

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформаціїКафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних системРівень вищої освіти перший (бакалаврський)Спеціальність 126-Інформаційні технології інтернету речей

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійнаОсвітня програма Інформаційні технології інтернету речей

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Головенцю Максиму Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Енергозбереження за допомогою технологій інтернету речейзатверджена наказом університету від 27 травня 2024 р. № 500 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела та електронні ресурси за темою кваліфікаційної роботи

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: Вступ. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІОТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ, ОПАЛЕННЯМ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯМ ПОВІТРЯ. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ HVAC НА БАЗІ ІОТ. ВИСНОВКИ. СПИСОК ДЖЕРЕЛ.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	ст. викл. Мерзлікін Анатолій Олександрович		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
	Вступ	07.05.24	Виконано
	Огляд технологій інтернету речей	12.05.24	Виконано
	Можливості використання IoT для підвищення ефективності використання енергоресурсів	16.05.24	Виконано
	Автоматизовані системи управління опалення, освітлення та кондиціонуванням повітря	25.05.24	Виконано
	Розробка архітектури моделі HVAC на базі IoT	29.05.24	Виконано
	Висновки	30.05.24	Виконано
	Оформлення записки	01.05.24	Виконано
	Подання на кафедрі	03.06.24	Виконано

Дата видачі завдання 6 травня 2024 р.

Студент _____ Головенець М. І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ PhD Мерзлікін А. О.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи містить 54 сторінок тексту, 8 рисунків, 2 таблиці, 8 формул, 16 джерел посилання, 2 додатки.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВЕНТИЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ, КЛІМАТКОНТРОЛЬ.

Предмет дослідження – Розробка архітектури моделі автоматизованої системи контролю повітря в приміщенні.

В атестаційній роботі проводиться оцінка ефективності впровадження IoT з точки зору енергозбереження та витрат на впровадження.

Наведено – розробка архітектури моделі автоматизованої системи контролю повітря в приміщенні.

ABSTRACT

Explanatory note of the attestation work: 54 pages, 8 drawings, 2 tables, 8 formulas, 16 sources, 2 appendices.

AUTOMATION, ENERGY EFFICIENCY, VENTILATION SYSTEMS,
CLIMATE CONTROL.

The subject of the research is development of the architecture of the model of the automated indoor air control system.

Evaluation of the effectiveness of IoT implementation in terms of energy saving and implementation costs.

The development of the architecture of the model of an automated indoor air control system is presented.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ІТНЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	10
1.1 Світові тенденції у розвитку ІоТ.....	11
1.2 Загрози та можливості Інтернету речей.....	12
2. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІОТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ	15
2.1 Алгоритм оптимізації рою частинок	18
2.2 Алгоритм оптимізації рою частинок з хаотичним впливом.....	19
2.3 Інтерфейс вибору вузла для передачі даних.....	21
2.4 Висновки та Пропозиції.....	23
3. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ, ОПАЛЕННЯМ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯМ ПОВІТРЯ.....	25
3.1 Аналіз пов`язаних робіт	26
3.2 Архітектура системи керування на основі ІоТ	29
3.2.1 Архітектура системи.....	29
3.2.2 Теплова модель однозонного середовища будівлі.....	31
3.3 Прогнозне керування за моделлю.....	32
4. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ НВАС НА БАЗІ ІОТ.....	35
4.1 Розробка алгоритмів системи.....	37
4.1.1 Розробка алгоритму автоматизації керування опаленням	37
4.1.2 Алгоритм перемикання теплових режимів.....	39
4.1.3 Алгоритм роботи системи вентиляції	41
ВИСНОВКИ.....	43
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	44
Додаток А.....	46
Додаток Б.....	53

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IoT - Internet of Things (Інтернет речей)

ЕС - Енергозбереження

ЕСС - Енергозберігаючі системи

Мережа IoT - Мережа Інтернету речей

ВС - Вентиляційна система

КВт - Кіловат

Гц - Герц

Вт - Ват

ДН - Днів

См - Сантиметр

Мпа - Мегапаскаль

Вт/год - Ват на годину

RFID - Radio Frequency Identification (ідентифікація за допомогою радіочастот)

Zigbee - Протокол бездротового зв'язку для мереж низької потужності

M2M - Machine to Machine (зв'язок машина-машина)

MPC - Media Player Classic.

PMV - Predicted mean Vote.

API - Application Programming Interface (інтерфейс програмування застосунків)

ОВіК - Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря

ПД регулятор – пристрій з функцією зворотного зв'язку, застосовується в автоматичних системах управління для підтримки заданих технічних характеристик.

МПК - модельно-прогнозоване керування.

ІКТ - Інформаційно-комунікаційні технології.

ВСТУП

Сучасний світ стикається з серйозною проблемою: ефективно використання енергетичних ресурсів. Стрімке зростання населення, розвиток промисловості та транспорту призвели до стрімкого збільшення світового споживання енергії, що спричинило різні проблеми, такі як виснаження природних ресурсів, забруднення навколишнього середовища та зміна клімату.

Використання традиційних джерел енергії, таких як викопне паливо, не тільки шкідливе для навколишнього середовища, але й має обмежені запаси. Тому пошук нових, екологічно чистих та економічно ефективних способів виробництва та використання енергії став одним з головних пріоритетів людства.

Дедалі більшої потреби набувають інноваційні підходи до енергозбереження та ефективного використання енергоресурсів. Одним з найбільш перспективних напрямків є використання технології Інтернету речей (IoT).

IoT має великий потенціал для підвищення енергоефективності різних систем, в тому числі систем вентиляції. За допомогою датчиків, детекторів і систем автоматизації IoT може здійснювати моніторинг і управління роботою вентиляційних систем і оптимізувати споживання енергії.

Метою даної роботи є дослідження потенціалу використання технології Інтернету речей для підвищення енергоефективності систем вентиляції та розробка системи автоматизації системи вентиляції на основі Інтернету речей.

Об'єктом дослідження є система вентиляції, розроблена за допомогою технології IoT.

Запровадженням розробленої системи автоматизації на основі IoT очікується наступне:

- зменшення витрат електроенергії на роботу системи вентиляції;

- покращення мікроклімату в приміщенні за рахунок більш точного контролю температури та вологості;
- продовження терміну служби обладнання системи вентиляції за рахунок оптимізації роботи;
- зменшення викидів парникових газів і тим самим зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані для розробки та впровадження нових енергоефективних систем вентиляції, які сприятимуть збереженню природних ресурсів та захисту навколишнього середовища.

В рамках проекту будуть виконані наступні роботи:

- аналіз світового досвіду та доступних IoT-технологій для підвищення енергоефективності;
- розробка системи автоматизації систем вентиляції на основі Інтернету речей;
- дослідження енергоефективності запропонованої системи;
- провести економічну оцінку впровадження системи;
- очікується, що результати цього дослідження допоможуть;
- підвищенню енергоефективності систем вентиляції;
- зменшенню споживання енергоресурсів;
- позитивному впливу на навколишнє середовище.

1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Інтернет речей (IoT) розвивається блискавично в останні роки: IoT - це система взаємопов'язаних пристроїв, підключених до Інтернету, які збирають, обробляють і передають дані. IoT є найбільш далекосяжним сектором з точки зору технологічного прогресу, але його величезний потенціал супроводжується значними викликами кібербезпеки. Це визначення передбачає, що "технологічний розвиток" охоплює багато різних сфер. Однак важливо зазначити, що термін "технологічний розвиток" часто використовується для опису загального прогресу в різних технологічних галузях.

Зростаюча кількість взаємопов'язаних пристроїв Інтернету речей викликає нові занепокоєння щодо конфіденційності та безпеки відправлених і отриманих даних, а також цілісності пристроїв Інтернету речей. Це пов'язано з тим, що багато пристроїв в Інтернету речей мають обмежені ресурси та можливості і є вразливими до кібератак. На відміну від простих інструментів, таких як молоток, пристрої Інтернету речей обробляють конфіденційну інформацію і часто використовують налаштування за замовчуванням, створюючи середовище, в якому кіберзлочинці можуть використовувати вразливості для здійснення атак, отримання доступу до конфіденційних даних і управління пристроями.

Забезпечення кібербезпеки при використанні Інтернету речей (IoT) вимагає розгляду наукових моделей і методів, які допоможуть запобігти кібератакам, що можуть завдати шкоди пристроям IoT, користувачам і окремим організаціям. Метою цього розділу є систематичний аналіз поточного стану впровадження Інтернету речей у сучасному світі та визначення критичних наслідків для кібербезпеки. Ця мета тісно пов'язана з раніше визначеними завданнями.

1.1 Світові тенденції у розвитку IoT

В епоху цифрової трансформації Інтернет речей (IoT) активно змінює те, як ми бачимо світ і взаємодіємо з ним. Ця технологія перетворює звичайні пристрої на розумні, дозволяючи збирати та обмінюватися даними в режимі реального часу. Згідно з прогнозами, кількість пристроїв, підключених до Інтернету речей, буде стрімко зростати в найближчі роки. Все більше галузей і компаній впроваджують Інтернет речей для підвищення ефективності та конкурентоспроможності.

Розумні міста стають осередком впровадження технології Інтернету речей. Міська інфраструктура, системи безпеки, управління дорожнім рухом та багато інших аспектів стають "розумними", роблячи міста більш комфортними та ефективними для їх мешканців. Поява мереж 5G дає новий поштовх для розвитку IoT. Високі швидкості та низька затримка дозволять підключити більше пристроїв і реалізувати більш складні додатки.

Уряди та міжнародні організації активно працюють над нормативно-правовими актами та стандартами Інтернету речей для забезпечення безпеки та інтероперабельності.

Швидкий розвиток і впровадження технологій Інтернету речей за останні кілька років перетворили безпеку Інтернету речей з відносно нового сегмента ринку на ключовий елемент цифрової трансформації. Очікується, що обсяг ринку безпеки Інтернету речей перевищить 5 мільярдів доларів США у 2022 році і збільшиться в чотири рази до кінця 2027 року. Збільшення кількості пристроїв Інтернету речей призвело до стрімкого зростання кількості та типів кібератак, а захист безпеки в масштабах підприємства може бути значно ослаблений через відсутність контрзаходів і неадекватну реалізацію політики. На рисунку 1.1 показано кругову діаграму, яка демонструє відношення кількості пристроїв IoT у 2030 році.



Рисунок 1.1 – Кількість пристроїв (в мільйонах), під'єднаних до Інтернету речей (IoT) у всьому світі у 2030 році по галузям

Очікується, що на споживчий сектор припадатиме більшість підключених пристроїв Інтернету речей (IoT)-до 2030 року у світі буде 17 мільярдів підключених пристроїв (Рисунок 1.1). Очікується, що кількість підключених пристроїв у споживчому секторі зросте більш ніж у тричі порівняно з 2019 роком. Таке вражаюче зростання демонструє, як Інтернет речей (IoT) стає невід'ємною частиною повсякденного життя і бізнес-середовища, пропонуючи безліч можливостей для зручності, ефективності та інновацій.

1.2 Загрози та можливості Інтернету речей

Інтернет речей завжди був складною сферою, орієнтованою на інновації та зручність. Однак зі збільшенням кількості підключених

пристроїв зростають і кіберзагрози, і при оцінці стану розгортання IoT неможна ігнорувати потенційні ризики, пов'язані з цією технологією.

У цьому розділі ми розглянемо десять найпоширеніших вразливостей Інтернету речей в умовах зростання кількості кібератак. У таблиці 1 показано рівень загрози, яку становлять ці вразливості: Оскільки IoT стає все більш поширеним, ні виробники, ні користувачі не зможуть реалізувати всі переваги цієї технології, якщо пристрої не матимуть суворих заходів безпеки. Ці пристрої вимагають від виробників вищого рівня знань з програмування, ніж традиційне програмне забезпечення. На жаль, безпека не є головним пріоритетом при створенні пристроїв Інтернету речей, оскільки більшість виробників поспішають доставити пристрої споживачам швидше, ніж їхні конкуренти. У рамках таблиці 1.1 продемонстровано сучасну ситуацію у питанні уязвимостей IoT на різних рівнях архітектури.

Таблиця 1.1 - Найресповсюдженіші уязвимості у Інтернеті речей на всіх рівнях архітектури

Питання безпеки	Програми або GUI layer	Бізнес-рівень	Рівень обробки даних	Мережевий рівень/передача даних	Сенсорний/перцептивний рівень
Слабкі, легкогадувані або зашифровані паролі	+				
Незахищені мережеві сервіси	+	+	+		
Недостатня автентифікація інтерфейсів	+	+			
Відсутність безпечних оновлень		+			
Використання небезпечних або застарілих компонентів			+	+	
Недостатній захист конфіденційності	+	+	+	+	+
Незахищена передача та зберігання даних	+	+	+	+	
Відсутність управління пристроями					+
Незахищені налаштування за замовчуванням	+	+		+	
Відсутність фізичного захисту	+	+	+	+	+

1. Слабкі, легкогадувані або зашифровані паролі: Пристрої Інтернету речей зі слабкими стандартними паролями вразливі до кібератак. Виробники повинні переконатися, що паролі встановлені належним чином, щоб запобігти атакам зі стандартними паролями.

2. Незахищені мережеві сервіси: вразливості в мережевих сервісах можуть забезпечити шлях для несанкціонованого доступу. Зловмисники можуть проникнути в систему через вразливі мережеві служби.

3. Недостатня автентифікація інтерфейсів: Відсутність належної автентифікації на інтерфейсі пристроїв IoT створює можливості для несанкціонованого доступу.

4. Відсутність безпечних оновлень: недостатня увага до оновлень пристроїв робить їх вразливими до відомих загроз.

5. Використання небезпечних або застарілих компонентів: використання застарілих або незахищених компонентів може створювати вразливості на різних рівнях системи.

6. Недостатній захист конфіденційності: Неналежне шифрування інформації може призвести до розголошення конфіденційних даних.

7. Незахищена передача та зберігання даних: недостатнє шифрування даних може призвести до їх витоку.

8. Відсутність управління пристроями: якщо не захистити всі підключені пристрої, система може стати вразливою до загроз.

9. Незахищені налаштування за замовчуванням: стандартні налаштування за замовчуванням можуть призвести до вразливостей у системі безпеки.

10. Відсутність фізичного захисту: недостатній фізичний захист може уможливити атаки через прямий доступ до пристрою.

2. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІОТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

На практиці обладнання та пристрої в розумному будинку можуть контролюватися і управлятися як об'єкти за допомогою технології ІоТ і веб- або мобільних додатків на основі цієї технології. Загалом, вузли ІоТ мають обмежені ресурси, такі як обчислювальна потужність та енергетичні ресурси; якщо вузол ІоТ працює в середовищі, де він не підключений безпосередньо до електромережі, йому потрібна батарея. Для вирішення цієї проблеми було проведено ряд досліджень, спрямованих на зменшення енергоспоживання в бездротових сенсорних мережах (БСМ) як технології, обмеженої батареями, а також розроблено низку технологій та підходів для підвищення ефективності батарей. БСМ можуть бути використані в різних галузях ІоТ-технологій і можуть бути використані як невід'ємна частина ІоТ-технологій для побудови ІоТ-платформ. Розробка різних алгоритмів маршрутизації, таких як можливість маршрутизації та жадібні алгоритми, може зменшити енергоспоживання сенсорних мереж. На додаток до розробки протоколів маршрутизації, методи кластеризації в сенсорних мережах є ще одним методом зниження енергоспоживання датчиків і продовження терміну служби мережі. Підхід кластеризації об'єктів є одним з найефективніших способів зниження енергоспоживання на етапі передачі інформації в ІоТ. При кластеризації в кожному кластері є вузол, призначений як майстер-кластер, який відповідає за організацію роботи мережі та збір даних з сенсорних вузлів. Крім того, головний кластер зменшує накладні витрати і перешкоди, усуваючи надлишкові і непотрібні пакети даних. Зменшення розміру та кількості вузлів у маршрутизації також зменшує складність маршрутизації. Крім того, кластерний підхід робить сенсорні мережі більш масштабованими та стабільними. Балансування навантаження, яке розподіляє обов'язки мережі між вузлами-учасниками в залежності від енергії та заряду батареї, є ще

однією перевагою процесу кластеризації. Основною метою цього дослідження є зменшення споживання енергії під час циклу передачі даних: Оскільки додатки Інтернету речей за своєю природою дуже чутливі до часу, більшість операцій зв'язку та обробки повинні бути завершені протягом обмеженого часу, щоб уникнути негативних наслідків. Тому надання підтримки в режимі реального часу у великих мережах IoT є однією з найважливіших і найскладніших тем для досліджень. Це дозволяє контакт-центрам покращити моніторинг агентів. Хмарні сервіси можуть надавати такі додатки, як соціальні мережі, аналіз даних про навколишнє середовище та аналіз мережі для моніторингу агентів для досвідчених користувачів. Хмарні обчислення відіграють важливу роль у забезпеченні високопродуктивних обчислень і підтримці різних платформ операційних систем.

Ахмед та ін. запропонували генетичний алгоритм як рішення для підвищення енергоефективності існуючих планів енергоспоживання в хмарі речей; було проведено масштабне чисельне моделювання для порівняння алгоритму ETCORA і запропонованою стратегією та демонстрації її корисності. Результати аналізу показують, що запропонована стратегія оптимізації енергоспоживання призводить до покращення загальної продуктивності. Ding та Wu[1] пропонують метод, заснований на техніці нечітких алгоритмів, для моделювання багатоцільової оптимізації втрат енергії. У контексті Інтернету речей було створено багатоцільове рівняння оптимізації декомпозиції обладнання та впроваджено нечіткий алгоритм для розв'язання одноточкової проблеми втрат енергії. Для того, щоб зменшити загальне споживання енергії під час декомпозиції обладнання в контексті Інтернету речей, алгоритм досліджує час бездіяльності та втрати енергії обладнання. Оптимізуючи модель споживання, Fanian та ін. [2] використовують алгоритм міграції жаби, щоб представити метод вибору нечітких вхідних параметрів у нечіткому багатокомпонентному протоколі кластеризації під назвою PS-SFLA. Метод складається з трьох основних етапів, і кожен етап представлений трьома варіантами для покрокового

оцінювання. На першій ітерації з огляду літератури виділяються і формулюються найпоширеніші і найрізноманітніші параметри; Кадрі і Куділ [3] представляють метод відображення завдань, чутливий до надійності. Метод використовує поєднання багатоцільової оптимізації та навчання з підкріпленням (RL). Він шукає оптимальний баланс між продуктивністю та надійністю і дозволяє уникнути постійних відмов обчислювальних елементів, які можуть виникати в однорідних 2D-мережах NoC. Запропоновано підхід багатоцільової оптимізації на основі біогеографії (MOBBO) для покращення оптимального розподілу обраних видів. З впровадженням нових хмарних підходів центри обробки даних перетворилися на віртуалізовані серверні мережі, що підтримуються апаратною віртуалізацією. Для задоволення зростаючих очікувань користувачів потрібні нові алгоритми управління ресурсами і планування в реальному часі. У бездротових мережах алгоритми кластерної маршрутизації є ефективним засобом підвищення продуктивності мережі за рахунок поділу сенсорних вузлів на окремі групи. [4].

Враховуючи важливість оптимізації енергоспоживання на підприємствах та в розумних будівлях, в цьому розділі пропонується модель переадресації даних для маршрутизації даних між вузлами IoT в розумних будівлях. Запропонований метод базується на інтелектуальній кластеризації об'єктів та оптимізації рою частинок (PSO). Метою запропонованого методу є оптимізація енергоспоживання в розумних будівлях, що працюють на основі Інтернету речей. [5]. Для підвищення енергоефективності мережі та запобігання передчасним відмовам мережі досліджено можливість вибору головного кластера на основі залишкової енергії сенсорних вузлів. У гібридному енергоефективному розподіленому протоколі кластеризації (HEED) для вибору головного кластера використовується загальний метод, заснований на вартості зв'язку та залишковій енергії. Оскільки процес кластеризації завершується після певної кількості ітерацій, не було достатньої кількості головних кластерів для покриття всього сенсорного поля [6]. Як наслідок, деякі сенсорні вузли уникають покриття

головним кластером і називаються ізольованими вузлами. Такі вузли споживають велику кількість енергії, постійно шукаючи головний кластер або спілкуючись безпосередньо з базовою станцією[7].

2.1 Алгоритм оптимізації рою частинок

Спочатку детально вводяться характеристики моделі системи, що є важливими для реалізації. Для запропонованого протоколу ми припускаємо наявність великої, густої мережі та бази даних, яка переважно є статичною. При розгортанні в мережі всі об'єкти є ідентичними за фізичними властивостями, потужністю енергопостачання та дальністю передачі. Кожен об'єкт мережі обізнаний зі своєю географічною позицією та базою даних. Операції здійснюються за допомогою алгоритму PSO [8].

Стандартна оптимізація рою частинок розпочинається з набору випадкових рішень і шукає оптимальний варіант, оновлюючи покоління. У оптимізації рою частинок існують два процеси навчання: когнітивний процес навчання, який базується на історії та минулому кожної частинки. Процес соціального навчання базується на історії та минулому всіх частинок і отримується в результаті обміну інформацією між усіма частинками у популяції. Частинки рухаються в багатовимірному просторі пошуку. Під час руху кожна частинка оновлює свою позицію відповідно до свого досвіду та досвіду сусідніх частинок, і після отримання інформації про свою найкращу позицію та найкращу позицію своїх сусідів вона оновлює свою позицію на основі математичної функції. Кожна частинка шукає свої координати в просторі вирішення проблеми, яке бере найкраще досягнене рішення до цього часу ($pbest$) як найкраще місце для частинки ($gbest$). Тим часом всі частинки рухаються до найкращих частинок. На кожній ітерації в оптимізації включаються зміни $gbest$ та $pbest$ у швидкості кожної частинки до місць. Математична модель руху частинок має вигляд :

$$|v[t + 1] = \omega v[t] + p_1 r_1(x_1[t] - x[t]) + p_2 r_2(x_2[t] - x[t]) \quad (2.1)$$

$$|x[t + 1] = x[t] + v[t + 1]$$

де параметри w , ρ_1 і ρ_2 є дійсними та позитивними вагами, які показують ефект інерції. Найкращий когнітивний компонент (найкраще розташування частинок) та найкращий соціальний компонент (найкраще розташування частинок) відомі при визначенні нової швидкості $v[t + 1]$ для частинки. Коефіцієнт " i " та $|R$ -вимірний випадковий вектор, в якому кожна компонента є випадковою величиною з рівномірним розподілом від нуля до одиниці, натуральне число r представляє розмірність простору пошуку проблеми. Змінні $v[t]$ та $x[t]$ є відповідно векторами швидкості та положення частинки в t -й ітерації. Числа $\chi_1[t]$ та $\chi_2[t]$ є компонентами найкращої когнітивної позиції та найкращої соціальної позиції відповідно.

2.2 Алгоритм оптимізації рою частинок з хаотичним впливом

Хаотичні алгоритми оптимізації рою частинок – це комбінація стандартних алгоритмів оптимізації рою частинок і відображення хаосу, що використовується для ініціалізації та еволюції алгоритмів оптимізації рою частинок. Хаос – це явище, пов'язане з великою кількістю нестійких оберտальних рухів у нелінійних системах. Іншими словами, хаос - це випадкова поведінка в нелінійній системі. Відображення хаосу- це дискретна в часі динамічна система, яка виражається наступним чином:

$$x_k = f(x_{k-1}), k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.2)$$

Хаотичні відображення можна використовувати для генерації послідовностей чисел. Така послідовність чисел називається хаотичною послідовністю і має властивості хаотичних карт, такі як випадковість, незалежність від часу і регулярність, тобто стани не повторюються в послідовності. Хаотичні послідовності розглядаються як випадкові

послідовності і використовуються як випадкові параметри в алгоритмах оптимізації хаотичного рою частинок. Таким чином, хаотична послідовність є підходящим інструментом для управління алгоритмом оптимізації рою частинок і запобігає зупинці алгоритму в локальній точці оптимуму в процесі пошуку і запобігає передчасній збіжності, що є однією з проблем стандартних алгоритмів. Для покращення алгоритмів оптимізації рою частинок було запропоновано багато карт хаосу. Алгоритм, запропонований у цьому розділі, використовує хаотичне логістичне зіставлення для генерації однорідних частинок з метою покращення якості формування початкової популяції та уникнення локальних оптимумів.

Після того, як початкова популяція сформована, алгоритм повинен оновити положення та швидкість частинок. У цій роботі для моделювання руху частинок використовуються методи дробових диференціалів. У загальному вигляді рівняння алгоритму оптимізації рою частинок дискретної форми мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} |v[t + 1] &= \omega v[t] + \sum_{i=1}^2 p_i r_i (x_i[t] - x[t]), \\ |x[t + 1] &= v[t] \end{aligned} \quad (2.3)$$

І стає неперервною формою вищенаведеного:

$$\begin{aligned} | \frac{d}{dt} v[t] &= \omega v[t] + \sum_{i=1}^2 p_i r_i (x_i[t] - x[t]), \\ | \frac{d}{dt} x[t] &= v[t] \end{aligned} \quad (2.4)$$

Через складність руху частинок і його залежність від попереднього положення, дробові похідні використовуються для кращого опису довготривалої історії руху частинок, оскільки частинки рухаються зигзагоподібно. Наведені вище рівняння записуються наступним чином з використанням моделі дробових похідних Капуто:

$$| {}^c D^{\alpha} v[t] = \omega v[t] + \sum_{i=1}^2 p_i r_i (x_i[t] - x[t]), \quad (2.5)$$

$$|{}^c D^\alpha x[t] = v[t]$$

Дискретизуючи дробову похідну Мортьє для $v(t)$, швидкість і положення частинки на основі дробової похідної Мортьє (α) можна виразити так

$$\begin{aligned} v(t + 1) &= (\alpha + h^\alpha \omega)v(t) + h^\alpha p_1 r_1(x_1(t) - x(t)) + h^\alpha p_2 r_2(x_2(t) - x(t)) \\ x(t + 1) &= \alpha x(t) + \frac{1}{h^\alpha} v(t + 1), \end{aligned} \quad (2.6)$$

Стійкість алгоритму оптимізації рою частинок була доведена з використанням дробових похідних факторіалу[10].

Важливим аспектом визначення оптимального значення порядку дробової похідної є те, що ця величина залежить від задачі оптимізації і має особливий сенс для кожної задачі.

2.3 Інтерфейс вибору вузла для передачі даних

Запропонований метод вибирає проміжний вузол з найкращими умовами серед усіх живих вузлів мережі, враховуючи критерії енергії та відстані. В якості проміжного вузла оптимально вибирати вузол, який не споживає енергію всієї мережі. Енергія, яка використовується для передачі даних на проміжний вузол, визначається шляхом обчислення співвідношення між зменшенням енергії вузла-передавача і рівнянням 2.6.

$$|E_{ijBS} = E_{Tx}(l, d(si, sj)) + E_{rx}(l) + E_{Tx}(l, d(sj, BS)) \quad (2.7)$$

$$| = l(E_{elec} + E_{fs}d^2(si, sj)) + lE_{elec} + l(E_{elec} + E_{fs}d^2(sj, BS))$$

$$| = 3lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS)) ,$$

Тут E_{ijBS} представляє енергію, яка використовується для передачі даних від вузла i до базової станції через проміжний вузол j . $d(si, sj)$ - відстань від вузла i до вузла j , а $d(si, BS)$ - відстань від вузла i до базової станції. Енергія, яка використовується для передачі інформації на базову станцію, отримується безпосередньо з рівняння 2.7.

$$E_{iBS} = E_{Tx}(l, d(si, BS)) + l(E_{elec} + E_{fs}d^2(si, BS)) \quad (2.8)$$

$$= lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, BS)),$$

Різниця між цими двома енерговитратами .

Під час вибору проміжних вузлів загальна енергія мережі повинна бути більшою за нуль, щоб не зменшуватися.

$$lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS)) - lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, , BS)) > 0, \quad (2.9)$$

$$| 2lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS) - d^2(si, , BS)) > 0$$

$$|(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS) - d^2(si, BS)) > -\left(\frac{2E_{elec}}{E_{fs}}\right),$$

Складність цих двоетапних процедур відлякує інженерів, які намагаються інтегрувати алгоритми пошуку у виробничі продукти. Хоча деякі методи доступні у вигляді вихідного коду, їх реалізація в реальних продуктах компанії може бути не відразу можливою. Порівняння аналізу складності методів оптимізації наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Порівняння складності методу оптимізації

	T_p	P	Cost
PSO	$O(1)$	$O(N)$	$O(N)$
CPSO	$O(N/2)$	$O(N)$	$O(N^2/2)$
FCPSO	$O(N^{(1-x)})$	$O(N^2)$	$O(N \log N)$

2.4 Висновки та Пропозиції

Структура споживання енергії в мережах Інтернету речей (IoT) залежить від апаратного забезпечення, обробки даних та комунікаційних інтерфейсів. У цій роботі пропонується петльові моделі споживання енергії та передачі інформації для мереж IoT, а також між базовими станціями та об'єктами. Найважливішими проблемами при маршрутизації IoT є енергоспоживання кожного вузла, порівнянність, відмовостійкість і динаміка мережі. Найважливіші виклики в маршрутизації IoT Для забезпечення ефективного зв'язку та передачі інформації якість вузлів необхідно оцінювати за допомогою відповідних критеріїв. У цьому дослідженні оцінюється енергія, що використовується для надсилання та отримання даних на вузлах, енергія, доступна на кожному вузлі, відстань між двома вузлами та швидкість передачі даних між вузлами.

Відповідно до мети цього дослідження - оптимізація енергоспоживання в мережах IoT-алгоритм FCPSO використовується для зменшення енергоспоживання під час передачі даних. Можливість використання алгоритму FCPSO для зменшення енергоспоживання в мережах IoT обумовлена здатністю алгоритму оптимізувати задачу шляхом врахування набору параметрів, які суттєво впливають на продуктивність задачі, що є метою багатьох оптимізаційних задач.

Виходячи з результатів застосування та подальших досліджень у цій галузі, можна зробити наступні рекомендації для подальшої роботи:

- практичне застосування запропонованого методу в інтелектуальних середовищах з використанням IoT, таких як розумні будівлі;
- використання запропонованого методу для багатоадресної маршрутизації може призвести до додаткових досліджень в цій області, наприклад, вибору маршруту;

- використання іншого еволюційного алгоритму та оцінка його результатів може збільшити доступне зниження накладних витрат і досягти більш ідеальних результатів;
- поєднання запропонованого методу з іншими алгоритмами, такими як алгоритми на основі дерев, і представлення його в області IoT.

3. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ, ОПАЛЕННЯМ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯМ ПОВІТРЯ

В останні роки підвищення енергоефективності є важливою метою для розробників державної енергетичної політики для сприяння відповідальному, економічному та сталому використанню енергії в управлінні ресурсами та інфраструктурою, транспортом і та логістикою, виробництві та промисловості, а також у всіх видах діяльності, пов'язаних з життям людини. Мета полягає в наступному. Значна частина споживаної енергії пов'язана з енергоспоживанням будівель, що становить 40% від загального обсягу в Європі, і в основному пов'язана з так званими системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК). Системи ОВК призначені для забезпечення теплового комфорту в будівлях, а їх автоматичне керування може мати значний вплив на віртуальну поведінку кінцевих користувачів. Зокрема, дуже важливо впровадити нові архітектури управління, які, з одного боку, дозволяють оптимізувати енергоспоживання систем ОВК без шкоди для теплового комфорту мешканців будівлі, а з іншого боку, надають політикам і громадянам (тобто кінцевим користувачам) інтерактивні інструменти для моніторингу та управління системами ОВК. Цього можна досягти шляхом поєднання двох основних модулів: алгоритми управління та розумна фізична інфраструктура. Перший модуль спрямований на оптимізацію енергоспоживання та теплового комфорту, тоді як другий модуль відповідає за зондування, зв'язок, зберігання даних та активацію системи ОВК відповідно до вимог кінцевого користувача.

Що до модулів алгоритмів керування, можна розглянути низку технологій, розроблених протягом багатьох років для систем ОВК. Однак більшість з них складаються з евристичних контролерів увімкнення/вимкнення, які не можуть компенсувати велику теплову інерційність багатьох процесів ОВК, або простих ПІД-регуляторів, які важко налаштовувати і продуктивність яких погіршується зі зміною умов системи

[11]. Більш перспективний підхід, модельно-прогнозоване керування(МПК), набув популярності лише за останні два десятиліття. Цей метод керування дозволяє ефективно інтегрувати такі питання, як відхилення від норми, задоволення обмежень і повільне динамічне керування, у формулювання регулятора разом зі стратегіями енергозбереження. Більше того, завдяки низькій вартості інтелектуальних пристроїв, поширенню розподілених датчиків та інструментів аналізу даних, а також загальному розвитку інформаційно-комунікаційних технологій(ІКТ), оптимальні підходи до управління енергоефективністю та тепловим комфортом стають все більше економічними та простими у впровадженні[8]. Очевидно, що MPC стають зайвими, якщо вони не підключені до відповідної інтелектуальної фізичної інфраструктури, яка дозволяє збирати/передавати реальні дані з/на об'єкт. Інтернет речей (IoT) забезпечує відповідне рішення, дозволяючи підключати датчики, виконавчі механізми та інші об'єкти до Інтернету.

У цьому розділі пропонується архітектура на основі IoT для впровадження систем MPC HVAC в "розумних" будівлях. Система складається з набору інтелектуальних датчиків і виконавчих механізмів, шлюзу, сервера бази даних, блоку управління і користувальницького інтерфейсу або панелі управління, об'єднаних в мережу і підключених до Інтернету. Алгоритм управління оптимізує як комфорт в приміщенні, такі пов'язане з ним енергоспоживання окремої зони навколишнього середовища в режимі онлайн в замкнутому контурі управління. Кінцевий користувач не тільки отримує інформацію про комфорт і навколишнє середовище, але також може дистанційно регулювати температуру і режим управління системою.

3.1 Аналіз пов'язаних робіт

Перші застосування MPC у керуванні системами ОВК, головним чином розглядають мінімізацію споживання енергії та обмеження температури в

межах заданих значень. Очевидно, що обмеження та керування лише температурою не гарантує максимального комфорту для користувачів. Тому був впроваджений індекс Передбаченого середнього голосу (PMV) (стандартизований ISO), щоб комплексно виразити умови теплового комфорту, і пізніше поєднаний з технікою MPC з метою оптимізації внутрішнього теплового комфорту в інтелектуальних середовищах будівель. Проте нелінійний характер індексу PMV є значним викликом при розробці та впровадженні таких систем керування. На практиці контролер MPC має вирішувати, на кожному відбірковому моменті, нелінійну оптимізаційну задачу, що потребує значних обчислювальних ресурсів та може призвести до довгих часів обчислення. Крім того, нелінійність PMV обмежує застосовність та масштабованість формулювання проблеми керування. Підходи, запропоновані в відповідних наукових дослідженнях для зменшення вищезгаданих обмежень, як правило, полягають у визначенні апроксимованих та лінійованих версій PMV, які можуть бути легко обчислені та ефективно виконані навіть на простих пристроях. Внески, які пропонують використання лінійованого PMV для техніки MPC, можна класифікувати у дві основні групи: тепловий індекс комфорту PMV включений у множину обмежень оптимізаційної задачі; індекс PMV є частиною цільової функції, а його значення піддаються м'яким обмеженням.

Як перший тип підходу, Xu та ін.[12] пропонують метод оптимізації експлуатації будівлі на основі лінеаризованої апроксимації PMV з набором обмежень, що зменшує обчислювальну складність порівняно зі стандартними формулюваннями. Alamin та ін.[13] також пропонують економічний підхід MPC для управління тепловим комфортом приміщень у біокліматичних будівлях з використанням лінійної системи першого порядку для моделювання зв'язку між показником PMV та швидкістю вентилятора холодильної установки, де автори формулюють його як параметричну квадратичну програму, а лінеаризовану версію показника PMV включають до

набору обмежень задачі. Крім того, для спрощення розв'язання оптимізаційної задачі автори явно переформулювали задачу оптимізації ГДК.

У другому типі підходу показник PMV явно включається у функцію витрат MPC і розглядаються м'які обмеження, які обмежують PMV у певному діапазоні. Наприклад, Сіглер та ін.[14] описують метод оптимізації з рухомим горизонтом, заснований на лінійній апроксимації PMV для утримання температури подачі та PMV в заданому діапазоні, в той час як Корбін та ін. [15] натомість застосовують процедуру MPC, де метою оптимізації є мінімізація споживання енергії та штрафного часу, розрахованого за порушення комфорту. Оптимальну стратегію управління будівлею визначає оптимізатор рою частинок, модифікований для забезпечення прийнятної обчислювальної продуктивності. Крім того, Ascione та ін.[16] за допомогою генетичних алгоритмів можуть обчислити набір багатоцільових стратегій управління, з яких можна вибрати компромісне рішення, що задовольняє і комфорт, і енергозбереження.

Однак у більшості з наведених джерел запропоновані алгоритми тестуються лише в симуляційному середовищі і не надається жодної інформації про реальну реалізацію архітектури управління.

Розглядається оптимізація нелінійного індексу теплового комфорту та функції споживання енергії з фіксованими витратами. Це призводить, з одного боку, до нелінійної оптимізаційної задачі, яка дозволяє точно представити тепловий комфорт, але, з іншого боку, ускладнює застосування методу, коли є часткові знання про теплові параметри середовища, що розглядається, або фізичні обмеження активної системи. У цій роботі розглядається неявний та ефективний алгоритм MPC для керування ОВіК, який має на меті мінімізувати споживання енергії, утримуючи індекс PMV у заданому діапазоні та забезпечуючи плавне керування. На відміну від вище зазначеного, описано загальну архітектуру управління на основі Інтернету речей, яка дозволяє застосувати алгоритм управління MPC до реальної системи та залучити кінцевого користувача до контуру управління.

3.2 Архітектура системи керування на основі IoT

3.2.1 Архітектура системи

На рисунку 3.1 показана загальна архітектура системи управління на основі Інтернету речей, яка оптимізує енергоефективність і тепловий комфорт внутрішнього середовища розумної будівлі. Вона складається з наступних елементів:

- сенсорна мережа, яка визначає умови навколишнього середовища і передає результати вимірювань з мережи датчиків на шлюз;
- набір модулів опалення, вентиляції та кондиціонування;
- приводна мережа, яка керує модулями HVAC і взаємодіє зі шлюзом;
- шлюзи, які з'єднують мережі датчиків і приводів з Інтернетом;
- зовнішній прикладний програмний інтерфейс (API) для прогнозування погоди;
- зовнішній інтерфейс прикладного програмування (API), що надає прогнози погоди;
- зовнішні сервери баз даних, які збирають/передають дані між полем і блоком керування;
- блок управління, який взаємодіє з сервером бази даних і виконує алгоритми MPC;
- IP-пристрій, який підключений до сервера бази даних і виступає в якості інтерфейсу кінцевого користувача, включаючи панель управління.

Панель управління включає в себе панель управління, підключену до сервера бази даних і призначену для моніторингу стану навколишнього середовища та встановлення режиму роботи системи управління. Включає в себе панель управління, призначену для моніторингу стану навколишнього середовища та встановлення режиму роботи системи управління.

Режими роботи та інформаційні потоки запропонованої архітектури виглядають наступним чином. Умови навколишнього середовища в приміщенні (наприклад, температура, рівень CO₂, кількість людей) та споживання енергії вимірюються за допомогою мережі датчиків. Вимірювання періодично надсилаються на шлюз, який зв'язується з сервером бази даних, який надсилає їх на блок керування, де застосовується алгоритм MPC. Цей алгоритм забезпечує систему опалення, вентиляції та кондиціонування повітря керуючими діями, які досягають найкращого балансу між споживанням енергії та комфортом для заданих вимог до комфорту в заданий період часу. Ці керуючі дії надсилаються через шлюз до пристрою в модулі HVAC, який виконує дії, і цей пристрій змінює температуру в приміщенні відповідно до рішення алгоритму MPC. Крім того, сервер бази даних зберігає вимірювання температури та споживання енергії. Ці вимірювання відображаються кінцевому користувачеві через панель управління на IP-пристрої, підключеному до сервера бази даних. На рисунку 3.1 показана схема системи високого рівня запропонованої архітектури на основі Інтернету речей. Панель управління дозволяє користувачеві взаємодіяти з контролером і вибрати бажану температуру і режим управління (ручний або автоматичний).

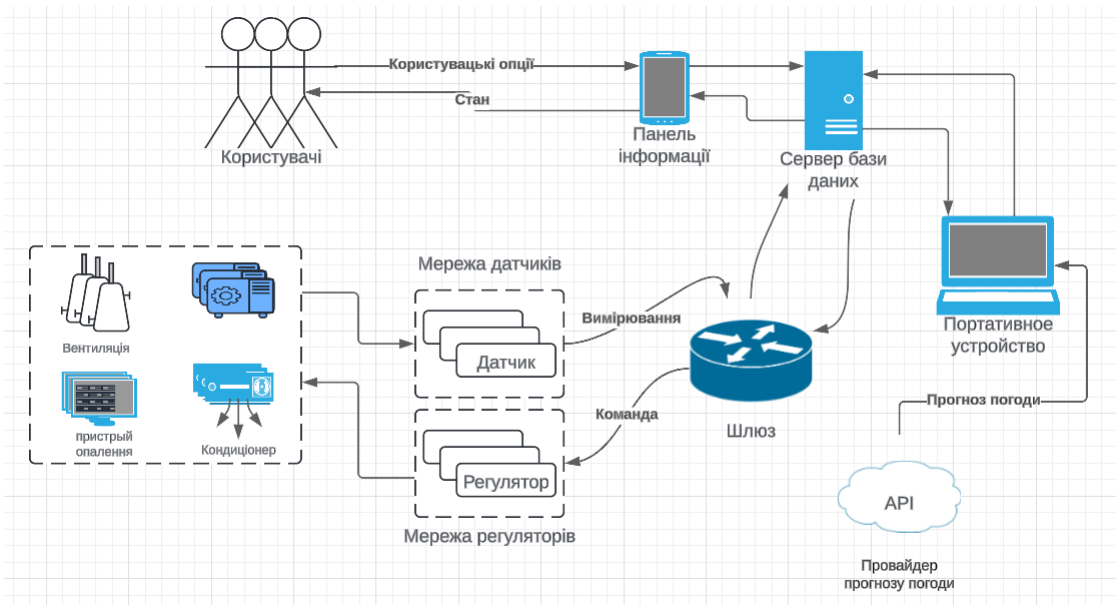


Рисунок 3.1 - Системна схема високого рівня запропонованої архітектури на основі Інтернету речей

3.2.2 Теплова модель однозонного середовища будівлі

У цьому підрозділі ми розглядаємо дискретно-часову модель, де інтервал часу позначається через $k \in \mathbb{N}$. Зміна внутрішньої температури внутрішнього середовища (тобто зони або приміщення будівлі) з системою опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВіК) може бути описана лінійним диференціальним рівнянням дискретного часу, яке враховує складність системи (тобто наявність різних і різнорідних елементів) та вплив зовнішніх кліматичних і теплових умов у сусідніх приміщеннях. Система може бути описана лінійним диференціальним рівнянням дискретного часу. Зокрема, якщо припустити, що початковий час дорівнює нулю (тобто початкові умови відповідають $k = 0$).

$$T(k) = e^{-\frac{\Delta h}{\tau}} T(k-1) + (1 - e^{-\frac{\Delta h}{\tau}}) (T_e(k-1) + Q f_u(k)) = f(T(k-1), u(k))$$

$$, k \in \mathbb{N}\{0\}$$
(3.1)

Де Δh – час дискретизації, τ - постійна часу першого порядку динаміки температури в зоні будівлі, $T(k-1)$ – температура навколишнього середовища, виміряна в момент часу $k-1$, $T_e(k)$ – зовнішня температура, виміряна в

момент часу k , Q_f – загальний коефіцієнт підсилення опалення/охолодження, що забезпечується системою ОВіК у розглянутому середовищі ($Q_f > 0$, якщо система ОВіК працює в режимі опалення, $Q_f < 0$, якщо система ОВіК працює в режимі охолодження), $u(k)$ – керуючий сигнал, що надходить в систему ОВіК (наприклад, частота обертання вентилятора пристрою кондиціонування).

Ця робота має на меті надати базовий алгоритм, який може бути масштабований і застосований до різних будівель, щоб метод можна було легко повторно використовувати в його поточному вигляді або, принаймні, повторно використовувати після відповідної адаптації до різних умов (з мінімальними додатковими роботами з реалізації). Варто підкреслити, що розглядається використання лінійних теплових моделей, щоб метод можна було легко повторно використовувати в його поточному вигляді або, принаймні, повторно використовувати після відповідної адаптації до різних умов (з мінімальними додатковими роботами з реалізації). Крім того, лінійність теплової моделі дозволяє алгоритму MPC розв'язувати задачу швидше. Можна також припустити, що нагрівання/охолодження навколишнього середовища вимагає споживання енергії для забезпечення адекватного теплового комфорту, яке пропорційне теплообміну:

$$E(k) = \eta | Q_f | u(k), \quad (3.2)$$

$$, k \in N \setminus \{0\}$$

Тут η – тепловий ККД системи ОВіК.

3.3 Прогнозне керування за моделлю

Протягом останніх двох десятиліть наукова спільнота інвестувала значні кошти у впровадження стратегій керування на основі ГДК для систем ОВіК. Основною причиною таких великих наукових інвестицій є можливість здійснювати як зворотний зв'язок, так і оптимізацію продуктивності,

використовуючи єдиний закон керування. (2) горизонт прогнозування та керування, на якому розраховується динаміка поведінки системи та поведінка керування, і часовий крок, на якому вирішується задача оптимізації на обраному горизонті керування. На кожному часовому кроці інформація про поведінку системи збирається і використовується для оновлення динаміки системи. Задача оптимізації розв'язується на горизонті керування, і отриманий результат застосовується до системи в режимі замкненого керування. Зауважте, що керуючий вплив застосовується лише на наступному часовому кроці після спостереження за поточним станом системи. Ця процедура виконується ітеративно шляхом переміщення горизонту в майбутнє до кінця цільового часового інтервалу.

На рисунку 3.2 MPC інтегрує як орієнтовані на управління моделі будівельних зон, так і системи ОВіК (описані в попередньому розділі) і враховує взаємодію між тепловою поведінкою будівельної зони та енергетичними компонентами ОВіК. Задача онлайн-оптимізації має на меті визначити керуючі змінні (наприклад, входи ОВіК, що працюють), в той час як виміряна реакція відповідає основним тепловим параметрам (наприклад, температура в приміщенні, вологість), що контролюються наявними датчиками, розташованими в приміщенні. Оцінка всіх змінних, що впливають на тепловий комфорт і не контролюються датчиками, або наявність перешкод впливає на точність реакції моделі.

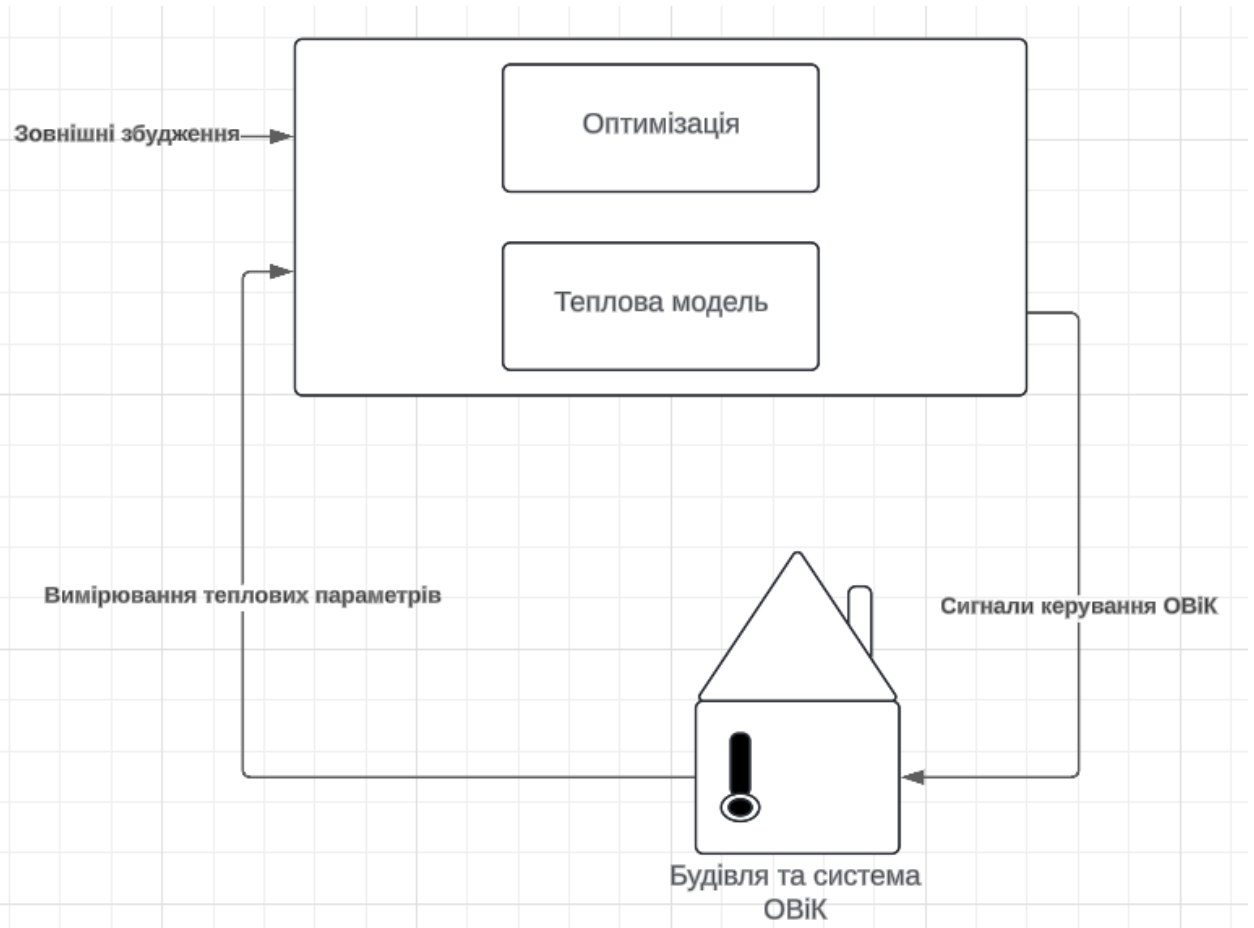


Рисунок 3.2 - Структура MPC інтегрує теплову модель внутрішнього середовища

4. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ HVAC НА БАЗІ ІОТ

На рисунку 4.1 показано розташування, тип і кількість встановлених датчиків і приводів. Зокрема, детально показано загальну архітектуру експериментальної системи, розгорнутої на демонстраційному майданчику і описаної нижче:

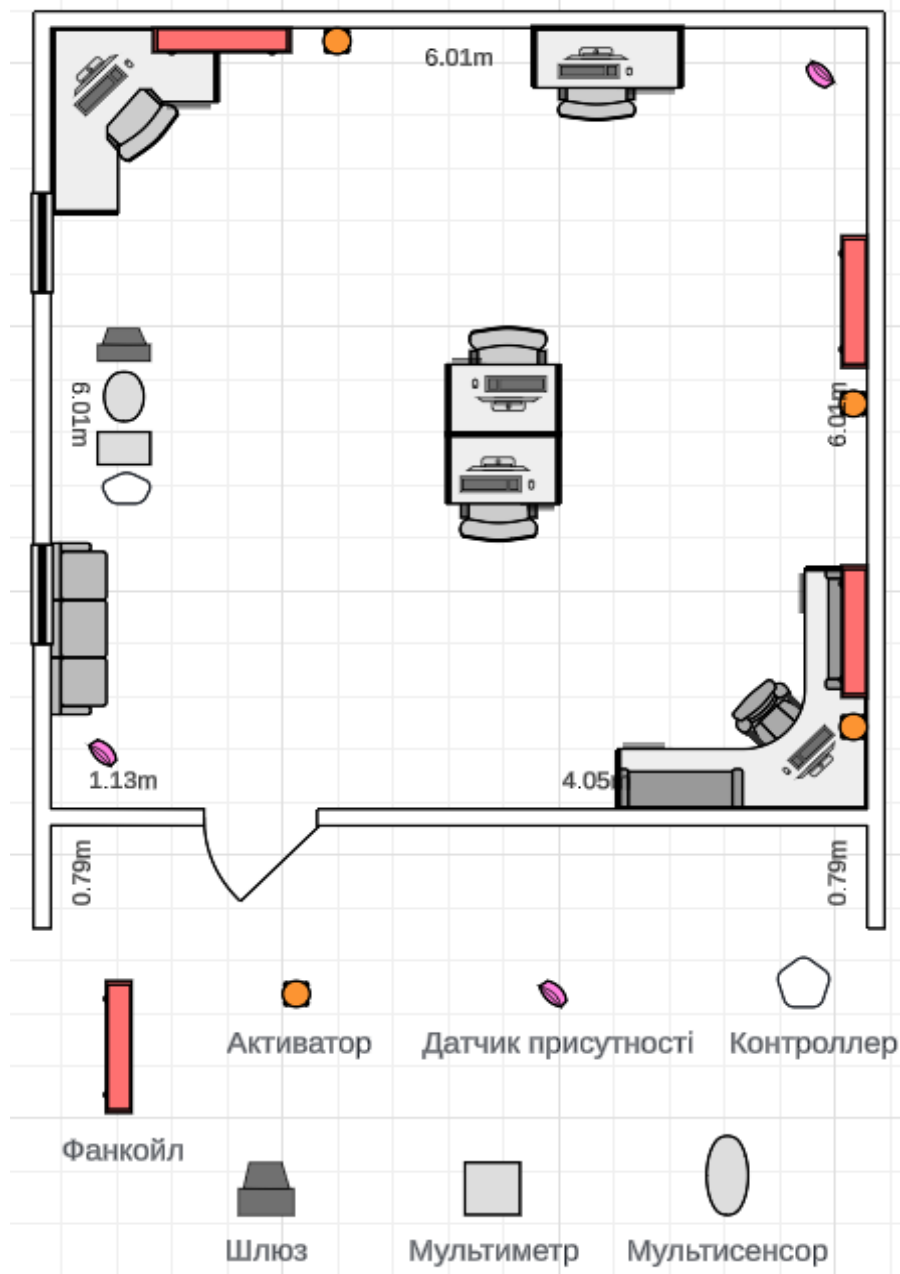


Рисунок 4.1 - Карта приміщення з позначками основних компонентів системи

Приміщення, для якого розроблюється архітектура управління на основі Інтернету речей, має площу 36 m^2 та, для прикладу, розташоване на

третьому поверсі будівлі, як показано на рисунку 4.1. Воно складається з трьох кондиціонерів, кожен з яких може регулювати швидкість вентиляторів за допомогою дистанційного керування.

Зазвичай у цьому приміщенні перебуває близько п'яти осіб, а двері та вікна, як правило, зачинені. Це важливо враховувати при розробці системи керування температурою та вентиляцією, оскільки це може вплинути на вимоги до комфортного клімату в приміщенні, а також на роботу системи автоматизованого керування.

Як показано на рисунку 4.2 мультипротокольний шлюз, отримує дані з усіх датчиків, встановлених у приміщенні, і передає їх на сервер бази даних з користувачами та додатками. Алгоритм MPC працює в контролері з доступом до сервера бази даних і використовує збережені дані вимірювань та інформацію про погоду як вхідні дані для алгоритму управління.

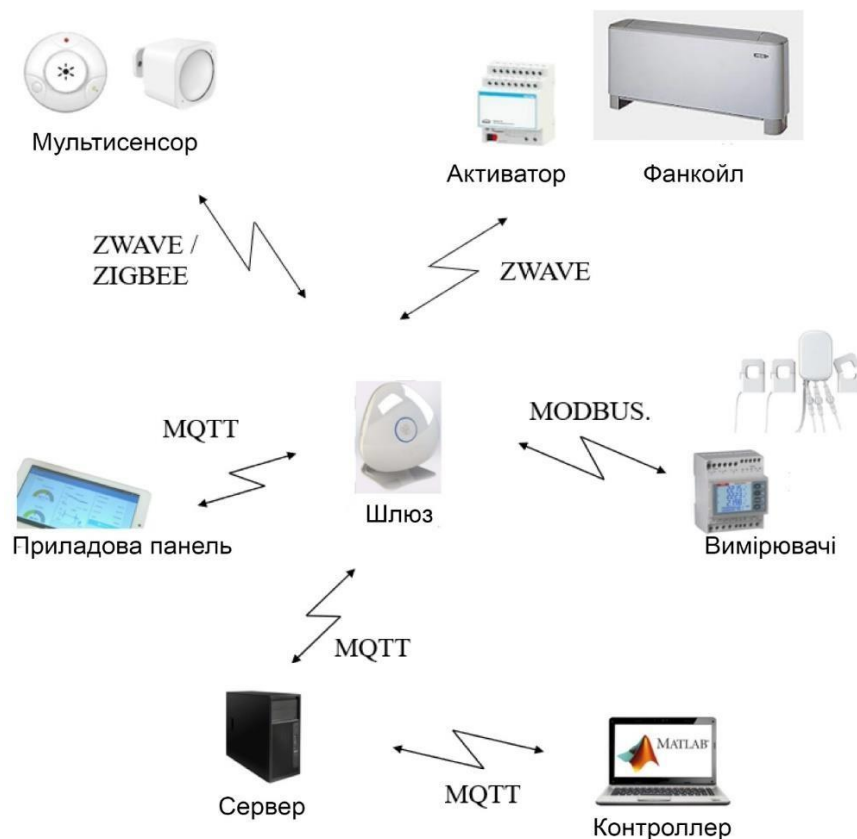


Рисунок 4.2 - Архітектура апаратних компонентів системи

Крім того, IP-пристрій, призначений для функціональності інтерфейсу кінцевого користувача, підключається до сервера бази даних для моніторингу

навколишнього середовища та забезпечення контрольних точок системи(наприклад, комфортна температура, вікно робочого часу) та управління режимами системи(наприклад, на основі використання стандартного управління комфортом на основі термостата або PMV). алгоритм MPC або ручне керування) з панеллю керування для налаштування системи керування вмиканням/вимиканням кондиціонера тощо) за допомогою панелі управління (Рисунок 4.2). Стандарт зв'язку, що використовується в базовій архітектурі IoT, називається MQTT (Telemetry messaging transfer - передача телеметричних повідомлень), метод зв'язку на основі повідомлень, заснований на протоколі TCP (Transmission Control Protocol - протокол управління передачею). Середній час обчислення становить 1с , а максимальний час обчислення - 5 с.

4.1 Розробка алгоритмів системи

4.1.1 Розробка алгоритму автоматизації керування опаленням

Для закладання основи алгоритму було обрано діапазони значень вологості та температури для комфортного існування. У моєму випадку це 19°C – температура у приміщенні та 40% вологості повітря. Теплове середовище в приміщеннях існуючих житлових комплексів контролюється опалювальним обладнанням на основі температури та вологості. В Україні оптимальна температура взимку становить 18-21°C, а оптимальна вологість - 40-60%. Як прописано у алгоритмі на рисунки 4.3 якщо температура в приміщенні не відповідає необхідним умовам для мешканців будинку, вони можуть захворіти на різні хвороби. Однак у вологому приміщенні можуть почати розвиватися і розмножуватися різні мікроорганізми. Тому важливо підтримувати в приміщенні відповідну температуру і вологість.

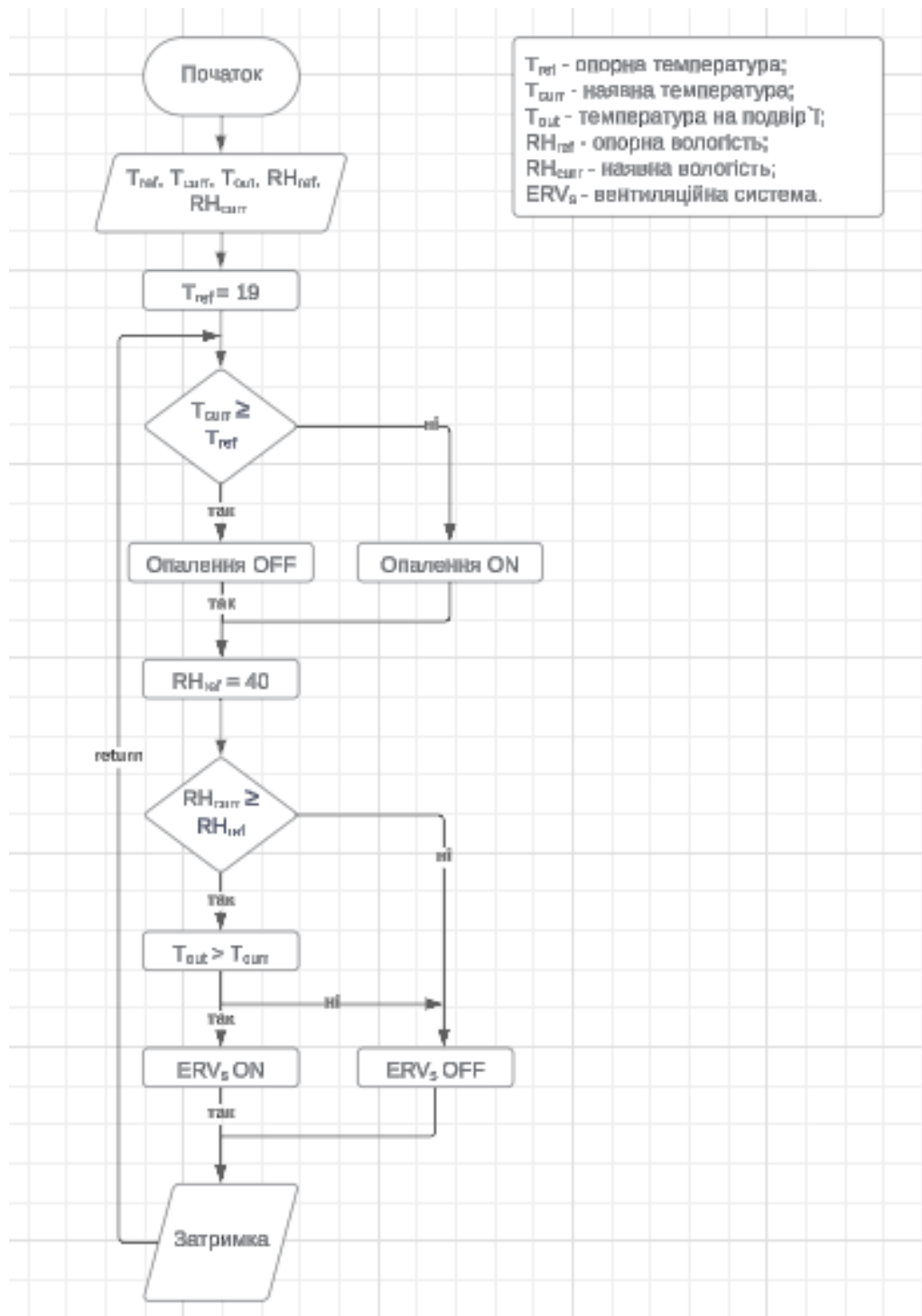


Рисунок 4.3 - Алгоритм роботи системи опалення на базі PMV

Попередня концепція Predicted Mean Vote (PMV) вимірює реакцію людини на внутрішнє теплове середовище. Саме це стало другою складовою при створенні алгоритму.

4.1.2 Алгоритм перемикавання теплових режимів

Алгоритм роботи у режимі "Економічний":

Зниження температури: Система автоматично знижує температуру опалення на певний заданий рівень, який є нижчим за режим комфорту.

Графік роботи: Опалення працює за графіком, що враховує активність користувачів та можливість зниження температури під час відсутності людей.

Температурні зони: Деякі зони в будівлі можуть бути менш опалюваними, що дозволяє зберігати енергію.

Алгоритм роботи у режимі "Комфортний":

Стале підтримання температури: Система підтримує постійний рівень температури в приміщенні, який відповідає заданому комфортному рівню.

Алгоритм роботи у режимі "Заощадження енергії":

Температурні коридори: Система встановлює ширші коридори для температурних коливань, щоб зменшити використання опалення в часи меншої активності.

На рисунку 4.4 розписано блок-схему алгоритму перемикавання температурних режимів.

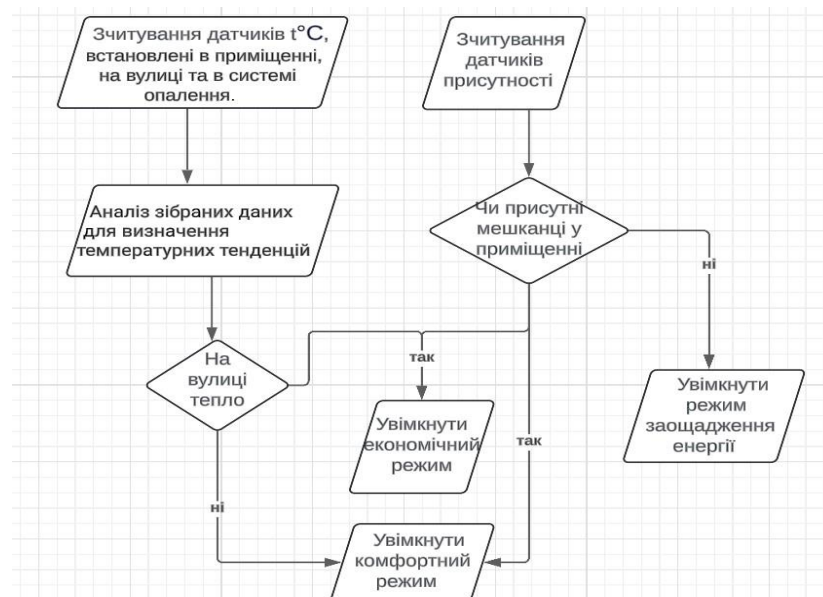


Рисунок 4.4 - Алгоритм автоматичної зміни режимів роботи опалення

1. Зчитування даних:

- температура в приміщенні: фіксується за допомогою датчика температури;
- температура на вулиці: фіксується за допомогою датчика температури;
- наявність людей в приміщенні: фіксується за допомогою датчика присутності.

2. Аналіз даних:

Порівняння температури в приміщенні та на вулиці:

- якщо температура на вулиці нижча, ніж в приміщенні, то система працює в режимі опалення;
- якщо температура на вулиці вища, ніж в приміщенні, то система працює в режимі охолодження;

Перевірка наявності людей:

- якщо в приміщенні є люди, система опалення підтримує комфортну температуру;
- якщо в приміщенні немає людей, система може перейти в режим економії енергії.

3. Перемикання режиму:

Після аналізу даних система визначає потрібний режим опалення.

Потім система надсилає сигнал на відповідний виконавчий механізм:

- включити режим опалення (активувати подачу теплоносія в систему опалення);
- включити режим охолодження (активувати роботу кондиціонера);
- перейти в режим економії енергії (знизити температуру в приміщенні або вимкнути систему опалення).

4.1.3 Алгоритм роботи системи вентиляції

На рисунку 4.5 продемонстровано блок-схему алгоритму роботи вентиляційної системи.

1. Зчитування даних:
 - температура в приміщенні: фіксується за допомогою датчика температури;
 - вологість в приміщенні: фіксується за допомогою датчика вологості;
 - вміст CO₂ в приміщенні: фіксується за допомогою датчика CO₂;
 - зовнішня температура: фіксується за допомогою датчика температури на вулиці;
 - наявність людей в приміщенні: фіксується за допомогою датчика присутності.

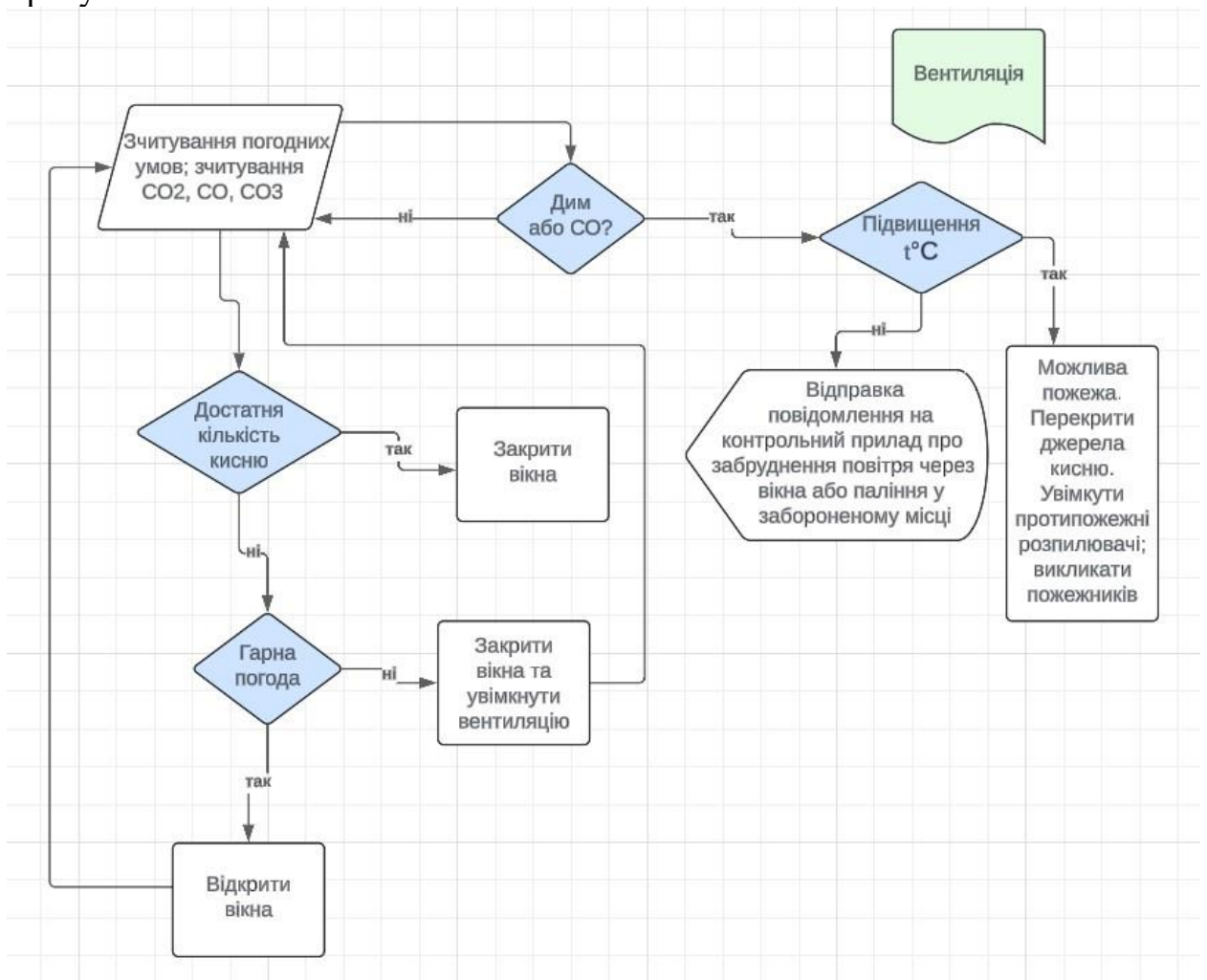


Рисунок 4.5 - Алгоритм роботи вентиляційної системи

2. Аналіз даних:

Порівняння температури в приміщенні та на вулиці:

- якщо температура в приміщенні значно вища, ніж на вулиці, то ймовірно, що система вентиляції повинна працювати в режимі витяжки;
- якщо температура на вулиці значно вища, ніж в приміщенні, то ймовірно, що система вентиляції повинна працювати в режимі притоку;

Перевірка вологості:

- якщо вологість в приміщенні вища за допустимий рівень, то система вентиляції повинна працювати в режимі витяжки;

Перевірка вмісту CO₂:

- якщо вміст CO₂ в приміщенні вище за допустимий рівень, то система вентиляції повинна працювати в режимі витяжки;

Перевірка наявності людей:

- якщо в приміщенні є люди, то система вентиляції повинна працювати в режимі притоку, забезпечуючи свіже повітря;
- якщо в приміщенні немає людей, то система вентиляції може перейти в режим економії енергії або працювати в режимі витяжки для видалення забрудненого повітря.

3. Управління системою:

Після того, як система проаналізувала дані, вона визначає, який режим роботи потрібен. А слідом система надсилає сигнал на відповідний виконавчий механізм:

- включити режим витяжки: активувати роботу витяжного вентилятора;
- включити режим притоку: активувати роботу приточного вентилятора.

Перейти в режим економії енергії:

- знизити швидкість роботи вентиляторів або вимкнути один з них.

ВИСНОВКИ

Забезпечення енергоефективності систем опалення, вентиляції та кондиціонування є одним з головних пріоритетів для енергоменеджерів. Використання технологій автоматизації може значно зменшити енергоспоживання систем опалення, вентиляції та кондиціонування без шкоди для необхідного рівня комфорту. У цій статті пропонується архітектура на основі Інтернету речей для модельного предиктивного керування (MPC) системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, яка оптимізує тепловий комфорт у приміщенні та енергоспоживання. З одного боку, вона забезпечує загальну структуру на основі Інтернету речей для реалізації автоматизованого управління ОВіК в реальних умовах, а з іншого боку, вона визначає проблему оптимізації МПК для ефективного управління ОВіК. Інфраструктура IoT складається з інтелектуальних датчиків і виконавчих механізмів, шлюзів, бази даних та інших компонентів. Сервери, блоки управління, IP-пристрої та API – все це підключено до Інтернету. Дані вимірювань і управління зберігаються і витягуються з польових пристроїв, блоків управління і панелей управління на сервер бази даних. Крім того, через панель управління кінцевий користувач включений в контур управління і може регулювати комфортну температуру і режим роботи системи управління. Запропонований алгоритм MPC базується на динамічній тепловій моделі внутрішнього середовища приміщення та лінійній версії індексу теплового комфорту PMV. Зокрема, представлена оптимізаційна задача забезпечує відповідні керуючі впливи, які одночасно оптимізують тепловий комфорт та енергоефективність, що призводить до гнучкої задачі квадратичного програмування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ding, X.; Wu, J. Study on Energy Consumption Optimization Scheduling for Internet of Things. *IEEE Access* 2019,7, 70574–70583. [CrossRef]
2. Fanian, F.; Kuchaki Rafsanjani, M.; Borumand Saeid, A. Fuzzy Multi-Hop Clustering Protocol: Selection Fuzzy Input Parameters and Rule Tuning for WSNs. *Appl. Soft Comput.* 2021,99, 106923. [CrossRef]
3. Kadri, N.; Koudil, M. Multi-Objective Biogeography-Based Optimization and Reinforcement Learning Hybridization for Network-on Chip Reliability Improvement. *J. Parallel Distrib. Comput.* 2022,161, 20–36. [CrossRef]
4. Lalitha, K.; Kamalam, G.K.; Priyan, R.; Rithanya, A.S.; Shanmugapriya, P. Optimizing the Sensor Deployment Strategy for Large-Scale Internet of Things (IoT) Using Artificial Bee Colony. *AIP Conf. Proc.* 2021,2387, 140032.
5. Lan, K.; Fong, S.; Song, W.; Vasilakos, A.V.; Millham, R.C. Self-Adaptive Pre-Processing Methodology for Big Data Stream Mining in Internet of Things Environmental Sensor Monitoring. *Symmetry* 2017,9, 244. [CrossRef]
6. Sani, A.S.; Yuan, D.; Jin, J.; Gao, L.; Yu, S.; Dong, Z.Y. Cyber Security Framework for Internet of Things-Based Energy Internet. *Future Gener. Comput. Syst.* 2019,93, 849–859. [CrossRef]
7. Khare, V.; Nema, S.; Baredar, P. Optimisation of the Hybrid Renewable Energy System by HOMER, PSO and CPSO for the Study Area. *Int. J. Sustain. Energy* 2017,36, 326–343. [CrossRef]
8. Rasheed, M.; Omar, R.; Sulaiman, M.; Halim, W.A. Particle Swarm Optimisation (PSO) Algorithm with Reduced Number of Switches in Multilevel Inverter (MLI). *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.* 2019,14, 1114–1124. [CrossRef]
9. Hasan, M.Z.; Al-Rizzo, H.; Al-Turjman, F.; Rodriguez, J.; Radwan, A. Internet of Things Task Scheduling in Cloud Environment Using Particle Swarm Optimization. In *Proceedings of the 2018 IEEE Global Communications*

Conference, GLOBECOM2018—Proceedings, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 9–13 December 2018.

10. Lee, J.; Kim, B.C.; Ruy, W.S.; Han, I.S. Parametric Optimization of FPSO Hull Dimensions for Brazil Field Using Sophisticated Stability and Hydrodynamic Calculations. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.* 2021,13, 478–492. [CrossRef]

11. Hasan, M.Z.; Al-Rizzo, H. Task Scheduling in Internet of Things Cloud Environment Using a Robust Particle Swarm Optimization. *Concurr. Comput. Pract. Exp.* 2020,32, e5442. [CrossRef]

12. Xu, Z.; Hu, G.; Spanos, C.J.; Schiavon, S. PMV-based event-triggered mechanism for building energy management under uncertainties. *Energy Build.* 2017,152, 73–85. [CrossRef]

13. Alamin, Y.I.; Del Mar Castilla, M.; Álvarez, J.D.; Ruano, A. An economic model-based predictive control to manage the users' thermal comfort in a building. *Energies* 2017,10, 321. [CrossRef]

14. Cigler, J.; Přívara, S.; Váňa, Z.; Žáčeková, E.; Ferkl, L. Optimization of predicted mean vote index within model predictive control framework: Computationally tractable solution. *Energy Build.* 2012,52, 39–49. [CrossRef]

15. Corbin, C.D.; Henze, G.P.; May-Ostendorp, P. A model predictive control optimization environment for real-time commercial building application. *J. Build. Perform. Simu.* 2013,6, 159–174. [CrossRef]

16. Ascione, F.; Bianco, N.; De Stasio, C.; Mauro, G.M.; Vanoli, G.P. Simulation-based model predictive control by the multi-objective optimization of building energy performance and thermal comfort. *Energy Build.* 2016,111, 131–144. [CrossRef]