних. У контексті проєктованої інформаційної системи важливо

використовувати веб-сервіси на основі REST API. Для забезпечення безпеки під час реалізації рекомендується застосовувати надійні фреймворки, такі як наприклад OAuth2, які допомагають гарантувати, що інформація та доступ до неї залишаються захищеними.

Центральний вузол утворює проміжний рівень пропонованої архітектури, оскільки він об’єднує різні елементи системи і має доступ до бази даних. Завдяки цьому користувачі можуть отримувати інформацію про свої пристрої та їхнє споживання, а також здійснювати контроль за їхньою роботою. Функціонування даного шару керується проміжним програмним забезпеченням.

Центральний вузол виконує ключову роль у функціонуванні інформаційної системи забезпечуючи оптимізацію споживання електроенергії. Він дозволяє надсилати контрольні повідомлення, такі як віддалене вимкнення приладів, і надає огляд усіх компонентів системи. Окрім того даний вузол є об'єднуючим елементом, який має доступ до бази даних, що дозволяє користувачам отримувати інформацію про свої пристрої та контролювати їхнє споживання. Центральний вузол також забезпечує взаємодію між внутрішнім та зовнішнім середовищем кожного користувача, дозволяючи зберігати та управляти змінними, що впливають на споживання енергії. Це особливо важливо для розробки ефективних рішень у сфері енергоменеджменту, оскільки сприяє оптимізації використання ресурсів і підвищенню ефективності системи.

Важливим аспектом функціонування центрального вузла є його інтеграція з хмарними та веб-сервісами. Це дозволяє зберігати дані, аналізувати їх і використовувати для покращення управлінських рішень, що робить центральний вузол ключовим компонентом інформаційної системи, здатним до адаптації та масштабування. Слід зазначити, що на даний момент хмарна обробка даних у системі не реалізована, але це є потенційною можливістю для її подальшого розвитку. Оновлення системи може включати

розширення із залученням хмарних ресурсів для більш глибокого аналізу даних та підвищення ефективності управління енергоспоживанням.

Хоча центральний вузол системи працює автономно і може функціонувати без постійного підключення до зовнішніх мереж, він підтримує інтерфейси для інтеграції з іншими сервісами й застосунками. Ці інтерфейси забезпечують можливість інтеграції нових додатків і сервісів, що робить систему адаптивною до різних сценаріїв використання. Завдяки використанню REST API, користувачі отримують доступ до виконання широкого спектра управлінських та контролюючих функцій без необхідності безпосередньо втручатися у роботу центрального вузла. Це дозволяє спростити управління системою, а також забезпечує можливість її налаштування та масштабування залежно від потреб користувачів або змін у системі енергоспоживання.

У пропонованій архітектурі важливу роль відіграють вимірювальні вузли, які формують базовий, основний рівень системи. Ці вузли відповідають за збір даних від контрольованих пристроїв та датчиків, що є необхідним для отримання точної та актуальної інформації про споживання енергії та стан різних систем у межах розумного будинку. Вимірювальні вузли не тільки забезпечують захоплення ключових показників енергоспоживання, але й обробляють дані, що надходять із різних пристроїв, у тому числі через інтерфейси зворотного зв’язку, які можуть використовуватися для надсилання команд управління і контролю.

Крім цього, вимірювальні вузли займаються обробкою повідомлень, що стосуються управління та контролю. Ці повідомлення можуть надсилатися як від центрального вузла до пристроїв, так і від пристроїв до центрального вузла, створюючи двосторонній зв’язок для ефективної комунікації. Це дозволяє не лише збирати інформацію, але й здійснювати оперативний контроль над енергоспоживанням, приймати рішення про зміну режимів роботи приладів, або відправляти користувачам повідомлення про можливе перевищення встановлених лімітів споживання.

3.4 Метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку

Пропонована інформаційна система оптимізації енергоспоживання в Розумному будинку дозволяє відслідкувати перевищення електроенергії та сформувати нові значення енергоспоживання для кожного пристрою у Розумному будинку. Проте також важливо “дотримуватись” сформованих значень пристроями у будинку.

Таким чином у проєктованій інформаційній системі розроблено алгоритм підтримки заданого рівня енергоспоживання основна мета алгоритму полягає у тому, щоб споживання не перевищувало певний заздалегідь встановлений рівень для кожного пристрою у профілю користувача. Розглянемо його детальніше.

Після того, як розраховані та застосовані інформаційною системою значення енергоспоживання для кожного пристрою p_i здійснюється підтримка заданого рівня енергоспоживання, таким чином, щоб виконувалась рівність:

$$P_{nc} = \sum_{i=1}^{k} p_i, \tag{3.1}$$

де P_{nc} – новий рівень енергоспоживання

Відповідно до пріоритетного списку споживання користувача біля кожного пристрою визначено переважні інтервали використання. Тоді виконується наступна послідовність кроків:

1. визначається кількість годин, що займає кожний інтервал t_i;

2. отримується загальна кількість годин переважного використання цього пристрою:

$$T_{total} = \sum_{i=1}^{n} t_i \tag{3.1}$$

3. визначається розподіл споживання по інтервалах. Спочатку визначається енергоспоживання даного пристрою за годину:

$$p_{ti} = P_{nc}/T_{total} \quad (3.2)$$

Таким чином значення p_{ti} визначає скільки за одну годину має споживати цей пристрій. Далі для кожного інтервалу обчислюється добуток p_{ti} на кількість годин у цьому інтервалі. Це і буде споживана потужність для цього інтервалу.

Таким чином, якщо рівень споживання даного пристрою перевищить це значення, інформаційною системою автоматично здійснюється відключення даного пристрою. Якщо користувач вимкнув даний пристрій самостійно, але рівень енергоспоживання для даного пристрою на цьому інтервалі ще не досягнуто, то отримана різниця між очікуваним споживання і фактичним додається до наступного інтервалу. Як наслідок наступне увімкнення відбудеться у наступний інтервал.

Наприклад, нехай задано профіль користувача Розумного будинку та переважні інтервали використання для кожного пристрою. Нехай встановлено, що для device1 потрібно зменшити споживання до 1,2 кВт·год на день (P_{nc}), і переважні інтервали використання для цього пристрою складають – [8-10, 14, 17-19].

Визначимо кількість годин, що займає кожний інтервал t_i:

8:00 - 10:00 (2 години)

14:00 - 15:00 (1 година)

17:00 - 19:00 (2 години)

Визначимо загальну кількість годин переважного використання цього пристрою $T_{total} = 5$

Визначимо енергоспоживання за годину p_{ti} = 1,2 / 5= 0,24.

І нарешті обчислимо споживану потужність для кожного інтервалу:

8:00 - 10:00 - 2 * 0,24 = 0,48 кВт·год

14:00 - 15:00 - 1 * 0,24 = 0,24 кВт·год

17:00 - 19:00 - 2 * 0,24 = 0,48 кВт·год

Таким чином, якщо споживання пристрою за один з інтервалів (наприклад, у період 8:00-10:00) перевищить обчислене значення (у прикладі 0,48 кВт·год), пристрій буде відключено автоматично, шляхом подачі сигналу до розумної розетки.

У разі, якщо користувач самостійно вимикає пристрій раніше (до того, як він досягне межі споживання за інтервал), різниця між очікуваним споживанням та фактичним (невикористане енергоспоживання) буде перенесена на наступний інтервал. Це дозволяє збалансувати загальне споживання пристрою протягом доби, забезпечуючи дотримання встановленого добового ліміту.

У наступному інтервалі пристрій може використовувати накопичене невикористане споживання з попереднього періоду, але не може перевищувати загальний ліміт, встановлений для цього інтервалу. Якщо споживання знову перевищить заданий рівень, пристрій знову буде автоматично відключено розумною розеткою.

3.5 Висновки

Таким чином запропоновано структуру інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку. Основною особливістю цієї системи є її здатність не тільки відслідковувати фактичне споживання електроенергії в реальному часі, але й надавати рекомендації або автоматично коригувати використання енергії з урахуванням встановлених лімітів для кожного пристрою. Це дозволяє забезпечити баланс між ефективністю споживання та комфортом користувачів. Як підсумок можна виділити наступні особливості запропонованої інформаційної системи:

– автоматизоване керування споживанням: система забезпечує автоматичне відключення пристроїв у разі перевищення ліміту енергоспоживання за допомогою розумних розеток, які можуть вимірювати споживання і виконувати команди з відключення живлення. Це дає можливість уникати перевищення встановлених лімітів без втручання користувача, підвищуючи загальну ефективність використання електроенергії.

– використання профілів користувачів: для кожного користувача система дозволяє створювати індивідуальні профілі енергоспоживання з можливістю визначення пріоритетних інтервалів часу для кожного пристрою. Цей підхід дає змогу максимально ефективно розподілити споживання енергії, враховуючи часові рамки, коли певні пристрої є найбільш потрібними, і відповідно до цього коригувати їх використання у будинку.

– прогнозування і корекція споживання: використовуючи індекси споживання та інші показники, система здатна прогнозувати потенційне перевищення лімітів та на основі цього прогнозу вносити корективи у використання енергії. Застосування методів нечіткої логіки (СНЛВ) дозволяє обробляти складні взаємозалежності між різними факторами енергоспоживання і приймати оптимальні рішення в умовах невизначеності. Це робить систему адаптивною і здатною до самонавчання на основі історичних даних.

– можливість інтеграції нових пристроїв: система має масштабовану архітектуру, що дозволяє додавати нові пристрої та налаштовувати їх індивідуально. Це робить інформаційну систему придатною для майбутнього розширення, що важливо в умовах швидкого розвитку технологій Інтернету речей (IoT) і збільшення кількості підключених пристроїв у Розумних будинках.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОТОТИПУ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

4.1 Представлення та реалізація програмної частини

Прототип інформаційної системи енергоспоживання реалізований як багаторівнева система, в якій дані про місцезнаходження користувачів і вимірювання енергоспоживання передаються до центрального вузла через Wi-Fi. Центральний вузол збирає інформацію з усіх підключених до системи пристроїв, таких як датчики споживання електроенергії (наприклад, розумні розетки) і давачі відстеження місця перебування мешканців у будинку.

Дані, які передаються від пристроїв (наприклад, давачів місцезнаходження або датчиків енергоспоживання), надсилаються через мережу Wi-Fi до центрального вузла. Центральний вузол (сервер або хаб) обробляє їх і зберігає в базі даних. Цей процес контролюється за допомогою проміжного програмного забезпечення (middleware), яке відповідає за:

1. Збір даних: Проміжне ПЗ збирає всі дані, що надходять від різних вузлів системи – датчиків споживання, відстеження місцезнаходження та інших IoT-пристроїв.

2. Обробка даних: Проміжне ПЗ аналізує ці дані, що дозволяє визначати поточне споживання енергії, місцезнаходження користувачів у будинку, чи знаходяться користувачі разом в одній кімнаті, та інші метадані.

3. Передача даних: після аналізу дані передаються іншим частинам системи, зокрема мобільному додатку користувача – користувачі отримують оновлення в реальному часі про їхнє споживання електроенергії, попередження про перевищення лімітів та іншу службову інформацію.

Вся комунікація між вузлами та центральним сервером здійснюється через REST API. REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface) забезпечує стандартизований протокол для обміну даними між компонентами системи. Він використовує HTTP-запити для

надсилання та отримання інформації, що дозволяє інтегрувати різні компоненти, включно з пристроями IoT, базами даних і мобільними додатками.

Загальний алгоритм роботи прототипу інформаційної системи можна подати наступним чином:

– вимірювальні пристрої (розумні розетки або сенсори) надсилають дані про споживання електроенергії через HTTP POST-запити до сервера, де кожен запит містить дані про поточне споживання, ID пристрою та час вимірювання.

– центральний вузол приймає ці дані через API, зберігає їх у базі даних та виконує обробку за допомогою проміжного ПЗ. Якщо дані потрібно оновити в реальному часі в мобільному додатку користувача, API виконує HTTP-запит на сервер додатку з відповідними даними, і мобільний додаток отримує ці дані у вигляді відповіді.

– мобільні додатки використовують GET-запити до REST API, щоб отримувати інформацію про споживання енергії, стан пристроїв або отримувати повідомлення про перевищення лімітів.

Процедура, що розроблена на основі системи нечіткої логіки, включає застосування метаевристики для валідації. Система може повідомляти користувача про необхідність зниження споживання енергії на основі вхідних змінних (індикатора споживання та тарифів), після чого відбудеться обробка інформації, щоб забезпечити енергозбереження.

Ця реалізація є необхідною перед визначенням плану споживання кожного користувача, оскільки вона базується на інформації, зібраній від вузла вимірювання та вузла відстеження. Крім того, система нечіткої логіки повинна розрахувати споживання і сформувати результати, які можуть допомогти кожному користувачеві незалежно від пристрою та його місцезнаходження в будинку.

Індивідуальна норма споживання формується для кожного окремого користувача. У таблиці 4.1 наведено пріоритетні списки споживання, які представляють найбільш і найменш використовувані прилади кожного

користувача: найбільш використовувані знаходяться зверху, а найменш використовувані – внизу.

Таблиця 4.1 – Пріоритетні списки споживання для користувачів

	Користувач1	Користувач2
Пріоритетність	Пристрій	
1	Холодильник	Холодильник
2	Світильник	Світильник
4	Вентилятор	Вентилятор
5	Телевізор	Аудіосистема
6	Аудіосистема	Телевізор

Пріоритетні списки споживання слугуватимуть основою для оптимізації споживання, визначеного в профілях, оскільки питання про те, чи можна зменшити споживання кожного приладу, залежить від того, чи знаходиться він на вершині або внизу цього списку.

Пріоритетні списки споживання є вхідними даними для процесу формування загального пріоритетного списку споживання, який також містить усі прилади, що використовуються в будинку, і надає інформацію про те, які з них споживають найбільше або найменше енергії. Ця інформація із загального пріоритетного списку споживання буде доступною всім зареєстрованим користувачам системи, що дозволить оцінити загальний розподіл пристроїв відповідно до їх споживання. Окрім того, очевидно, що коли двоє або більше людей спільно використовують прилад в одній кімнаті, споживання буде розподілено між ними для кращого комфорту, розподілу та оптимізації споживання.

4.2 Індекс споживаної потужності (ІСП) та місячний відсоток споживання (МВС)

Прототип інформаційної системи для оптимізації енергоспоживання зберігає основні дані про поточне споживання електроенергії для кожного користувача. Ці дані фіксують споживання енергії кожного пристрою в реальному часі й використовуються для подальшого аналізу. Основною метою такої системи є забезпечення можливості оптимізації споживання електроенергії.

Для прийняття рішень про оптимізацію залучається система нечіткого логічного висновку (СНЛВ), яка допомагає визначити, коли потрібно вжити заходів для зменшення або корекції споживання. Поточні значення споживання електроенергії із заданим інтервалом оновлюються в базі даних, і система періодично здійснює розрахунок загальної потужності, спожитої кожним пристроєм за певний період.

На основі цих даних проводиться оцінка перевищення лімітів споживання енергії за допомогою СНЛВ. Система використовує дві вхідні змінні – Індекс Споживаної Потужності (ІСП) та Місячний Відсоток Споживання (МВС).

ІСП (Індекс Споживаної Потужності) – цей показник розраховується на основі поточних значень споживання електроенергії кожного пристрою для кожного користувача.

$$\text{ІСП} = \frac{\text{ПСП}}{\text{ПДМ} \cdot (\text{ІСС}/\text{КДМ})}$$

де, ПСП – поточна спожита потужність, кВт·год. Обчислюється як сума споживаної потужності кожного пристрою за поточний день до даного моменту; ПДМ – поточний день місяця; ІСС – історичне середнє споживання,

визначається як значення енергоспоживання за попередні дні, кВт·год; КДМ – кількість днів у місяці.

Місячний Відсоток Споживання (МВС) – цей показник відображає, який відсоток місячного ліміту споживання енергії вже було використано.

$$\text{МВС} = \frac{\text{СПМ}}{\text{МЛС}} \cdot 100\%$$

де СПМ – сума споживання за поточний місяць, що визначає щоденне споживання з першого дня місяця до поточного дня; МЛС – місячний ліміт споживання.

Таким чином, коли виникає запит на прийняття рішення щодо енергоспоживання, система використовує механізм нечіткого логічного висновку (СНЛВ), який базується на аналізі поточних даних та даних, збережених у базі даних. Цей механізм передбачає обчислення двох основних показників – Індекс Споживання Потужності (ІСП) та Споживання Протягом Місяця (СПМ). ІСП визначає рівень споживаної потужності в поточний момент часу для кожного пристрою, а СПМ відображає частку місячного ліміту енергоспоживання, яка вже використана користувачем або будинком загалом.

Система працює на основі заданого інтервалу часу, протягом якого вона регулярно аналізує дані щодо енергоспоживання всіх підключених пристроїв. Періодично здійснюється перевірка чи було перевищено встановлені ліміти енергоспоживання для користувача чи для будинку загалом. Цей процес дозволяє системі працювати в реальному часі та реагувати на зміни споживання досить швидко. Якщо система виявляє, що поточний рівень енергоспоживання перевищує встановлені ліміти, вона активує механізм прийняття рішення через СНЛВ. Система на основі аналізу показників ІСП та СПМ приймає рішення про те, чи необхідно зменшити енергоспоживання певних пристроїв або змінити їхні режими роботи. Процес прийняття рішення системою нечіткого логічного висновку поданою на рис. 4.1.

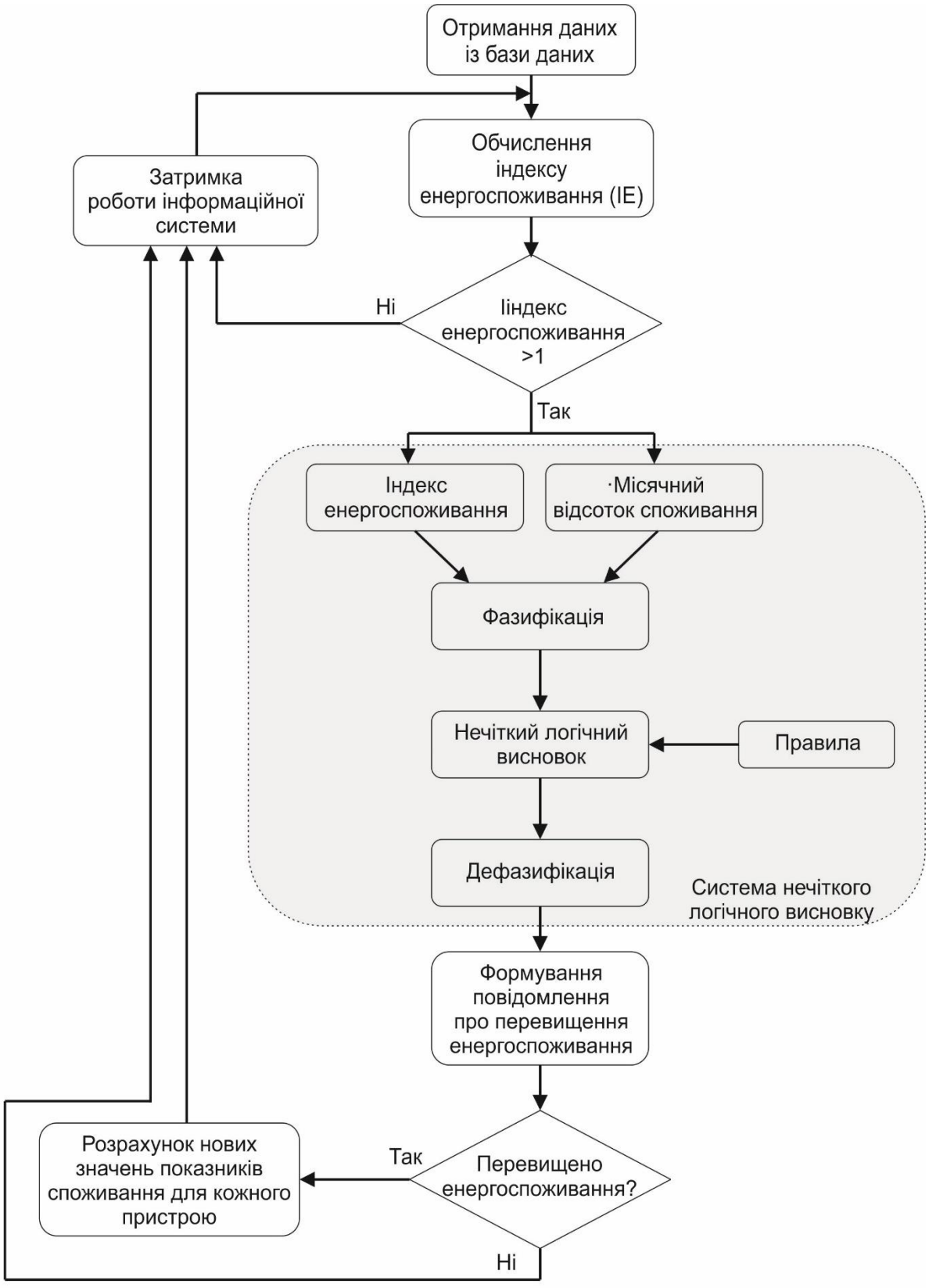


Рисунок 4.1 – Прийняття рішення системою нечіткого логічного висновку

4.3 Імплементація системи нечіткої логіки

Для імплементація системи нечіткої логіки було використано середовище Matlab. В якості алгоритму прийняття рішення обрано Мамдані. Пропонована СНЛВ має дві вхідні змінні – Індекс споживання та Місячний відсоток споживання. Вихідною змінною є Прогнозне значення (рис. 4.2).

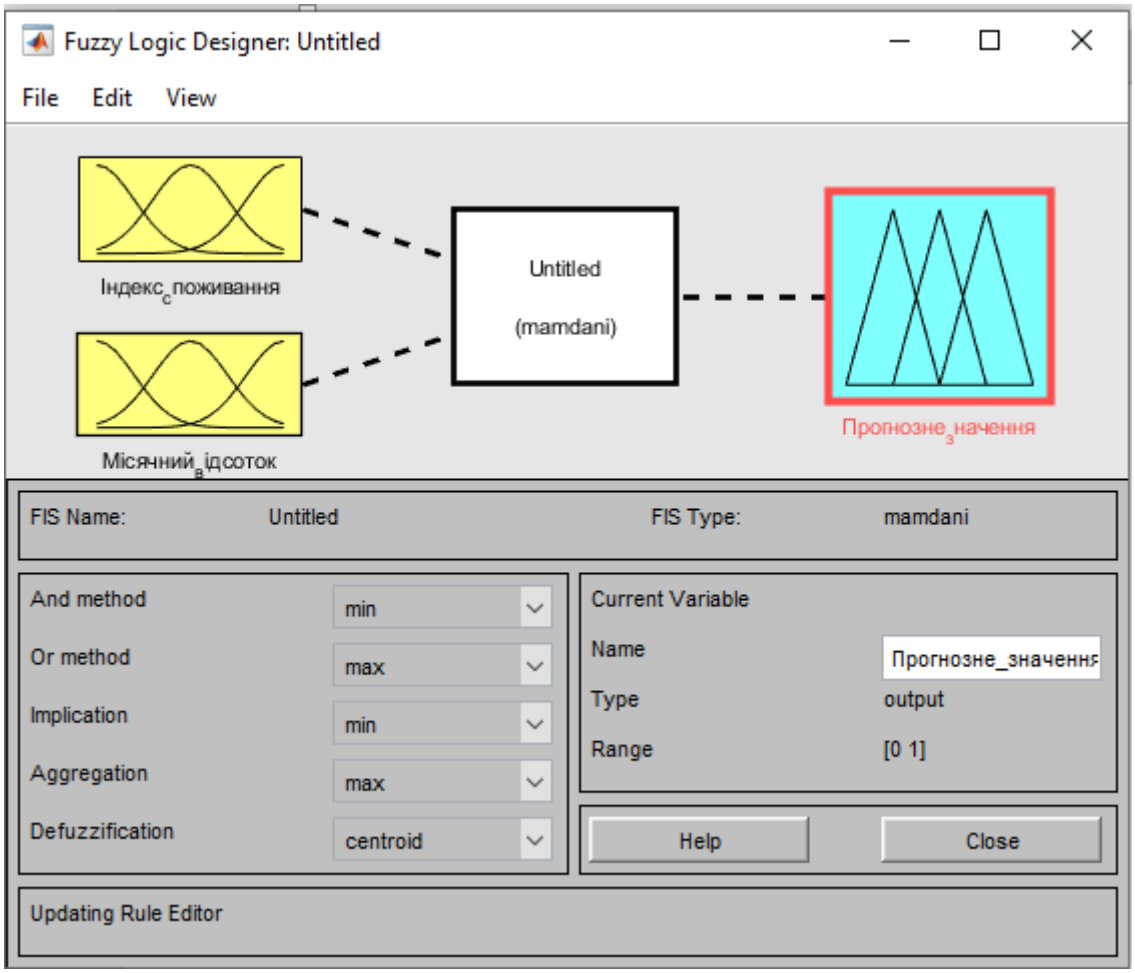
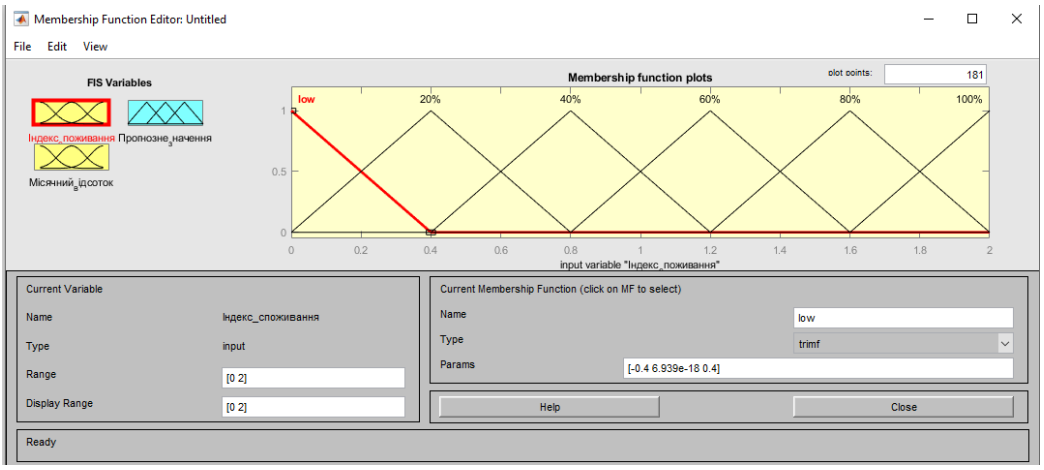
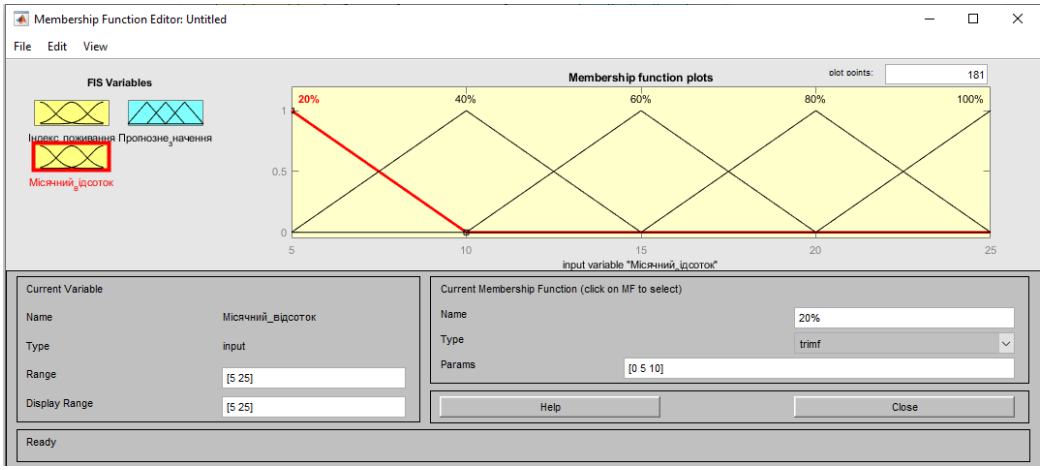


Рисунок 4.2 – Система нечіткого логічного висновку

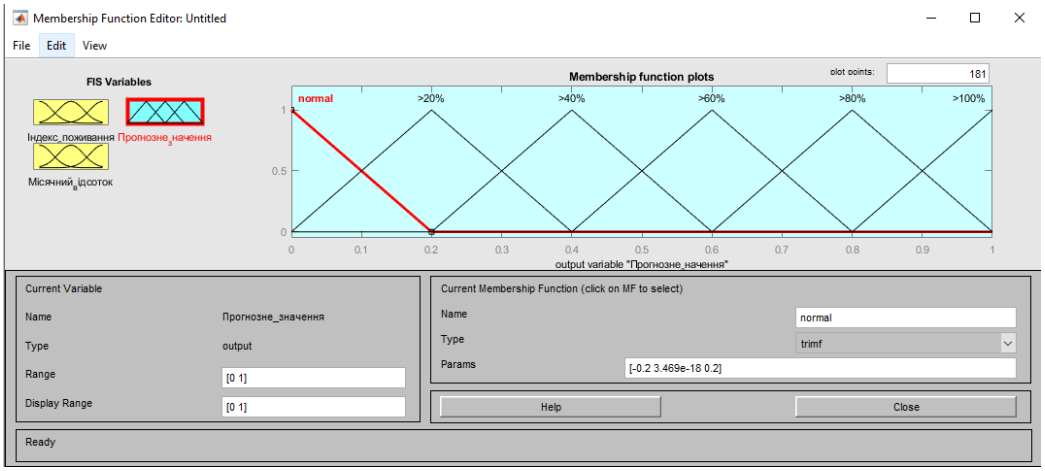
На рисунку 4.2 наведено параметри вхідних та вихідної змінних для СНЛВ. Для всіх змінних в якості функції приналежності було обрано трикутну. Детальні параметри цих змінних наведено на рис. 4.3.



а)



б)



в)

Рисунок 4.3 – Параметри вхідних (а, б) та вихідної (в) змінних для СНЛВ

На рис. 4.4 наведено графік, що відображає тривимірну поверхню, яка демонструє залежність прогнозного значення енергоспоживання (вісь Z) від

двох інших змінних: індексу споживання (вісь X) та місячного відсотка споживання (вісь Y). Як видно із графіка, його поверхня має складну форму, що свідчить про нелінійну залежність прогнозного значення від індексу споживання та місячного відсотка. Можна відзначити, що при збільшенні індексу споживання, як правило, прогнозне значення зростає. Однак, ця залежність не є лінійною і має локальні максимуми та мінімуми.

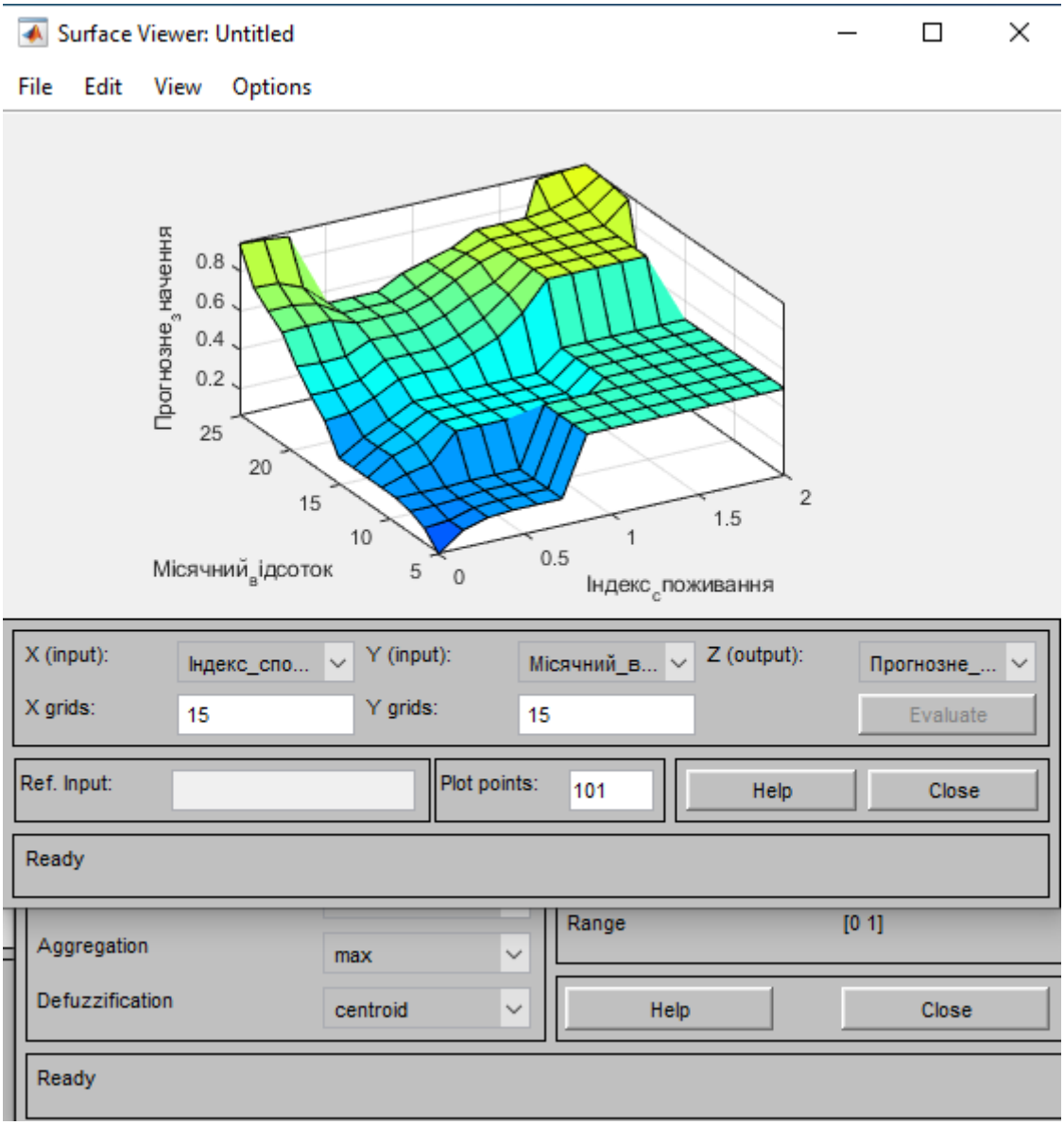


Рисунок 4.4 – Залежність прогнозного значення енергоспоживання від індексу споживання та місячного відсотка споживання

Таким чином, саме у таких ситуаціях традиційні методи, такі як прості конструкції if-else, можуть виявитися недостатньо ефективними. Оскільки нелінійність залежностей ускладнює формулювання чітких умов, а застосування системи нечіткої логіки є більш доречним підходом. СНЛВ дозволяє моделювати складні й нечіткі зв'язки між змінними, використовуючи нечіткі правила, які краще відображають реальні умови. Це дозволяє досягти більш точних і адаптивних прогнозів, враховуючи множинність факторів та їх взаємодію. Завдяки можливості роботи з нечіткими даними та застосуванням нечітких множин, СНЛВ ефективно обробляє цю складну залежність, що робить її гарним інструментом для моделювання енергоспоживання. Використання СНЛВ в даному випадку може суттєво покращити точність прогнозування, оскільки вона враховує варіації та невизначеність, які не можуть бути коректно представлені простими умовами.

На рис. 4.5 наведено множину правил системи нечіткої логіки для інформаційної системи оптимізації енергоспоживання. Можна відмітити три групи ліній:

– ліва група: представляє лінгвістичні змінні для вхідного параметра “Індекс споживання”. Кожна лінія відповідає одному лінгвістичному терму (наприклад, “низький”, “середній”, “високий”). Вертикальна червона лінія показує конкретне значення цього параметра для даного випадку (0.581).

– середня група: те саме для вхідного параметра “Місячний відсоток”.

– права група: представляє лінгвістичні змінні для вихідного параметра “Прогнозне значення”.

Висота кожної лінії в певній точці показує ступінь належності цього значення до відповідного лінгвістичного терму. Чим вище лінія, тим більше значення належить до цього терму. Кожне правило в системі пов'язує комбінації лінгвістичних термів для вхідних параметрів з лінгвістичними термами для вихідного параметра. На графіку це не показано явно, але можна припустити, що правила обчислюються на основі ступенів належності. На

основі правил і ступенів належності обчислюється вихідне значення. На графіку це показано синьою лінією в правій групі.

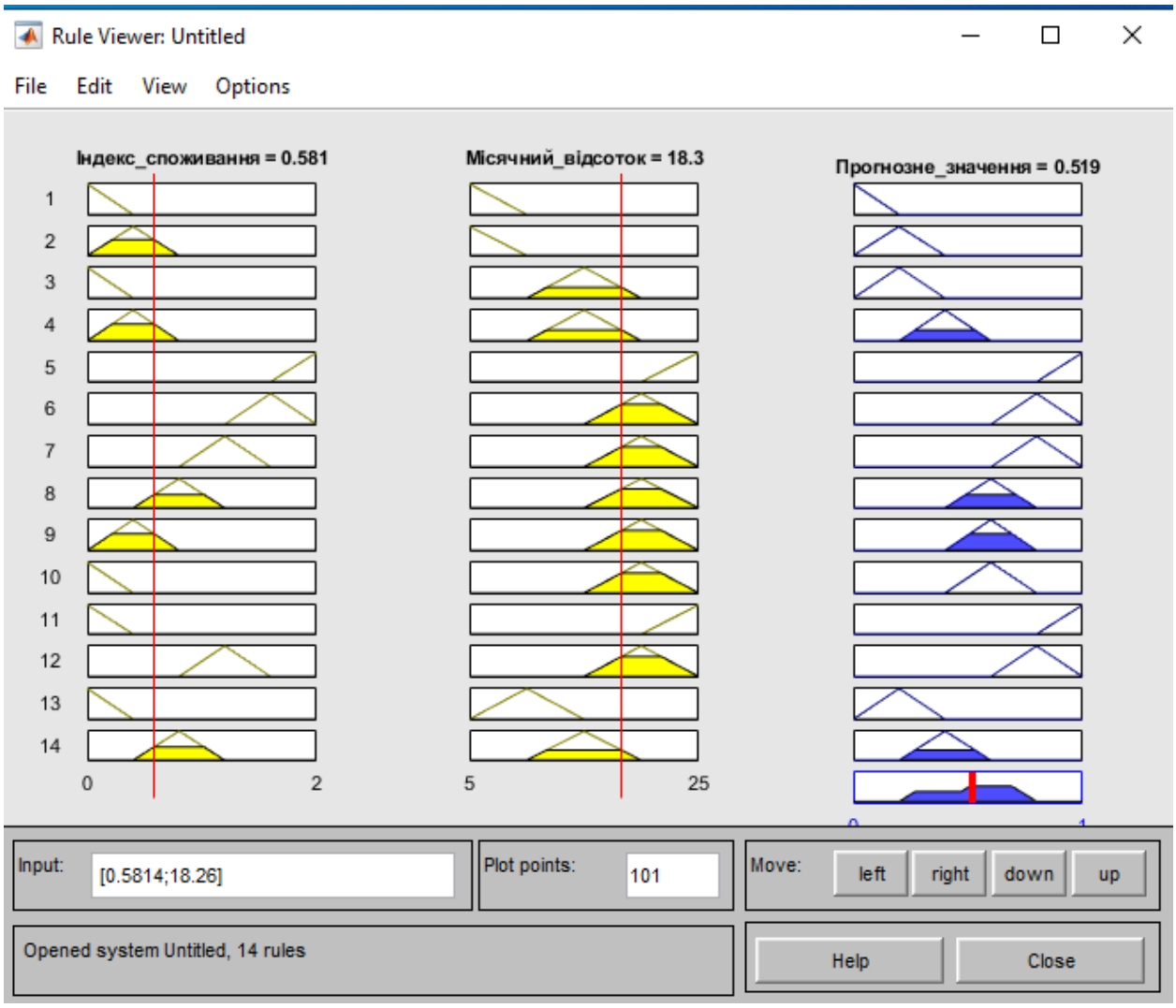


Рисунок 4.5 –Правила системи нечіткої логіки

4.4 Реалізація прототипу та оцінка ефективності інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку

Пропонована інформаційна система оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку була реалізована у вигляді прототипу, що дозволило провести дослідження ефективності запропонованого рішення. Процес функціонування інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку подано на рис. 4.6.

Основним призначенням даної інформаційної системи є оптимізація енергоспоживання в розумному будинку на основі аналізу сигналу Wi-Fi (RSSI) та динамічного моніторингу споживання енергії кожним користувачем. Спочатку користувач під'єднується до системи через мобільний пристрій, після чого відбувається аналіз покриття Wi-Fi і перевіряється, чи знаходиться рівень сигналу в межах прийнятного ліміту. Якщо сигнал слабкий, система автоматично перепідключає користувача до іншої точки доступу з кращим сигналом та фіксує місце знаходження користувача у будинку.

Якщо сигнал в нормі, система перевіряє, чи є користувач єдиним підключеним до цієї точки доступу. Якщо так, вона починає відслідковувати його енергоспоживання. У випадку, коли до тієї ж точки підключено кількох користувачів, система додає їх доступний час для використання різних приладів і проводить облік енергоспоживання для кожного користувача.

Моніторинг енергоспоживання проводиться постійно, і всі дані зберігаються в базі даних. Якщо система виявляє перевищення ліміту споживання енергії, користувачу надсилається попередження. Висновок про ступінь перевищення енергоспоживання робиться на основі системи нечіткого логічного висновку. Формування нових значень енергоспоживання для пристроїв здійснюється відповідно до виразів 2.2-2.4, а також пріоритетного списку споживання для користувачів. В цьому випадку користувачеві пропонується вибір сценарію оптимізації, що може включати, наприклад, пропорційне зменшення енергоспоживання для конкретних пристроїв.

Таким чином, система дозволяє не лише відстежувати енергоспоживання в реальному часі, але й активно впливати на нього, допомагаючи користувачам уникати перевищення лімітів за рахунок автоматичних налаштувань і оптимізації роботи приладів, особливо у випадках спільного користування.

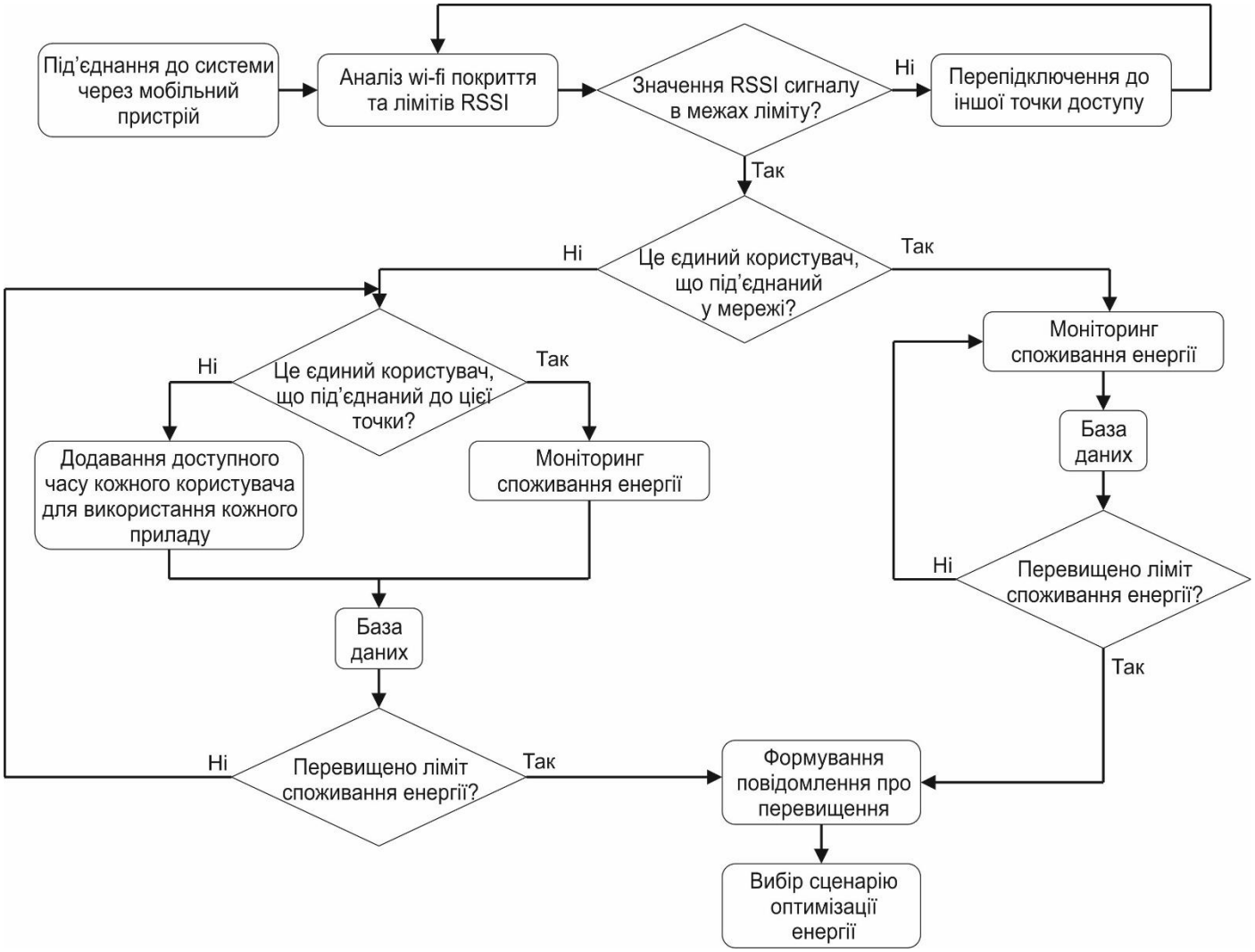


Рисунок 4.6 – Процес функціонування пропонованої інформаційної системи оптимізації споживання енергії в Розумному будинку

Для оцінки ефективності пропонованої інформаційної системи розроблено мобільний додаток, інтерфейсне вікно якого подано на рис. 4.7.

Була змодельована ситуація із перевищенням енергоспоживанням. В результаті інформаційна система надіслала сповіщення про перевищення використання електричної енергії. Після успішного застосування профілю 1 спостерігається зниження енергоспоживання кожного приладу пропорційно до його загального споживання, поки надмірне споживання електроенергії не було знижене відповідно до ліміту, що для даного користувача складає наприклад в 138 кВт·год. У прикладі, наведеному на малюнку 4,1, це можна спостерігати на прикладі світильника, який знизив своє споживання з 19 кВт·год до 17,4 кВт·год. Також наприклад вентилятор зменшив ліміт споживання із 16 кВт·год до 12,9 кВт·год. Інші пристрої теж зменшили споживання електроенергії.

Рисунок 4.7 – Інтерфейсне вікно мобільного додатка

На рис. 4.8 зображені поточні та оптимізовані значення енергоспоживання, що сформовані інформаційною системою оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

Рисунок 4.8 – Поточні та оптимізовані значення енергоспоживання

Незважаючи на те, що споживання холодильника відображено на графіку, воно не буде знижене, оскільки холодильник є життєво важливим для користувача. Тому його постійне використання необхідне, оскільки користувач залишає цей прилад увімкненим кожен день тижня. У результаті його режим роботи не аналізується, тобто наступного дня він продовжить споживати таку ж кількість енергії, навіть якщо відбулося надмірне споживання електроенергії та користувач використовує профіль для балансування енергоспоживання. Холодильник, як найважливіший прилад для користувача в цьому випадку, буде продовжувати працювати з регулярним споживанням, незалежно від сценарію.

Це і є метою профілю 1 – зробити пропорційне зменшення для кожного приладу та забезпечити збалансоване споживання, щоб надати користувачеві відповідний рівень комфорту.

Також було змодельовано ситуацію, коли два користувачі знаходяться в одній кімнаті, перший із рівнем сигналу 21 dBm, другий – 17 dBm. Система "handover" використовує точки доступу для визначення місця розташування користувачів у кімнаті. Кожен користувач має певний рівень сигналу (dBm), який визначається від точки доступу. Якщо рівні сигналу знаходяться в межах, заздалегідь встановлених для конкретного приміщення (наприклад, вітальні), то система може точно визначити, що ці користувачі знаходяться в цій кімнаті. У прикладі двоє користувачів ідентифікуються за різними рівнями сигналу (-21 dBm і -17 dBm), але обидва відносяться до тієї ж точки доступу, що дозволяє системі визначити їхнє місце знаходження в одній кімнаті.

В результаті було застосовано стратегію управління енергоспоживанням у розумному будинку, яка спрямована на підвищення ефективності використання енергії. Якщо один із користувачів наближається до ліміту споживання для певного приладу, наприклад, телевізора або кондиціонера, він може приєднатися до іншого користувача, який знаходиться в тій самій кімнаті та використовує той самий прилад. Дані зміни фіксуються в пріоритетних списках використання. Таким чином, замість того, щоб вимикати прилад, користувачі можуть спільно користуватися ним, що дозволяє знизити загальне споживання енергії та збільшити час використання для кожного з них. Це ефективний спосіб зменшити споживання енергії без значного впливу на комфорт користувачів.

4.5 Висновки

Запропоновано представлення та реалізацію апаратної та програмно частини для пропонованої інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку. Прототип інформаційної системи енергоспоживання реалізований як багаторівнева система, в якій дані про місцезнаходження користувачів і вимірювання енергоспоживання передаються до центрального вузла через Wi-Fi. Центральний вузол збирає

інформацію з усіх підключених до системи пристроїв, таких як датчики споживання електроенергії і давачі відстеження місця перебування мешканців у будинку. Дані, які передаються від пристроїв, надсилаються через мережу Wi-Fi до центрального вузла. Центральний вузол (сервер) обробляє їх і зберігає в базі даних.

При прийнятті рішення системою нечіткого логічного висновку, на основі збережених даних у базі даних, обчислюється два показники – місячний відсоток споживання та індекс споживаної потужності. Система працює за заданим інтервалом часу, протягом якого вона перевіряє, чи було перевищено встановлені ліміти споживання енергії. Якщо ліміти перевищено, СНЛВ допомагає прийняти рішення щодо необхідності зменшення енергоспоживання певних пристроїв або зміни режимів їхньої роботи.

При оцінці ефективності була змодельована ситуація із перевищенням енергоспоживанням. В результаті інформаційна система надіслала сповіщення про перевищення використання електричної енергії та запропонувала використати сценарій оптимізації енергоспоживання відповідно до прийнятого алгоритму.

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено інформаційну систему оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

У першому розділі проведено аналіз системи енергозабезпечення у Розумних будинках. Розглянуто промислові засоби вимірювання параметрів електроспоживання пристроїв, а також здійснено огляд відомих методів та систем оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку. Проведений огляд показав, що хоча існуючі рішення для управління енергоспоживанням у розумних будинках демонструють значний потенціал, все ще залишається потреба в розробці нових, більш ефективних інформаційних систем для оптимізації енергоспоживання.

У другому розділі запропоновано підхід до оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку на основі залучення системи нечіткого логічного висновку, що враховує не лише технічні аспекти, але й комфорт мешканців. Формування нових значень енергоспоживання для пристроїв у Розумному будинку відбувається через аналіз надмірного споживання окремих приладів і розподіл цієї енергії між іншими пристроями, з урахуванням індексу комфорту. Індекс комфорту є важливим показником у даній системі управління енергією, оскільки дозволяє збалансувати економію енергії та забезпечення комфортних умов для мешканців. На основі цього показника та аналізу споживання, система визначає, скільки енергії потрібно зменшити в приладі, що споживає більше, ніж потрібно, і як розподілити її між іншими пристроями, підтримуючи оптимальний баланс між енергоспоживанням та комфортом у Розумному будинку.

У третьому розділі запропоновано інформаційну систему для оптимізації енергоспоживання в розумному будинку, що забезпечує ефективний контроль і управління використанням електроенергії. Основна структура системи ґрунтується на аналізі даних про споживання енергії

користувачами та приладами, а також на технологіях моніторингу на основі Wi-Fi (RSSI) і мобільних пристроїв, а також системі нечіткого логічного висновку. Система дозволяє кожному користувачу встановлювати індивідуальні профілі з лімітами споживання, які можуть коригуватися в реальному часі, залежно від кількості підключених до точки доступу користувачів та споживаних ресурсів.

Розроблена інформаційна система оптимізації енергоспоживання в Розумному будинку має чітко визначену структуру, яка складається з декількох ключових модулів, що взаємодіють між собою. Основою системи є центральний вузол, який об’єднує всі підсистеми та забезпечує їхню ефективну роботу. Центральний вузол включає в себе модуль моніторингу енергоспоживання, який аналізує споживання кожного приладу та користувача, враховуючи їхні профілі. Кожен користувач має персональний профіль із встановленими лімітами споживання електроенергії та пріоритетами використання приладів. Інформація про користувачів і прилади зберігається в базі даних. Модуль моніторингу Wi-Fi (аналіз сигналу RSSI) виконує відстеження місцезнаходження користувачів і їх підключення до мережі. Він визначає, скільки людей знаходяться в зоні дії конкретної точки доступу, і якщо рівень сигналу RSSI не відповідає нормам, система може переключити користувача на іншу точку доступу для покращення якості зв'язку та коректного моніторингу енергії. Ключовою частиною системи є модуль визначення індексу енергоспоживання, який виконує постійний аналіз споживання енергії в реальному часі. Якщо індекс перевищує встановлені межі, система запускає процес оптимізації, використовуючи модуль нечіткого логічного висновку (СНЛВ). Цей модуль розраховує прогнозне значення рівня споживання, ґрунтуючись на поточних даних про енергоспоживання та місячний відсоток використаної електроенергії. Якщо виявляється, що користувач перевищує ліміт споживання, система генерує повідомлення про перевищення та пропонує оптимізаційні сценарії. Ці сценарії формуються на

основі даних про пріоритетний список споживання для кожного приладу і пропонують користувачеві варіанти для зниження споживання енергії.

У четвертому розділі запропоновано представлення та реалізацію апаратної та програмно частини у вигляді прототипу для пропонованої інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку. При оцінці ефективності була змодельована ситуація із перевищенням енергоспоживанням. В результаті інформаційна система надіслала сповіщення про перевищення використання електричної енергії та запропонувала використати сценарій оптимізації енергоспоживання відповідно до прийнятого алгоритму.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опублікована одна теза на Всеукраїнській науково–практичній конференції «Актуальні проблеми комп’ютерних наук АПКН–2024», за результатами якої опубліковано у збірнику конференції тезу доповіді «Інформаційна система оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Hooda D. S., Raich V. Fuzzy Logic Models and Fuzzy Control. An Introduction, *Alpha Science International Ltd*. Oxford, U.K., 2017, 408 P.

2. Wan S., Xu P., Wang K. Li S., Estimation of distributed thermal boundary based on fuzzy clustering of temperature observable points. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 147, Feb. 2020, Art. no. 118920.

3. Prajwal K. T. and Gupta V. S. N. V. S. Smart home energy management system using fuzzy logic for continuous power supply with economic util- isation of electrical energy. *in Proc. 2nd Int. Conf. Inventive Syst. Control (ICISC)*, Jan. 2018, P. 274–279.

4. Patel A. and Champaneria T. A. Fuzzy logic based algorithm for context awareness in IoT for smart home environment, *in Proc. IEEE Region 10 Conf. (TENCON)*, Nov. 2016, P. 1057-1060.

5. Khan K., Hossen T., Savasci A., Gauchia L. and Paudyal S., Design of a simplified hierarchical Bayesian network for residential energy storage degradation, *in Proc. IEEE Power Energy Soc. Gen. Meeting (PESGM)*, Aug. 2019, P. 1–5.

6. Shahjalal M., Hasan M. K., Islam M. M., Alam M. M., Ahmed M. F., and Jang Y. M., An overview of AI-enabled remote Smart- home moni- toring system using LoRa, *in Proc. Int. Conf. Artif. Intell. Inf. Com- mun. (ICAIIC)*, Feb. 2020, P. 510–513

7. Govindraj V., Sathiyanarayanan M., and Abubakar B., Customary homes to smart homes using Internet of Things (IoT) and mobile applica- tion, *in Proc. Int. Conf. Smart Technol. For Smart Nation (Smart- TechCon)*, Aug. 2017, P. 1059-1063.

8. Somani S., Solunke P., Oke S., Medhi P., and Laturkar P. P., IoT based smart security and home automation, *in Proc. 4th Int. Conf. Comput. Commun. Control Autom. (ICCUBEA)*, Aug. 2018, P. 1–4.

9. Rashid R. A., Chin L., Sarijari M. A., Sudirman R., and Ide T., Machine learning for smart energy monitoring of home appliances using IoT, *in Proc. 11th Int. Conf. Ubiquitous Future Netw. (ICUFN)*, Jul. 2019, P. 66-71.

10. Javed A., Larijani H., and Wixted A. Improving energy consump- tion of a commercial building with IoT and machine learning, *IT Prof.*, vol. 20, no. 5, 2018, P. 30-38.

11. Haidine A., Aqqal A., and Dahbi A., Performance evaluation of low-power wide area based on LoRa technology for smart metering, *in Proc. 6th Int. Conf. Wireless Netw. Mobile Commun. (WINCOM)*, Oct. 2018, P. 1–6.

12. Prayongpun N. and Sittakul V. Smart Plug for Household Appliances, *in Proc. Adv. Intell. Syst. Comput.*, 2017, P. 317–325.

13. Brad G.V. Uses and misuses of Bayes' rule and Bayesian classifiers in cybersecurity. *The 43-rd International Conference Applications of mathematics in engineering and economics: Proceedings*. Sozopol, 2017. P. 1-8.

14. Liu L., Liu Y., Wang L., Zomaya A., Hu S. Economical and balanced energy usage in the smart home infrastructure: A tutorial and new results. *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput*. 2015;3, P.556-570.

15. Al-Garadi M.A., Mohamed A., Al-Ali A., Du X., Guizani M. A survey of machine and deep learning methods for internet of things (iot) security. *arXiv preprint arXiv:1807*.11023. 2018.

16. Li H., Wan Z., He H. Real-Time Residential Demand Response. *IEEE Trans. Smart Grid.* 2020;11, P. 4144–4154.

17. Ullah I., Ahmad R., Kim D., Ullah I., Ahmad R., Kim D. A prediction mechanism of energy consumption in residential buildings using hidden markov model. *Energies*. 2018, 11.

18. Lu R., Hong S.H. Incentive-based demand response for smart grid with reinforcement learning and deep neural network. *Appl. Energy*. 2019;236, P. 937-949.

19. Guo Y., Pan M., and Fang Y. Optimal power management of residential customers in the smart grid. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2012. vol. 23, no. 9, P. 1593-1606.

20. Chen S., Shroff N. B., and Sinha P. Heterogeneous delay tolerant task scheduling and energy management in the smart grid with renewable energy. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2013. vol. 31, no. 7, P. 1258-1267.

21. Kumar P. T. V. B. N., Suryateja S., Naveen G., Singh M., and Kumar P. Smart home energy management with integration of PV and storage facilities providing grid support. *IEEE Power & Energy Society General Meeting*. July 2013. P. 1–5.

22. Pipattanasomporn M., Kuzlu M., and Rahman S. An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis. *IEEE Transactions on Smart Grid.* 2012. vol. 3, no. 4, P. 2166-2173.

23. Turing, Software Architecture Patterns: What Are the Types and Which Is the Best One for Your Project, URL: https://www.turing.com/blog/software-architecture-patterns-types/

24. Hassanien A. E., Elhoseny M. Cybersecurity and Secure Information Systems. Challenges and Solutions in Smart Environments, *Springer Cham*, 2019. P. 314.

25. Мищенко А. В. Нечітка модель оцінки ризиків інформаційної безпеки та підтримки рівня захищеності ERP-систем. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2020. № 1. С. 142-151.

26. Проектування інформаційних систем: Загальні питання теорії проектування ІС (конспект лекцій) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. С. Коваленко, Л. М. Добровська. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 192с.

27. Берко А. Ю. Системи баз даних та знань : підручник Львів : Магнолія 2006, 2015. Книга 1. Організація баз даних та знань. 440 с.

28. Шаховська Н. Б. Системи штучного інтелекту : навч. посібник, Львів : Львівська політехніка, 2018. 391 с.

29. Мулеса О.Ю. Інформаційні системи та реляційні бази даних. Навч.посібник. Електронне видання, 2018. 118 с.

30. Badar Q. H. and Anvari-Moghaddam A. Smart home energy management system – a review. *Advances in Building Energy Research*. 2020. vol. 16, no. 1, P. 1–26.

31. Tremblay O. and Dessaint L.-A. Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications. *World Electric Vehicle Journal*. 2009. vol. 3.

32. Kharrazi, Mishra Y., and Sreeram V. Discrete-event systems supervisory control for a custom power park. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019. vol. 10, no. 1, P. 483-492.

33. Fuzzy Logic, Introduction. Geeksforgeeks, URL: https://www.geeksforgeeks.org/fuzzy-logic-introduction/

34. What Is Fuzzy Logic?, MathWorks, URL:https://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html

35. fuzzy logic, Britannica, URL: https://www.britannica.com/science/fuzzy-logic

36. Sharifi R., Anvari-Moghaddam A., Hamid Fathi S., Guerrero J. M., and Vahidinasab V. An optimal market-oriented demand response model for price-responsive residential consumers. *Energy Efficiency*. 2019. vol. 12, no. 3, P. 803-815.

37. Emmanuel M. and Rayudu R. Evolution of dispatchable photovoltaic system integration with the electric power network for smart grid applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. vol. 67, P. 207-224.

38. Rahbari O., Omar N., Firouz et al. Y. A novel state of charge and capacity estimation technique for electric vehicles connected to a smart grid based on inverse theory and a metaheuristic algorithm. *Energy*. 2018. vol. 155, P. 1047-1058.

39. Appino R. R., González Ordiano J. Á., Mikut R., Faulwasser T., and Hagenmeyer V. On the use of probabilistic forecasts in scheduling of renewable energy sources coupled to storages. *Applied Energy*. 2018. vol. 210, P. 1207-1218.

40. Shahbazitabar M. and Abdi H. A novel priority-based stochastic unit commitment considering renewable energy sources and parking lot cooperation. *Energy*. 2018. vol. 161, P. 308-324.

41. Chaudhary P. and Rizwan M. Energy management supporting high penetration of solar photovoltaic generation for smart grid using solar forecasts and pumped hydro storage system. *Renewable Energy*. 2018. vol. 118, P. 928-946.

42. Wang Q., Lei Y., and Cao H. Wind power prediction based on nonlinear partial least square. *Mathematical Problem in Engineering*. 2018, 6829274.

43. Wang Y., Wang B., Chu C.-C., Pota H., and Gadh R. Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage. *Energy and Buildings*. 2016. vol. 116, P. 141-150.

44. Zheng Y., Zhao J., Song et al. Y. Optimal operation of battery energy storage system considering distribution system uncertainty. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 2018. vol. 9, no. 3, pp. 1051-1060.

45. A. Venzke, er. al. Convex relaxations of chance constrained AC optimal power flow. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2018. vol. 33, no. 3, P. 2829–2841.

46. ESP32, Arduino ua, URL: https://arduino.ua/cat122-esp8266?categoryID=122&show_all=yes

47. Андреєв В.Р., Продеус М.С., Нічепорук А.О. Інформаційна система оптимізації енергоспоживання в Розумному будинку. *Збірник наукових праць за матеріалами XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024»*. 2024, С. 47-50

48. Wu H., Shahidehpour M., and Al-Abdulwahab A. Hourly demand response in day-ahead scheduling for managing the variability of renewable energy. *IET Generation Transmission and Distribution*. 2013. vol. 7, no. 3, P. 226-234.

49. Liu X., Ivanescu L., Kang R., and Maier M. Real-time household load priority scheduling algorithm based on prediction of renewable source availability. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 2012. vol. 58, no. 2, P. 318–326.

50. Cecati C., Citro C., and Siano P. Combined operations of renewable energy systems and responsive demand in a smart grid. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 2011. vol. 2, no. 4.

51. Lee K.P. Optimizing Energy Consumption on Smart Home Task Scheduling using Particle Swarm Optimization, *Procedia Computer Science*, Vol. 220, 2023, P. 195-201.

52. Seok H., Yoon J. Hybrid distribution stochastic addressing scheme for ZigBee/IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. *ETRI Journal*, Vol. 33(5), 2011, P. 704-711.

53. Phani C., Yang P., Nehorai A . A distributed algorithm of appliances scheduling for home energy management system. *IEEE Trans Smart Grid*, 5(1), 2014, P. 282–290.

54. Park H., Lee H. Ho. Smart WLAN discovery for power saving of dual-mode terminals, *ETRI Journal*, 35(6), 2013, P.1144-1147.

55. Ryu N, Jung J-Ho, Jeong Y. High-efficiency CMOS power amplifier using uneven bias for wireless LAN application. *ETRI Journal*, 2012, 34(6), P. 885-891.

56. Tejani D., et al. Energy conservation in a smart home. Digital Ecosystems and Technologies Conference (DEST), *Proceedings of the 5th IEEE International Conference*, 2011, P.241-246.

57. Zhang P., Li C., Bhatt N. Next-generation monitoring, analysis and control for the future smart control center. *IEEE Trans Smart Grid*, 1(2), 2010, P. 186–92.

58. Li C., Shi H., Cao Y., Wang J., Kuang Y., Tan Y. Comprehensive review of renewable energy curtailment and avoidance: a specific example in China. *Renew Sustain Energy Reviews*, Vol. 41, 2015, P.1067–1079.

59. Pipattanasomporn M., Kuzlu M., Rahman S. An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3), 2012б P. 2166-2173.

60. Jinsoo. H. et al. PLC-Based Photovoltaic System Management for Smart Home Energy Management System. *Proc. of the IEEE International Conference on Consumer Electronics*, Jan. 2014, Las Vegas, USA, P. 542-54.

61. Possible Ways of Reducing Energy Consumption in Smart City TEKTELIC_logo, By TEKTELICLast Updated: August 13, 2024, URL: https://tektelic.com/expertise/possible-ways-of-reducing-energy-consumption/.

62. The Rise of Smart Cities and the Role of Energy Software Development, Zartis, URL: https://www.zartis.com/smart-cities-and-energy-software-development/.

63. Gupta P. Introduction to smart cities and their potential, URL: https://fpgainsights.com/power-management/empowering-smart-cities-energy-management-for-sustainable-futures/.

64. The Issue of Energy Consumption in Smart Cities, URL: https://www.bbntimes.com/environment/the-issue-of-energy-consumption-in-smart-cities.

65. Helli S. S., Tanberk S. and Demir O., Forecasting Energy Consumption Using Deep Learning in Smart Cities, *2022 International Conference on Artificial Intelligence of Things (ICAIoT)*, Istanbul, Turkey, 2022, P. 1-6.

66. Amasyali K. and El-Gohary N.M., A review of data-driven building enegy consumption prediction studies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, 2018, P.1192-1205.

67. Bourdeau M., Zhai X. Q., Nefzaoui E., Guo X. and Chatellier P., Modeling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques, *Sustainable Cities and Society*, vol. 48, 2019, P. 101533.

68. Edwards R.E., New J. and Parker L.E., Predicting future hourly residential electrical consumption: a machine learning case study, *Energy and Buildings*, vol. 49, 2012, P. 591-603.

69. Li Q., Ren P. and Meng Q. Prediction model of annual energy consumption of residential buildings, *Int Conf Adv Energy Eng*, 2010, P. 223-226.

70. Turhan C., Kazanasmaz T., Uygun I.E., Ekmen K.E. and Akkurt G.G., Comparative study of a building energy performance software (KEP-IYTE-ESS) and ANN-based building heat load estimation, *Energy and Buildings*, 2014, vol. 85, P. 115-125.

71. Wang Q., Lei Y., and Cao H. Wind power prediction based on nonlinear partial least square. *Mathematical Problem in Engineering*. 2018, 6829274.

72. Wang Y., Wang B., Chu C.-C., Pota H., and Gadh R. Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage. *Energy and Buildings*. 2016. vol. 116, P. 141-150.

73. Brad G.V. Uses and misuses of Bayes' rule and Bayesian classifiers in cybersecurity. *The 43-rd International Conference Applications of mathematics in engineering and economics: Proceedings*. Sozopol, 2017. P. 1-8.

74. Liu L., Liu Y., Wang L., Zomaya A., Hu S. Economical and balanced energy usage in the smart home infrastructure: A tutorial and new results. *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput*. 2015;3, P.556-570.

75. Farzana S., et al. Multi-model prediction and simulation of residential building energy in urban areas of Chongqing South West China, *Energy and Buildings*, vol. 81, 2014, P. 161-169.

76. Badar Q. H. and Anvari-Moghaddam A. Smart home energy management system – a review. *Advances in Building Energy Research*. 2020. vol. 16, no. 1, P. 1–26.

ДОДАТОК А Копії наукових публікацій

УДК 004.052.3

Андреєв В.Р., Продеус М.С., Нічепорук А.О.

Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

Запропоновано структуру інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку метою якої є ефективного управління споживанням електроенергії у системі Розумного будинку шляхом моніторингу енергоспоживання кожного приладу та індивідуального користувача.

The structure of the energy consumption optimization information system in the Smart House is proposed, the purpose of which is to effectively manage electricity consumption in the Smart House system by monitoring the energy consumption of each device and individual user.

Інформаційна система оптимізації споживання енергії в розумному будинку є ключовим елементом сучасних енергоефективних рішень. Зі зростанням вартості енергоресурсів та вимог до екологічної відповідальності, питання раціонального використання енергії стає пріоритетним для багатьох домогосподарств та компаній. Розумні будинки, обладнані сенсорами, автоматичними системами керування та інтегрованими інформаційними платформами, забезпечують не лише комфорт і зручність, а й сприяють значному зменшенню енергетичних витрат.

Проведений огляд показав відомих методів [1-3], що хоча існуючі рішення для управління енергоспоживанням у розумних будинках демонструють значний потенціал, все ще залишається потреба в розробці нових, більш ефективних інформаційних систем для оптимізації енергоспоживання.

З цією метою запропоновано структуру інформаційної системи оптимізації енергоспоживання, яка дозволяє контролювати джерела енергії та автоматизацію побутових приладів через розумні пристрої, а також контролювати швидкість споживання, наприклад, шляхом встановлення правил для планування щоденних дій, а також управління енергоспоживанням побутової техніки в режимі реального часу.

Метою пропонованої структури інформаційної системи є забезпечення ефективного управління споживанням електроенергії у

системі Розумного будинку шляхом моніторингу енергоспоживання кожного приладу та індивідуального користувача. Система надає користувачам персональні ліміти споживання, які автоматично коригуються, якщо кілька осіб знаходяться в одній кімнаті. Завдяки використанню мікроконтролерів і точок доступу, вона також дозволяє ідентифікувати та відстежувати користувачів на основі їхньої взаємодії з середовищем через NFC. Це дозволяє ефективніше управляти енергоресурсами, інформувати користувачів про перевищення лімітів і надавати їм можливості для енергетичної оптимізації через мобільний додаток.

Подамо структуру запропонованої інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку у вигляді схеми, наведеної на рис. 1.

Вхідними даними для запропонованій інформаційної системи є профілі, що описують користувача, план будинку та список пристроїв у Розумному будинку.

Кожний профіль користувача визначає набір початкових даних, необхідних для прийняття рішення про оптимізацією енергоспоживання конкретного споживача. Зокрема кожний профіль користувача містить інформацію про самого користувача (метадані), ліміт споживання електроенергії на місяць та пріоритетний список споживання.

Пріоритетний список споживання для кожного користувача поданий у формі {device – [переважні_інтервали_використання]}.

У даному списку переважні інтервали використання визначають періоди найбільшої активності даного пристрою для заданого користувача. Даний список використовується у алгоритм підтримки заданого рівня енергоспоживання.

План будинку використовується для визначення місця перебування користувача, а список пристроїв необхідний для чіткого визначення набору обладнання, яке споживає електроенергію, яку потрібно оптимізувати.

Вихідними даними пропонованої інформаційної системи є прогнозне значення для оптимізації енергоспоживання. Дане значення представляє собою число в діапазоні від 0 до 1. Таким чином, після формування прогнозного значення здійснюється оповіщення користувача через мобільний додаток про рівень перевищення споживання електроенергії.

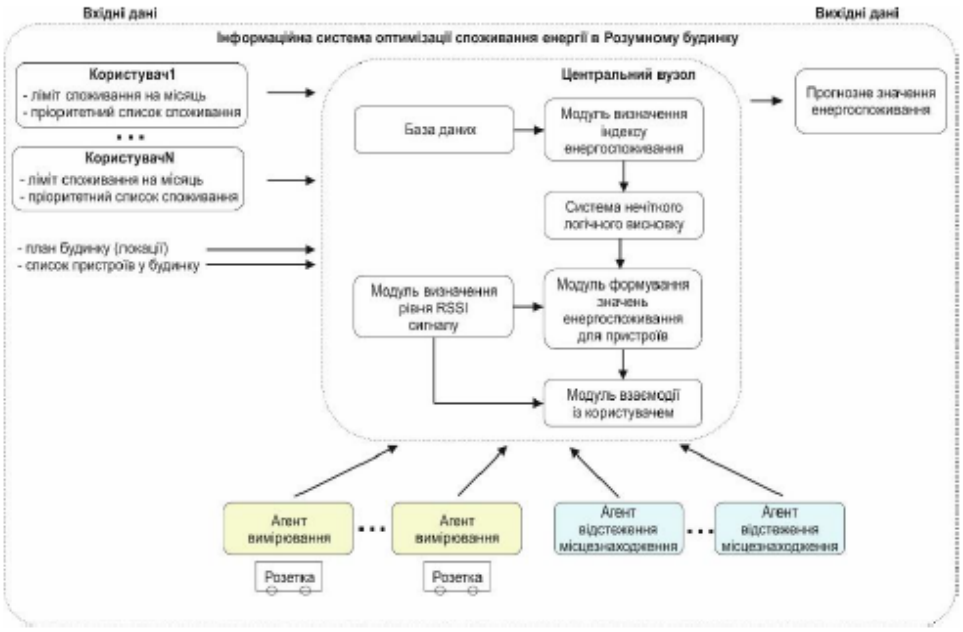


Рисунок 1 – Структура інформаційної системи оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку

У пропонованій структурі центральний вузол не лише забезпечує обмін повідомленнями між підсистемами, але й дозволяє інтегрувати рішення для подальшого розвитку системи. Такий підхід забезпечує можливість використання розумного управління, що дозволяє більш ефективно вимірювати та аналізувати споживання енергії кожного користувача.

З точки зору структури центрального вузла, то він складається із набору програмних модулів, зокрема: модуль визначення індексу енергоспоживання, система нечіткого логічного висновку, модуль формування значень енергоспоживання для пристроїв, модуль визначення RSSI сигналу, база даних, а також модуль взаємодії із користувачем.

Модуль визначення індексу енергоспоживання є планувальником, який із заданим інтервалом виконує зчитування значень про поточні параметри енергоспоживання пристроїв та виконує обчислення індексу споживаної потужності. У випадку якщо це значення більше одиниці здійснюється активація процесу оптимізації енергоспоживання для даного користувача та обрахунку нових значень очікуваної споживаної потужності для всіх пристроїв відповідно до пріоритетного списку споживання.

Система нечіткого логічного висновку використовується як засіб прийняття рішення всередині інформаційної системи. Дана СНЛВ отримує в якості вхідних параметрів індекс енергоспоживання (що розрахований модулем визначення індексу енергоспоживання), а також місячний відсоток споживання. Результатом роботи системи нечіткого логічного висновку є прогнозне значення енергоспоживання (наприклад, прогноз про перевищення на 20%, 40%, 60%, 80% або 100%). Варто відзначити, що результат роботи даної СНЛВ не є безпосереднім виходом пропонованої інформаційної системи. Для формування виходу або результату роботи інформаційної системи оптимізації енергоспоживання здійснюється обчислення нових значень показників очікуваного енергоспоживання для кожного приладу, беручи до уваги отримане прогнозне значення енергоспоживання, отримане від системи нечіткого логічного висновку.

Пропонована інформаційна система оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку була реалізована у вигляді прототипу (рис. 2), що дозволило провести дослідження ефективності запропонованого рішення.

Рисунок 2 – Інтерфейсне вікно мобільного додатка для прототипу інформаційної системи оптимізації енергоспоживання

Перелік посилань

1. Somani S., Solunke P., Oke S., Medhi P., and Laturkar P. P., IoT based smart security and home automation, in Proc. 4th Int. Conf. Comput. Commun. Control Autom. (ICCUBEA), Aug. 2018, P. 1–4.
2. Rashid R. A., Chin L., Sarijari M. A., Sudirman R., and Ide T., Machine learning for smart energy monitoring of home appliances using IoT, in Proc. 11th Int. Conf. Ubiquitous Future Netw. (ICUFN), Jul. 2019, P. 66-71.
3. Javed A., Larijani H., and Wixted A. Improving energy consump- tion of a commercial building with IoT and machine learning, IT Prof., vol. 20, no. 5, 2018, P. 30-38.

Дані про авторів (не для друку):

ПІБ автора	Телефон	Email
Андреєв Владислав Русланович	+380686463700	Andreev.vlad@gmail.com
Нічепорук Андрій Олександрович	+380964687613	andrey.nicheporuk@gmail.com
Продеус Максим Сергійович	+380977264253	mprodeus99@ukr.net

ДОДАТОК Б Презентація до захисту кваліфікаційної роботи

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

Виконав: Андреєв В.Р.
Науковий керівник к.т.н., Нічепорук А.О.

Хмельницький, 2024

Об’єкт, предмет, мета дослідження

Об’єктом дослідження є процес оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

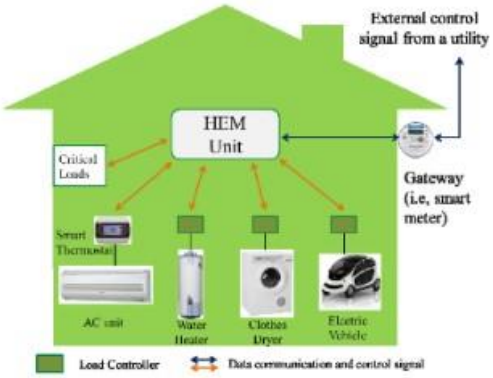
Предметом дослідження є методи та засоби інформаційної технології оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку.

Метою роботи є оптимізація споживанням електроенергії у системі Розумного будинку.

Наукова новизна

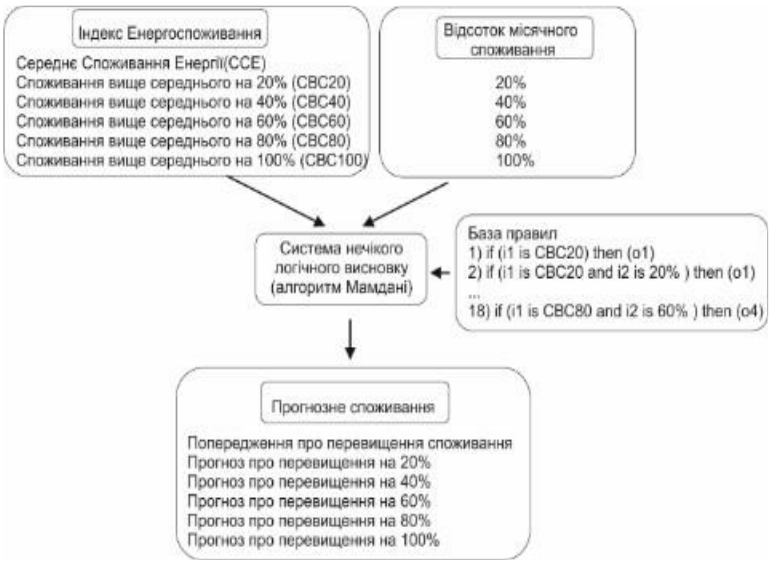
- **набув подальшого розвитку** метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку, який, на відміну від відомих, використовує індивідуальні профілі споживання для кожного пристрою з урахуванням пріоритетних інтервалів використання, що дозволило забезпечити дотримання лімітів енергоспоживання;
- **удосконалено** інформаційну систему оптимізації споживання енергії в Розумному будинку, яка на відмінну від відомих залучає систему нечіткого логічного висновку та інтегрує механізм розподілу енергоспоживання на основі пріоритетних інтервалів використання для кожного пристрою, що дозволило не лише виявляти перевищення споживання, але й автоматично коригувати енергоспоживання для забезпечення дотримання встановлених лімітів .

Визначення доменної області. Постановка задачі



- **Промислові пристрої** для контролю енергоспоживання: Наявні рішення дозволяють відстежувати споживання електроенергії в реальному часі.
- **Наукові підходи до оптимізації**: Розробляються алгоритми прогнозування та управління енергоспоживанням.
- **Недоліки існуючих систем**:
  - ❖ Недостатня точність прогнозування енергоспоживання.
  - ❖ Обмежені можливості інтеграції з різними джерелами енергії (традиційні та відновлювані).
  - ❖ Відсутність гнучкого управління, що ускладнює адаптацію до змінних умов або специфічних потреб користувачів.

Прийняття рішення в інформаційній системі
Система нечіткого логічного висновку



Формування нових значень енергоспоживання для пристроїв

Індекс комфорту

$$ІК = КГВО / КПВ, \quad (1)$$

де КГВО – це кількість годин використання обладнання p_i, КПВ – кількість годин перебування мешканця вдома

Даний показник буде використано для **оцінки та ранжування пріоритетного списку споживання** – відсортованого списку приладів для кожного користувача

Формування нових значень енергоспоживання для пристроїв

$$ПСЕЕО = (СЕО \times 100) / ЗСЕВП, \quad (2)$$

де, ПСЕЕО (показник споживання енергії екземпляром обладнанням) – це відсоток споживання електроенергії обладнанням, СЕО (споживання екземпляру обладнання) – споживання електроенергії даного обладнання в КВт·год; ЗСЕВП (загальне споживання енергії всіма пристроями Розумного будинку) – загальне споживання енергії житла в КВт·год.

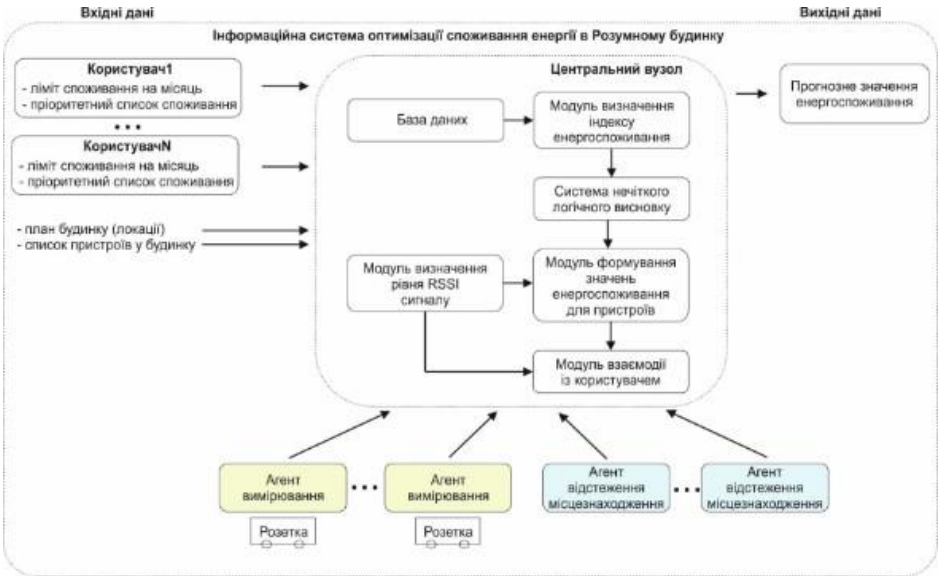
$$ЗСО=СО \times К \times ПСЕЕО/100, \quad (3)$$

де, СО – це надмірне споживання обладнання, тобто та кількість енергії, на яку цей прилад споживає більше, ніж потрібно в середньому. Іншими словами це різниця між фактичним споживанням і оптимальним споживанням. **К** – коефіцієнт корекції.

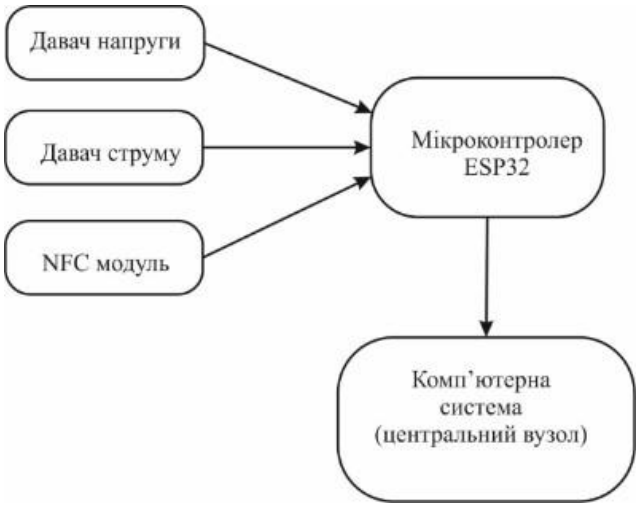
Нове споживання обладнання:

$$НСО = СЕО - ЗСО. \quad (4)$$

Структура інформаційної системи оптимізації енергоспоживання в Розумному будинку



Структура та схема зв'язків вимірювального вузла



Метод підтримки заданого рівня енергоспоживання в інформаційній системі Розумного будинку

Після того, як розраховані та застосовані інформаційною системою значення енергоспоживання для кожного пристрою здійснюється підтримка заданого рівня енергоспоживання, таким чином, щоб виконувалась рівність:

$$P_{nc} = \sum_{i=1}^{k} p_i, \quad (5)$$

де P_{nc} – новий рівень енергоспоживання

Відповідно до пріоритетного списку споживання користувача біля кожного пристрою визначено переважні інтервали використання. Тоді виконується наступна послідовність кроків:

- визначається кількість годин, що займає кожний інтервал t_i;
- отримується загальна кількість годин переважного використання цього пристрою:

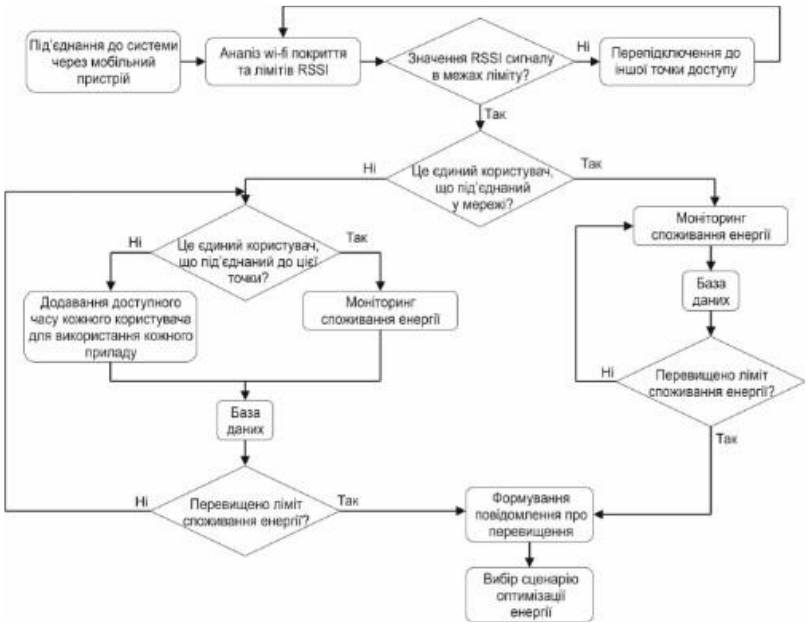
$$T_{total} = \sum_{i=1}^{n} t_i, \quad (6)$$

- визначається розподіл споживання по інтервалах. Спочатку визначається енергоспоживання даного пристрою за годину:

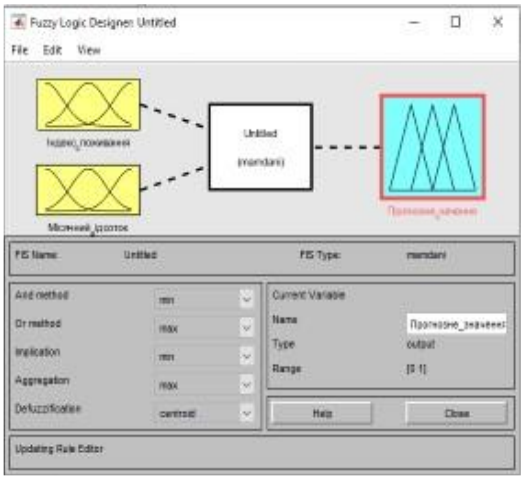
$$p_{ti} = P_{nc}/T_{total} \quad (7)$$

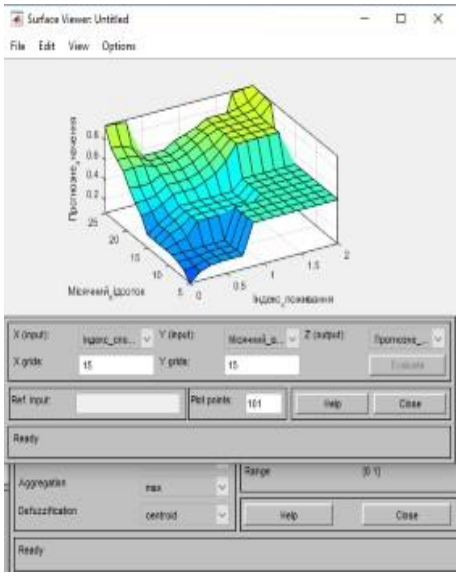
Далі для кожного інтервалу обчислюється добуток p_{ti} на кількість годин у цьому інтервалі. Це і буде споживана потужність для цього інтервалу.

Процес функціонування пропонованої інформаційної системи



Імплементація системи нечіткої логіки





Поточні та оптимізовані значення енергоспоживання

Інтерфейсневікно мобільного додатка

Поточні та оптимізовані значення енергоспоживання

Висновки

- Розроблена інформаційна система для оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку забезпечує контроль та управління використанням електроенергії в реальному часі, враховуючи потреби користувачів.
- Аналіз існуючих систем виявив, що вони мають недоліки, зокрема, низьку точність прогнозування та обмежені можливості інтеграції, що підтвердило необхідність нових підходів для оптимізації енергоспоживання.
- Запропонований метод оптимізації використовує систему нечіткого логічного висновку (СНЛВ), яка враховує як технічні аспекти, так і комфорт мешканців, підтримуючи баланс між економією енергії та зручністю.
- Інформаційна система дозволяє створювати індивідуальні профілі для кожного користувача з лімітами споживання, які адаптуються в реальному часі, зокрема на основі даних моніторингу за допомогою Wi-Fi (RSSI).
- Центральний вузол системи інтегрує всі підсистеми для ефективної роботи, забезпечуючи відстеження енергоспоживання кожного пристрою та моніторинг місцезнаходження користувачів через RSSI для коректного аналізу споживання.
- Прототип системи успішно продемонстрував ефективність у моделюванні сценаріїв перевищення ліміту енергоспоживання, надсилаючи повідомлення та пропонуючи сценарії оптимізації.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів перевірки роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами), на наявність текстових збігів:

Назва кваліфікаційної роботи: Інформаційна система оптимізації споживання енергії в Розумному будинку

Автор: Андреєв Владислав Русланович

Освітня програма: освітньо-професійна

Спеціальність: 126 – Інформаційні системи та технології

Науковий керівник: Нічепорук А.О., к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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

1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
2) окремі виявлені збіги є загальновживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів StrikePlagiarism, складає 13,3% і адресується до 40 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 2%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи _____ А.О. Нічепорук

Гарант ОП _____ О. О. Павлова

В.о. завідувача кафедри КІПС _____ О. О. Павлова

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Андреєв Владислав Русланович

Тема: Інформаційна система оптимізації споживання енергії в Розумному будинку

Спеціальність: 126 «Інформаційні системи та технології»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень – ; кількість сторінок записки 98

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано інформаційну систему оптимізації споживання енергії в Розумному будинку

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційна робота відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз відомих рішень для оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку. У другому розділі обґрунтовано використання системи нечіткого логічного висновку для оптимізації енергоспоживання, а також наведено процес формування нових значень енергоспоживання для пристроїв. У третьому розділі представлено інформаційну систему оптимізації енергоспоживання. У четвертому розділі було проведено експерименти для оцінки ефективності запропонованої інформаційно системи

4. Позитивні сторони роботи: Запропоновано інформаційну систему оптимізації енергоспоживання у Розумному будинку, запропоновано процес формування нових значень енергоспоживання для пристроїв у Розумному будинку, представлено прототип програмного забезпечення, що реалізує пропоноване рішення

5. Негативні сторони роботи: Основний недолік запропонованої ІС – потенційна втрата комфорту користувачів у разі агресивного втручання системи в

роботу пристроїв. Наприклад, автоматичне відключення пристроїв може викликати незручності, особливо якщо вони потрібні користувачеві в конкретний момент.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: –

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на достатньому рівні.

8. Інші зауваження: –

9. Оцінка дипломної роботи:

Розглянувши позитивні ,та негативні сторони представленої дипломної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «добре» 4,0 (С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Манзюк Є.А., професор кафедри комп'ютерних наук

"19" 12 2024р.

В.о. завідувачу кафедри КІІС
ДФ, доц. Павловій О.О.

Андреєва Владислава Руслановича
ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи ІСТм-23-1

ЗАЯВА

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

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-обчислювального комплексу StrikePlagiarism та/або програмно-технічного засобу Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення текстових збігів в роботах.

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

06 грудня 2024 року

Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

Автор: Андреєв В.Р.

Співавтор:

Назва: Андреєв_Інформаційна система оптимізації споживання енергії в Розумному будинку

Експерт: Нічепорук А.О.

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:13.3%

Коефіцієнт подібності 2:7.5%

Мікропробіли: 2

Заміна букв: 3

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2024-12-06 07:35:02.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

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

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

Обгрунтування:

2024-12-06 Доцент Андрій Нічепорук

Дата експерт

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилок в документах: 8%**

	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
ID: 155231 Назва: МКР Інформаційна система оптимізації споживання енергії в Розумному будинку Додано в БД: 2024-12-06 Автора: Андреєв В.Р. Керівники: Нічепорук А.О. Консультанти: Опоненти:	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	103666	750	3599 (3%)	49 (7%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми