

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань \_\_\_\_\_ 12 – Інформаційні технології \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 – Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_

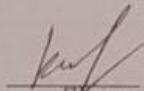
на тему «Методи та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»»

КвРКІ. 016038.20.01.29 ПЗ


Виконав: студент 2 курсу, група КІ2М-20-1

Керівник к. т. н., доцент  
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.  
Т.О. Говорущенко  
19 05 2022 р.

  
Підпис

Сисоєва К.В.  
Ініціали, прізвище

  
Підпис

Бобровнікова К.Ю.  
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2022

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Сисосвій Катерині Володимирівні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Методи та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Керівник проекту (роботи) Бобровнікова К.Ю., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 03.05.2022 р.

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

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

Аналіз відомих методів управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

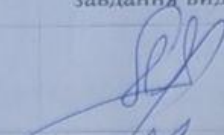



Модель процесу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Метод забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

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

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

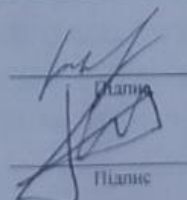
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики ДРМ з керівником	05.09.2021	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2021	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2021	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	05.12.2021	виконано
5	Робота над науковою статтею	05.01.2022	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2022	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2022	виконано
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2022	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 20.05.2022	

Студент

  
Підпис

К. В. Сисоєва  
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)

К.Ю. Бобровнікова  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Методи та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Автор роботи: Сисоєва Катерина Володимирівна

Керівник роботи: Бобровнікова Кіра Юліївна, к. т. н., доцент

Пояснювальна записка: 80 с., 34 рис., 5 табл., 3 дод., 36 джерел.

«Розумний будинок», енергозбереження, енергоефективність, клімат-контроль, споживання енергії, Інтернет речей.

Об'єктом дослідження є процес підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі аналізу поведінки користувачів та побудованих моделей споживання енергії.

Предметом дослідження є моделі, методи та програмно-технічні засоби забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі аналізу поведінки користувачів та побудованих моделей споживання енергії.

Метою дипломної роботи є підвищення енергоефективності підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» шляхом розроблення програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи систематичного аналізу, моделювання процесів. Внаслідок моделювання процесу та розроблення методу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» використано принципи побудови баз знань та формування логічного висновку.

Наукова новизна отриманих результатів:

- удосконалено модель процесу підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка, на відміну від відомих моделей, заснована на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів;

- удосконалено метод підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який, на відміну від відомих методів, ґрунтується на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів для збалансування рівня комфорту користувачів та ефективності споживання енергії, та є основою програмно-технічного засобу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок». Застосування розробленого методу дозволить підвищити енергоефективність в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», в порівнянні з відомими методами.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» з використанням Arduino та Raspberry Pi в якості апаратно-програмної платформи проектованої системи.

## ЗМІСТ

<b>СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....</b>	<b>5</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....</b>	<b>9</b>
1.1 Огляд вимог до енергетичних показників в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» .....	9
1.2 Аналіз енергоспоживання підсистем кіберфізичної системи «Розумний будинок».....	11
1.3 Огляд відомих методів забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок».....	14
1.4 Постановка задачі .....	20
1.5 Висновки.....	21
<b>2 МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....</b>	<b>23</b>
2.1 Модель процесу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» .....	23
2.2 Моделі споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів .....	31
2.3 Висновки.....	41
<b>3 МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» .....</b>	<b>42</b>
3.1 Основи методу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» .....	42

3.2	Експериментальні дослідження методу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» .....	53
3.3	Висновки.....	59

**4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ УПРАВЛІННЯ  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТЮ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В  
КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....** 60

4.1	Алгоритми програмно-технічного засобу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» ...	60
4.2	Інтерфейс програмно-технічного засобу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» ...	75
4.3	Висновки .....	78

**ВИСНОВКИ .....** 82

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....** 85

**ДОДАТОК А** Лістинг ПЗ..... 89

**ДОДАТОК Б** Копія тез доповіді..... 93

**ДОДАТОК В** Презентація доповіді..... 97

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

EETCC (energy efficient thermal comfort control) – Енергоефективний контроль теплового комфорту

IoT (Internet of Things) – Інтернет речей

IP (Internet Protocol) – Інтернет протокол

TCP (Transmission Control Protocol) – Протокол Управління

WAP (Wireless Application Protocol) – Протокол безпроводної передачі даних

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – Технологія безпроводної локальної мережі

АСУКК – Автоматизована система управління клімат-контролю

ПАТ – Програмно-апаратне забезпечення

ПДК – Пульт дистанційного керування

HVAC(Heating, Ventilation, and Air Conditioning) – Опалення, вентиляція та кондиціонування

GA – Генетичний алгоритм

RNN – рекурентна нейронна мережа

## ВСТУП

Актуальність роботи полягає в розробці полягає у необхідності розробки методу та програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», реалізація яких задовольнить можливість збільшення енергоефективності в регіонах та зменшить використання природних ресурсів та вплив на атмосферу.

Технології кіберфізичної системи «Розумний будинок» дозволяють автоматизувати управління системами всіх побутових приладів у будинку, підлаштовуватись під потреби користувача, зберігати важливі економічні запаси енергії.

Метою дипломної роботи є підвищення енергоефективності підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» шляхом розроблення програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- дослідити енергоефективність відомих підсистем клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та визначити їх переваги та недоліки;
- на основі проведених досліджень охарактеризувати структуру предметної області та визначити основні функції підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», сформулювати низку функціональних та нефункціональних вимог;
- провести аналіз методів управління підсистемою клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та визначити шляхи підвищення її енергоефективності;
- розробити метод підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»;
- на основі розробленого методу розробити програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»;

– провести експериментальне дослідження функціонування програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та оцінити її ефективність.

Об'єктом дослідження є процес підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі аналізу поведінки користувачів та побудованих моделей споживання енергії.

Предметом дослідження є моделі, методи та програмно-технічні засоби забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі аналізу поведінки користувачів та побудованих моделей споживання енергії.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. удосконалено модель процесу підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка, на відміну від відомих моделей, заснована на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів;

2. удосконалено метод забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який, на відміну від відомих методів, ґрунтується на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів для збалансування рівня комфорту користувачів та ефективності споживання енергії, та є основою технології забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок». Застосування розробленого методу дозволить підвищити енергоефективність в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на 3%, в порівнянні з відомими програмно-технічними засобами.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження розроблена технологія забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка надає можливість підвищити енергоефективність в підсистемі клімат-контролю в

кіберфізичній системі «Розумний будинок», в порівнянні з відомими технологіями.

У даній роботі викладено вимоги до методології управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

За темою дипломної роботи опублікована одна теза доповіді та взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук», що проходила 15-16 жовтня 2021 р. в Хмельницькому національному університеті:

Сисоєва К. В., Бобровнікова К. Ю. Дослідження технологій забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок» АПКН–2021 (Хмельницький, 15-16 жовтня 2021). С. 211-213 [30].

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

## 1.1 Огляд вимог до енергетичних показників в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Задачі підвищення енергозбереження та енергоефективності тісно пов'язані з проблемами енергетики та екології. На сьогоднішній день ефективне та раціональне використання й економне витрачання енергетичних ресурсів є однією з найважливіших задач. Одним з ефективних засобів вирішення цих важливих задач є залучення сучасних технологій енергозбереження та енергоефективності шляхом впровадження кіберфізичної системи «Розумний будинок» не лише в приватних будівлях та в квартирах, а й в будівлях різного господарського призначення. Це дозволяє не лише підвищити рівень комфорту споживачів, а й зменшити показники споживання енергії та використовувати її виключно за призначенням.

Для початку детальніше ознайомимось з перевагами та недоліками самої системи «Розумний будинок», наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки системи «Розумний будинок»

Переваги	Недоліки
Економія при споживанні енергії та сплаті комунальних послуг	Вартість системи
Безпека, завдяки встановленим у будинку та на території камерам	Труднощі з інтеграцією і ремонтом устаткування від різних брендів

Кінець таблиці 1.1 – Переваги та недоліки системи “Розумний будинок”

Переваги	Недоліки
Гнучкість і розширення, оскільки можна у будь-який момент додати або виключити з системи деякі елементи	Пошук гарного фахівця, який встановить систему
Простота керування, системою розумного будинку можна зі свого смартфона або планшета	Певні системи вимагають додаткові програми на ПК

При збільшенні попиту свідомого переходу на техніку, яка сприяє заощадженню енергії та відповідно збільшує енергоефективність, у виробників відповідно збільшиться дохід. Проте виростає і мотивація покращити дані продукти та збільшити асортимент. В даний час високою популярністю користуються деякі виробники забезпечення «Розумний будинок», а саме Ajax, BroadLink, Fibaro, Bron, Orvibo та Xiaomi. Кожен з них має певні переваги на недоліки в порівнянні, а також використовують різні методи досягнення певного рівня енергоефективності.

Для визначення показників енергоефективності використовуються різні методи оцінювання впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на енергоспоживання в конкретній будівлі [1].

Дані методи спрощують отримання первинної оцінки, розрахунок рівня енергоефективності будівель, в тому числі і систем «Розумний будинок». При дотриманні сучасних стандартів та нормативів енергетичних характеристик будівель та їх автоматизації є можливість покращити: управління та моніторинг систем опалення та охолодження; управління та моніторинг систем вентиляції; управління та моніторинг систем освітлення; управління та моніторинг систем жалюзі [1].

## 1.2 Аналіз енергоспоживання підсистем кіберфізичної системи «Розумний будинок»

Інноваційні технології та заходи з енергоефективності комфорту сьогодні добре відомі та широко розповсюджені, і основне питання – визначити такі, які будуть найефективнішими та надійнішими в довгостроковій перспективі. За допомогою різноманітності запропонованих заходів особа, яка приймає рішення, має компенсувати екологічні, енергетичні, фінансові та соціальні фактори, щоб досягти найкращого ймовірного рішення, яке забезпечить максимальний комфорт та енергоефективність розумних будинків, які в той же час задовольняють будівлю та потреби кінцевого користувача [7].

Енергоефективність тісно пов'язана з пропозицією та попитом на енергію, економічним розвитком та забрудненням навколишнього середовища, проте ключем для досягнення енергетичної та екологічної ефективності залишається енергетична стратегія. Потрібно зауважити що, важливий також метод балансування економічного розвитку та охорони навколишнього середовища. Підхід аналізу охоплення даних повторної вибірки використовується рідко, оскільки він впливає на результати. У поточному етапі здійснюється аналіз головних компонентів використовуються в комбінації для оцінки глобальної енергетичної та екологічної ефективності.

Результати показують, що вхідні та вихідні змінні дуже корелюють і відповідають статистичним нормам. Енергетична та екологічна ефективність країн Америки та Близького Сходу кращі, ніж у Європі, Африці та Азії, що свідчить про наявність регіонального впливу. Деякі країни повинні зменшити споживання енергії, демонструвати інноваційне управління технологіями виробництва енергії, впроваджувати стратегії зеленої, щоб отримати можливість підвищити свою ефективність [8].

Як ефективний приклад зменшення споживання енергії є використання систем та технологій які дозволяють цьому, та один з таких є використання «Розумного будинку». Він поєднує в собі досить велику кількість корисних

можливостей та функцій які показані на рисунку 1.1, проте це лише мала частина того, що дає нам використання кіберфізичної системи «Розумного будинку».



Рисунок 1.1 – Функції системи розумного будинку [7]

Саме, перераховані вище функції, дозволяють підвищити комфорт та зменшити використання цінного ресурсу, як енергія. Проте при зневажливому відношенню велика кількість техніки, яка потребує витрачання енергії призведе до збільшення витрат електроенергії, що призведе до значного зменшення енергоефективності.

Найбільше нас цікавить управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю, оскільки він дає можливість контролювати клімат у домі – досить лише вказати необхідну температуру і рівень вологості.

Як приклад, можемо взяти давач температури-вологості (терморегулятор) радіо-канальний «TEMP S» попередньо згаданої компанії Bron. Призначений для вимірювання параметрів температури і відносної вологості, передавання сповіщення про поточну температуру і вологість на планшет та застосування за сценарієм у системах клімат-контролю. Можливості давача температури і вологості зображені на рисунку 1.2



Рисунок 1.2 – Можливості датчика температури-вологості [31]

Проте в будинку може бути велика кількість пристроїв, з допомогою яких здійснюється встановлення комфортного температурного режиму, та кожен з пристроїв використовує енергію, а в будинку їх може бути одночасно декілька. Це можуть бути спліт-система, радіатори, кондиціонер, тепла підлога вологопоглинач або осушувач, тощо. Та при недбалому користуванні може бути декілька пристроїв які будуть суперечити роботі один одного. Наприклад тепла підлога для підігріву та кондиціонер для зниження температури або холодного провітрювання. А інколи для їх керування потрібно або окремі пульти, або підходити до пристрою та задавати налаштування вручну (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Налаштування клімат-контролю вручну [9]

Проаналізувавши енергоспоживання в системі клімат-контролю, як результат бачимо, що використання кіберфізичної системи «Розумний будинок» дозволить оптимізувати роботу техніки та збільшити енергоефективність загалом.

Розумний дім і технології, з високим темпом розвиваються, а також розробляються різні розумні пристрої, для збільшення комфорту користувачів. Однак від систем «Розумного будинку» вимагають більшої зручності та комфорту. Постійний розвиток вбудованих технологій та технології бездротового зв'язку малої дальності забезпечує новий напрямок розвитку для досліджень і розробок систем розумного дому. Під передумовою повного вивчення стану досліджень і тенденцій розвитку систем розумного дому, ця стаття поєднує вбудовану технологію, технологію бездротового зв'язку ZigBee, технологію розпізнавання голосу, технологію зв'язку GSM тощо, а також пропонує систему керування розумним голосовим побутовим приладом на основі ZigBee системи [16].

### 1.3 Огляд відомих методів забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

На сьогоднішній день в наукових джерелах представлено багато методів, в яких поставлено за мету підвищення енергоефективності та енергозбереження в системі «Розумний будинок».

В роботі [2] з метою заощадження споживання енергії було розроблено модель нелінійного програмування, в якій було враховано баланс між необхідним рівнем енергозбереження та комфортом споживача (рівнем життя). Для перевірки ефективності розробленого методу було створено ряд сценаріїв для користувачів із різними потребами (рисунок 1.3), які можуть виникати в повсякденному житті.



Рисунок 1.4 – Приклад потреб в системі клімат-контролю

В [3] було досліджено вплив HEMS (система домашнього енергоменеджменту) на споживання енергії та зроблено висновок, що в різних домогосподарствах значно відрізняється показник споживання енергії.

Визначено протиріччя в сценаріях споживання енергії, що виникають при спробах підвищення одночасно комфорту споживача та енергозбереження. На відміну від [2], з метою проведення експериментальних досліджень було використано реальні показники енергоспоживання, одержані в результаті спостереження за реальним середовищем (група будинків із впровадженою системою «Розумний будинок»).

Інше можливе вирішення проблеми енергоефективності було запропоноване в [4].

Важливим загальним недоліком при впровадженні системи «Розумний будинок» є відсутність інтегрованої операційної системи, що призводить до проблем інтеграції різномірних компонентів системи «Розумного будинку».

Так, користувачу потрібно керувати кожним пристроєм окремо, що призводить до таких проблем, як, наприклад, надмірний трафік у мережі

«Розумного будинку». Для подолання цієї проблеми і ефективного управління системою «Розумний будинок» було запропоновано три інтелектуальні моделі як сервісні додатки платформи IoT для «Розумного будинку».

В [5] представлена система IntelliHome, яка використовує технології аналізу великих даних, методи машинного навчання та статистики, що сприяє можливості більш ефективного використання пристроїв Інтернету речей та підвищення енергоефективності. Дана система створена надати користувачам значущий погляд на їхні звички у споживанні електроенергії, та для активного залучення до процесу енергозбереження за допомогою інформації в реальному часі та рекомендацій щодо енергозбереження. В отриманих результатах присутні показники ефективності запропонованої системи щодо економії електроенергії.

В [6] представлено ієрархічний метод глибокого навчання (DRL) для планування споживання енергії розумними побутовими приладами та розподіленими енергетичними ресурсами (DER), включаючи систему накопичення енергії (ESS). Було запропоновано дворівневу систему DRL, в якій використання побутової техніки планується на першому рівні відповідно до бажаних для користувача сценаріїв і рівня комфорту, в той час як сценарії заряджання та розряду ESS розраховуються на другому рівні, використовуючи оптимальне рішення для першого рівня та враховуючи характеристики середовища споживача.

На основі [9] відзначено, що впровадження технологій як Інтернет речей (IoT) і машинне навчання, стали дуже важливими через переваги, що сприяє розвитку нових та ліпших систем автоматичного керування, які підлаштовуються під персональні потреби кожного користувача в області домашньої автоматизації. В згаданій роботі, представлено Smart Home Control, що являє інтелектуальну платформу, яка пропонує повністю налаштовані схеми автоматичного керування домашньою технікою, одержуючи моделі поведінки мешканців і застосовуючи машинне навчання щодо записів змін стану приладів, підключеного до платформи.

Платформа використовує алгоритм машинного навчання C4.5 і Weka API для визначення моделей поведінки. Крім того, представлено експериментальний кейс, який підтверджує ефективність платформи, де були визначені моделі поведінки мешканців розумних будинків відповідно до історії використання пристроїв IoT.

Попередньо було згадано систему яка використовує технології машинного навчання, однак вона не має змоги захистити мережу розумного дому від крадіжки енергії. Що створює проблеми для впровадження систем виявлення крадіжок енергії, незважаючи на відсутність пристроїв моніторингу енергії. У роботі [10] розробляється система виявлення енергії, яка називається розумною системою крадіжки енергії (SETS), заснована також на основі машинного навчання та статистичних моделях.

Існує три етапи модулів прийняття рішень:

Перший етап – це модель прогнозування, яка використовує багато-модельну систему прогнозування.

Другий етап — це первинна модель прийняття рішень, яка використовує просту ковзну середню (SMA) для ненормальної фільтрації.

Третій етап – вторинна модель прийняття рішень, яка приймає остаточний етап рішення про крадіжку енергії.

Як було показано на рисунку 1.3 можна встановити певну температуру, яка є певною моделлю теплового комфорту навколишнього середовища. Визначається загалом за температурою, відносною вологістю і швидкістю повітря в приміщенні. Однак, модель, яка не призначена в основному для певної людини, призводить до того, що система теплового комфорту не відповідає перевагам комфорту людини. Дане питання широко розгорнуто в [12]. Також робиться висновок, що нинішня система EETCC (energy efficient thermal comfort control) не здатна забезпечити точну потребу в тепловому комфорті відповідно до переваг людини. І відносна вологість глибоко досліджуються, щоб виявити рівень теплового комфорту людини в середовищі розумного дому.

Протягом багатьох років дослідники як в наукових колах, так і в галузях зосередилися на різних методах боротьби з непотрібним споживанням енергії та забезпечення здорового середовища життя для зелених розумних міст. Серед цих методів є системи керування енергією розумного дому (SHEM), які перетворюють електричні побутові прилади, сенсорні вузли, в автономні пристрої, щоб ефективно керувати споживанням енергії.

Результат показує відсутність якісних атрибутів, таких як безпека, конфіденційність, масштабованість, сумісність, а також труднощі в управлінні та адаптації до теплового комфорту, задоволеному мешканцями, що наражає їх на ризики для здоров'я.

В решті, у дослідженні[14] описані можливості для майбутніх досліджень, які забезпечать енергоефективні розумні будинки без зайвого споживання енергії, проблем зі здоров'ям та атак кібербезпеки.

Як висновок вище вказаного, з описаних тез підсумуємо основні переваги (таблиця 1.2), які потрібно впровадити в свій метод, та недоліки яких потрібно оминати.

Таблиця 1.2 – Переваги та недоліки відомих рішень

Переваги	Недоліки
Можливість вибору комплектуючих для певних потреб конкретного користувача	Відсутність сумісності пристроїв від різних виробників
Велика кількість корисних можливостей	Труднощі в управлінні на початку
Машинне навчання	Система EETCC не повністю задовольняє всі потреби
Дворівнева система DRL	Відсутність пристроїв моніторингу

	енергії
Різні вже існуючі системи для управління	Відсутність інтегрованої операційної системи

В результаті порівняння бачимо що певні недоліки нівелюються впевненими перевагами, тому певно використання системи «Розумного будинку» та його підсистем як освітлення, клімат-контроль безпека є досить популярними. Але все ж потребують нових методів, як підтримку того рівня, що є та покращення системи.

Розглянемо також відомі реалізації в системі Arduino, яку будемо застосовувати в розробці програмно-технічного пристрою управління підсистеми клімат-контролю. Управління пташниками за допомогою Arduino UNO було здійснено [31] шляхом впровадження датчиків мікроклімату та газових датчиків для визначення температури, рівня вологості вуглекислого газу та аміаку. Управління здійснюється шляхом додавання вентилятора, який вмикається, коли умови в курнику Міжнародна конференція зі сталого сільського господарства та біосистеми перевищують порогові значення.

Система захисту сільськогосподарських угідь запропонована [32] для моніторингу стану землі та виявлення зловмисників за допомогою Arduino UNO, PIR-датчик, ультразвукового датчик та веб-камери шляхом виявлення будь-якого руху, який може виникнути навколо датчик.

У 2017 році [33] розглянув заяву щодо нечіткої логіки в Arduino UNO для моніторингу характеристик вологості ґрунту в посівах рису та кукурудзи, результати, отримані в цьому дослідженні, були точними експертами в галузі сільського господарства.

Система наглядного контролю та збору даних (SCADA) використовується в [34] для моніторингу екологічних умов сільськогосподарських культур шляхом впровадження мережі Raspberry Pi в систему зонування, це дослідження призвело

до створення мережі моніторингу, яка є безпечною та має мінімальний сигнал. Втручання.

В [35] дослідженні з використанням Raspberry Pi було побудовано систему для вимірювання вмісту хлорофілу в рисовому листі, щоб повідомити фермерів, чи їхні рисові рослини мали захворювання, брак поживних речовин або занадто багато азоту. Моніторинг здійснюється шляхом додавання модуля цифрової камери до Raspberry Pi.

Інша система була побудована для управління мікрокліматом у теплиці [36] за допомогою Raspberry Pi та системи туману, вона може контролювати умови мікроклімату, але дослідникам важко створити керуючий пристрій за допомогою релейного модуля, оскільки Raspberry Pi не має аналогового контакту, тому в якості альтернативи потрібен аналого-цифровий конвертер.

#### 1.4 Постановка задачі

Впровадження енергоефективності є необхідним і є однією з ключових стратегій, необхідних для пом'якшення наслідків зміни клімату, зменшення забруднення та його впливу на здоров'я та навколишнє середовище, а також для забезпечення доступних енергетичних послуг.

За останні 40 років дослідники краще розуміли роль енергоефективності, починаючи від окремих користувачів і закінчуючи загальноекономічними рівнями.

Дослідники вивчали вдосконалення технологій кінцевого використання енергії, програми енергоефективності та результати політики, а також динаміку та рівновагу, які формуються у міру підвищення продуктивності енергії.

Хоча всі ці аспекти можуть бути вкладені в дослідження енергоефективності, насправді вони досліджують різні, але часто взаємопов'язані ефекти.

Для написання кваліфікаційної роботи необхідно виконати наступні задачі:

- провести огляд відомих методів із забезпечення енергоефективності та енергозбереження підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», порівняти визначити їх переваги та недоліки;
- провести аналіз енергоспоживання підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»;
- розробити модель споживання енергії підсистемою клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», враховуючи потреби та поведінку користувачів підсистеми;
- розробити метод та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який буде враховувати недоліки відомих методів та зможе забезпечити достатній рівень енергоефективності та енергозбереження в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»;
- провести експериментальне дослідження функціонування програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та оцінити її ефективність.

Отже, можна зробити висновок, що існує необхідність у розробленні нових методів, які враховуватимуть переваги та недоліки відомих підходів та забезпечать підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

## 1.5 Висновки

В результаті поведеного аналізу сучасних методів забезпечення енергоефективності та енергозбереження в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» можна зробити висновок, що дана проблема є надзвичайно актуальною.

Вивчаються різні моделі енергоефективності, які використовують інтелектуальне та машинне навчання.

Однак ці системи все ще аналізують лише певні існуючі шаблони користувачів і масово збирають електроенергію, використовуючи дані. Це просто статистичний і чисельний аналіз зібраних даних.

Щоб зрозуміти закономірності кожного користувача, потрібна система, яка змістовно обробляє й аналізує індивідуальні дані користувача, а не масові дані.

Як бачимо, розглянутим підходам властиві певні недоліки, а саме: необхідність в попередньому вивченні потреб споживача, що може вимагати значних витрат часу; складність визначення оптимального рівня комфорту, правил безпеки та складність підбору необхідної функціональності.

Майбутній метод повинен керувати майбутніми моделями інновацій, впровадженням технологій, що стосуються системи клімат-контролю в розумних будинків, особливо якщо енергетичні послуги стануть більш доступними.

## 2 МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

2.1 Модель процесу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Система управління клімат-контролем, забезпечує контроль температурного режиму в кожному приміщенні будинку в залежності від зовнішніх погодних умов, а також потреб кожного користувача.

Так, визначати комфортний рівень температури та вологості можна для кожної кімнати окремо.

В різні сезони року, потреби користувачів відрізняються, тому клієнт орієнтовні виробники враховують дані потреби.

Так і при створенні певної моделі, потрібно визначити поведінку користувачів та їх запити, і вже на їх основі побудувати певну модель.

Можна розглянути декілька сценаріїв поведінки користувачів в тих чи інших ситуаціях, та визначити критичні точки від яких будемо власне відштовхуватись.

Представимо модель системи клімат-контролю, як керуючу множину:

$$A = \{A_j\}_{j=1}^{N_A}, \quad (2.1)$$

o – опалення;

v- вентиляція;

k – кондиціонування;

t – тепла підлога.

Розглянемо можливості кожної з підсистем якими можна керувати через систему клімат-контролю.

Опалення – штучний обігрів приміщень з метою підтримки на заданому рівні температури, що відповідає умовам теплового комфорту мешканців.

В підсистему опалення входить можливість керувати опалювальними котлами, мережевими насосами, тепловою мережею, пристроями автоматичної підтримки температури в приміщеннях, радіатори опалення, конвектори та інші пристрої.

Вентиляція – обміну повітря в приміщенні задля видалення надлишків теплоти, вологи, шкідливих та інших речовин з метою забезпечення допустимих показників для комфортних умов повітряного середовища.

В підсистему входить можливість керування зволожувачами повітря, вентиляторами, повітропроводами та іншими установками.

Кондиціонування – створення та підтримка сприятливих умов середовища. В більш вузькому значенні розуміють відведення зайвого тепла (тепло-надлишків) з приміщень, з метою забезпечення теплового комфорту.

Тепла підлога – загалом можна віднести до категорії опалення, але дана система має одну значну перевагу, розповсюдження тепла по приміщенню відбувається рівномірно, що дозволяє винести дану систему окремо.

А також дана система не впливає на зовнішній вигляд кімнати, та є чудовим варіантом для будинків з невеликою площею.

Оскільки регулювання показників, наприклад, зменшення температури, в системі клімат-контролю відбувається частіше за все саме через вентиляцію, а не через опалення, розглядати умови регулювання показниками середовища будемо саме через вплив на циркуляцію повітря.

При керуванні даною системою є можливість регулювати і показники температури, бо достатньо відкрити заслінки для подачі повітря, показники температури будуть змінюватись, що веде за собою зміну відносної вологості, оскільки та залежить від температури повітря.

Таким чином обрано системи управління на основі яких побудовано модель підвищення енергоефективності.

Енергія маси в установках обробки повітря визначається наступним чином:

$$m_{oa}h_{oa} + m_{ra}h_{ra} + Q_{cc} + Q_{hc} = (m_{oa} + m_{ra})h_{sa}, \quad (2.2)$$

де  $m$  (кг/с) — витрата маси повітря,

$h$  (кДж/кг) — питома кількість тепла (кількість тепла на кг сухого повітря) вологого повітря,

а  $Q_{cc}$  (кВт) і  $Q_{hc}$  (кВт) представляють тепло, додане зміювки охолодження та нагрівання до потоку змішаного повітря відповідно.

Тепло, що додається від припливного вентилятора, конденсація, що виникає в охолоджувальному зміювнику, і волога, додана від зволожувача, не беруться до уваги у рівнянні (2.2).

Підвищення температури на припливному вентиляторі можна розрахувати як

$$\frac{P_{sa}}{\rho_{air} \cdot c_{air} \cdot \eta}, \quad (2.3)$$

де  $P_{sa}$  (Па) – тиск припливного повітря,

$\rho_{air}$  (кг/м<sup>3</sup>) – це щільність повітря;

$c_{air}$  (Дж/кг<sup>o</sup>C) – це питома теплоємність повітря.

ККД вентилятора називається  $\eta$  і зазвичай становить від 0,65 до 0,8 [29].

Припускаючи, що постійна ефективність вентилятора становить 0,7 і оскільки підвищення тиску припливним вентилятором зазвичай знаходиться в діапазоні 200–500 Па для вентиляційних систем, підвищення температури вентилятора оцінюється між 0,25 і 0,6 °C.

Крім того, швидкість потоку пари, що впорскується з форсунок зволожувача, дуже низька порівняно з витратою припливного повітря.

Незалежно від температури пари, не очікується, що введена пара суттєво змінить температуру припливного повітря.

Отже, навантаження зволоження має незначний вплив на відчутне тепло і тому ним нехтують.

Індекси  $o_a$ ,  $r_a$  та  $s_a$  представляють зовнішнє, зворотнє та припливне повітря відповідно. Питома теплова функція вологого повітря (кДж/кг) визначається як

$$h = h_{da} + \omega h_g, \quad (2.4)$$

де  $h_{da}$  (кДж/кг) — питома теплова функція сухого повітря,

$\omega$  — відношення вологості (кг водяної пари на кг сухого повітря),

$h_g$  (кДж/кг) — питома теплова функція насиченої водяної пари.

Питома теплова функція сухого повітря визначається формулою

$$h_{da} = c_{air}T, \quad (2.5)$$

де  $c_{air}$  (кДж/кг $^{\circ}$ С) — питома теплоємність повітря.

Питома теплова функція насиченої водяної пари визначається формулою

$$h_g = 2501 + c_{wv}T, \quad (2.6)$$

де  $c_{wv}$  — питома теплоємність водяної пари (кДж/кг $^{\circ}$ С),

а 2501 кДж/кг — питома теплова функція водяної пари при 0  $^{\circ}$ С. Хоча  $c_{air}$  і  $c_{wv}$  залежать від температури, тиску та об'єму системи, що розглядається, вони вважаються постійними в усій установці. З урахуванням наведених вище припущень, рівняння (2.2) має вигляд:

$$m_{oa}(c_{air}T_{oa} + \omega_{oa}(2501 + c_{wv}T_{oa})) + m_{ra}(c_{air}T_{ra} + \omega_{ra}(2501 + c_{wv}T_{ra})) + Q_{cc} + Q_{hc} = (m_{oa} + m_{ra})(c_{air}T_{sa} + \omega_{sa}(2501 + c_{wv}T_{sa})), \quad (2.7)$$

оскільки коефіцієнт вологості зазвичай не вимірюється, його можна апроксимувати.

Отже, теплову функцію зовнішнього, зворотного та припливного повітря можна розрахувати, використовуючи дані відносної вологості та температури.

Оскільки частка зовнішнього повітря (OAF) визначається як

$$\frac{m_{ra}}{m_{oa}+m_{ra}} + \frac{m_{oa}}{m_{oa}+m_{ra}} = 1 - \text{OAF}. \quad (2.8)$$

Рівняння (2.2) в режимі економії  $Q_{cc} = Q_{hc} = 0$  перетворюється на:

$$\text{OAF} = \frac{h_{sa}-h_{ra}}{h_{oa}-h_{ra}} \quad (2.9)$$

З іншого боку, частку зовнішнього повітря можна розрахувати з розумного енергетичного балансу як,

$$\text{OAF} = \frac{T_{ma}-T_{ra}}{T_{oa}-T_{ra}}, \quad (2.10)$$

в режимі економії, коли  $S_{cc} = S_{hs} = 0\% \rightarrow T_{ma} = T_{sa}$  і частка зовнішнього повітря стає такою:

$$\text{OAF} = \frac{T_{sa}-T_{ra}}{T_{oa}-T_{ra}}. \quad (2.11)$$

Розрахована на основі теплової функції (рівняння (2.4)) і OAF нехтуючи прихованою енергією (рівняння (2.5)) на основі зовнішньої повітряної перегородки на позицію  $S_{od}$ , яка є кутовою, де дані відносної вологості доступні.

В ідеалі, коли заслінка зовнішнього повітря повністю відкрита, заслінка зворотного повітря повністю закрита, а фракція зовнішнього повітря 100%.

Витік в заслінку зворотного повітря може призвести до зменшення частки зовнішнього повітря, навіть якщо частка зворотного повітря повністю відкрита.

Середнє значення відмінностей між часткою зовнішнього повітря, розрахованою за тепловою функцією, і частка зовнішнього повітря, розрахована за температурою, становить 15%. Хоча прихована частина охолоджувальних навантажень може бути значною у вологі літні дні.

Періоди нагріву та охолодження вивчаються окремо, і рівняння балансу теплової маси за відсутності проміжних давачів для холодної погоди  $T_{sa}$  та теплої погоди  $T_{sa}$  має вигляд:

$$T_{sa} = x_1 S_{od} T_{oa} + (1 - x_1 S_{od}) T_{ra} + x_2 S_{cc} \quad (2.12)$$

$$T_{sa} = x_1 S_{od} T_{oa} + (1 - x_1 S_{od}) T_{ra} + x_3 S_{hc} \quad (2.13)$$

Коли доступні проміжні давачі, рівняння (2.12) і (2.13) стають для холодної погоди  $T_{csa}$  та теплої погоди  $T_{hsa}$ :

$$T_{csa} = T_{ma} + x_2 S_{cc}, \quad (2.14)$$

$$T_{hsa} = T_{ma} + x_3 S_{hc} \quad (2.15)$$

Розглянемо модель штучної нейронної мережі. ANN – це модель чорного ящика; п'ять входів ( $T_{oa}$ ,  $T_{ra}$ ,  $S_{od}$ ,  $S_{cc}$ ,  $S_{hc}$ ) використовуються у двох різних шарах для прогнозування виходу ( $T_{sa}$ ) за відсутності проміжних давачів.

У змішувальному боксі вентилятора зовнішнє і зворотне повітря змішуються на основі положення OAD, тому в моделі ANN  $T_{oa}$ ,  $T_{ra}$  і  $S_{od}$  вводяться в перший шар. Потім змішане повітря проходить через змішувик нагрівання/охолодження; таким чином  $S_{cc}$  і  $S_{hc}$  вводяться в другий шар.

Щоб дослідити функціональність CCV, OAD та HCV, різниці температур розраховуються таким чином:

- клапан опалювання: різниця температур припливного повітря між 100% відкритим і повністю закритим HCV в режимі опалення;
- клапан охолодження: різниця температур припливного повітря між 100% відкритим і повністю закритим CCV в режимі охолодження;
- заслінка зовнішнього повітря: різниця температури припливного повітря між 90% відкритим і 10% відкритим OAD в режимі економії.

Також розглянемо лінійну модель, яка навчена генетичним алгоритмом, що допоможе системі клімат-контролю само-розвиватись в подальшому.

Невідомі параметри  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_3$  тієї ж моделі MLR (рівняння (2.10)) розв'язуються за допомогою генетичного алгоритму замість традиційного методу найменших квадратів.

Причина, чому та сама лінійна модель була навчена за допомогою генетичного алгоритму (GA), а також зі стандартним вирішенням найменших квадратів, полягає в тому, що GA дозволяє розробнику моделей визначати обмеження для оцінок параметрів під час їх пошуку. Тому пошук параметрів здійснюється в допустимих межах.

З іншого боку, звичайне рішення методом найменших квадратів знаходить глобальні мінімуми, не враховуючи, чи є оцінки параметрів фізично розумними чи ні. Більше того, на відміну від методів послідовного пошуку, які генерують єдине рішення при кожному повторенні, GA підтримує велику сукупність рішень-кандидатів, які проходять процеси оцінки, відбору, перехрещення та мутації протягом багатьох поколінь, доки не буде виконана умова зупинки.

Однак зі складними моделями генетичний алгоритм може повільно зближуватися, і існує невизначеність щодо вибору чисельності популяції та кількості поколінь.

Збільшення розміру популяції збільшує ймовірність того, що початковий стан популяції міститиме ген, що представляє оптимальне рішення, але також збільшує кількість поколінь, необхідних для зближення.

Дослідження впливу чисельності популяції на конвергенцію GA показують, що доцільно використовувати якомога більшу чисельність популяції, яка дозволяє швидко зближуватися з мінімальною кількістю поколінь .

У цій моделі розміри популяції та покоління визначаються як 1000 і 20 відповідно. Параметри моделі  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_3$  представляють змінні рішення використовуваної моделі.

Діапазон пошуку оцінок параметрів був встановлений таким чином, щоб DT на змійовику охолодження/нагрівання варіювався від 0 С до 20 С.

Частка OAD коливається в межах від 0 до 1,5, щоб дозволити параметр для виявлення не тільки під зовнішнім повітряним потоком, але і над потоком зовнішнього повітря; тому нижня та верхня межі для параметрів  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_3$  визначаються як [0,1.5], [-20,0], [0,20] відповідно.

У генетичному алгоритмі, як і в інших моделях, падіння температури на змійовику охолодження у всіх п'яти агрегатах і підвищення температури на нагрівальному змійовику в агрегатах 1, 2 за відсутності датчиків можна порівняти з тим, коли датчики доступні.

Однак підвищення температури на змійовику опалення в установках 3 та 5 за відсутності датчиків виходить за межі вказаного діапазону.

У вентиляторі 4 підвищення температури на змійовику опалення з датчиками та без них близьке до нуля, що вказує на несправність, пов'язану з HCV. Зі значень параметра  $x_1$  можна сказати, що OAD веде себе так, як очікується в вентиляторі 1 (параметр  $x_1$  є найближчим до 1) і зовсім не близький до необхідних очікувань в вентиляторі 2.

Було досліджено декілька компонентів, які входять до підсистеми клімат-контролю, розташованих у різних частинах будівлі, щоб визначити можливість виявлення неполадок OAD, HCV та CCV за відсутності проміжних датчиків температури, таких як датчики температури змішаного повітря та після заявленої нагрівання.

Три алгоритми – MLR, ANN та GA – були використані для моделювання зміни температури повітря в приміщеннях.

Оцінені параметри за згенерованими моделями показали, що всі три алгоритми можуть діяти як віртуальні давачі для прогнозування проміжних температур.

Ці проміжні вимірювання необхідні для виявлення серйозних неполадок у зовнішніх повітряних заслінках вентиляційних установок, а також у клапанах змішувача опалення/охолодження.

Усі параметри підвищення/падіння температури на змішувачу нагрівання/охолодження з давачами та без них узгоджувалися, за винятком підвищення температури на змішувачу опалення в трьох агрегатах.

## 2.2 Моделі споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів

Розглянемо будинок (рисунок 2.1), який можна умовно поділити на зони, в якому встановлений програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в розроблюваній кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Програмно-технічний засіб надає можливість управління наступними підсистемами: опалення, керування теплими підлогами, зволоження повітря, вентиляції та кондиціонування.

Представимо модель розподілення зон за допомогою кортежу

$$L_c = \langle O, K, D, P, f_c, f_\rho \rangle, \quad (2.16)$$

де  $O$  – множина керування для опалення;

$K$  – множина керування для охолодження;

$D$  – вхідні дані, клімат зони до внесення змін;

$P$  – клімат зони після регулювання системою клімат-контролю;

$f_c$  – функція зміни температури;

$f_\rho$  – функція зміни вологості.

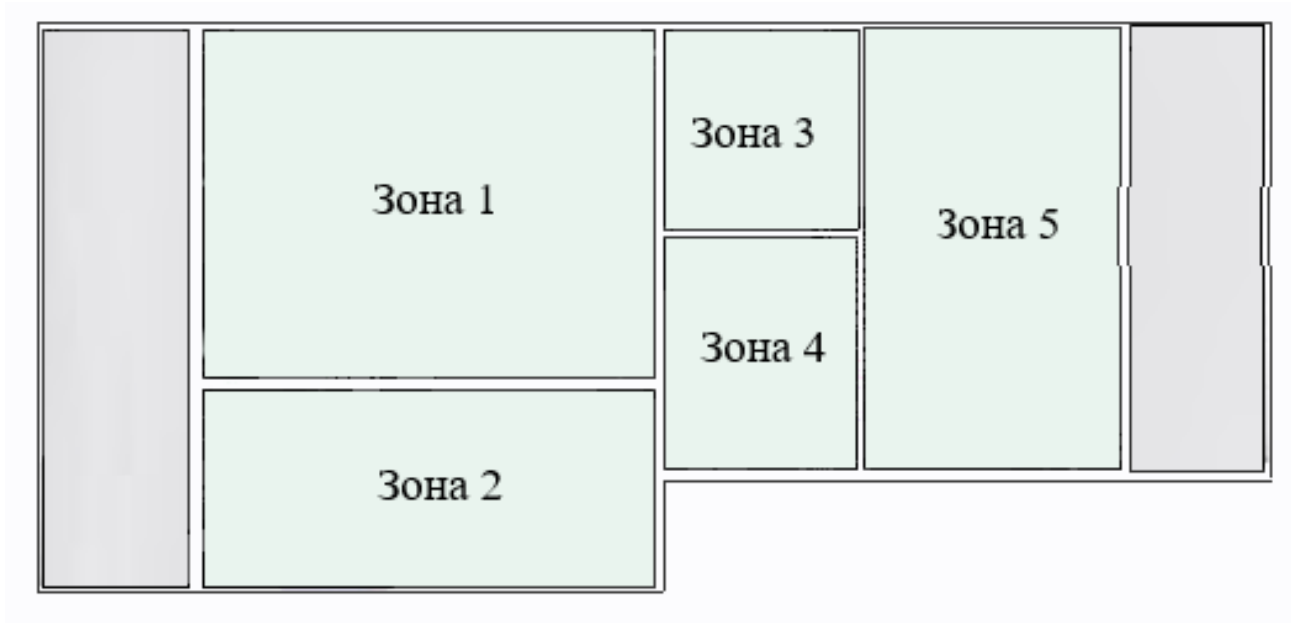


Рисунок 2.1 – Імітаційна модель розподілення зон

Наприклад проживає сім'я, в якій в кожного різні вимоги до комфортного середовища. Для початку розглянемо спальню дорослих, для них затишна температура (рисунок 2.2) наприклад для сну у літній період 24-25 °С та в зимовий 20-24 °С при відносній вологості 50%.

Дані параметри можна зазначити при налаштуванні підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Проте в кімнаті протягом дня може нікого не бути, тому підтримання оптимального рівня температури для мешканців є некоректним з точки зору енергоефективності.

Як бачимо з рисунку 2.2 побажання мешканців різняться достатньо, тому основна задача з допомогою контролерів та датчиків створити систему управління підсистемою клімат-контроль, яка буде підтримувати оптимальну зону комфорту в будинку, не порушуючи допустимі норми.

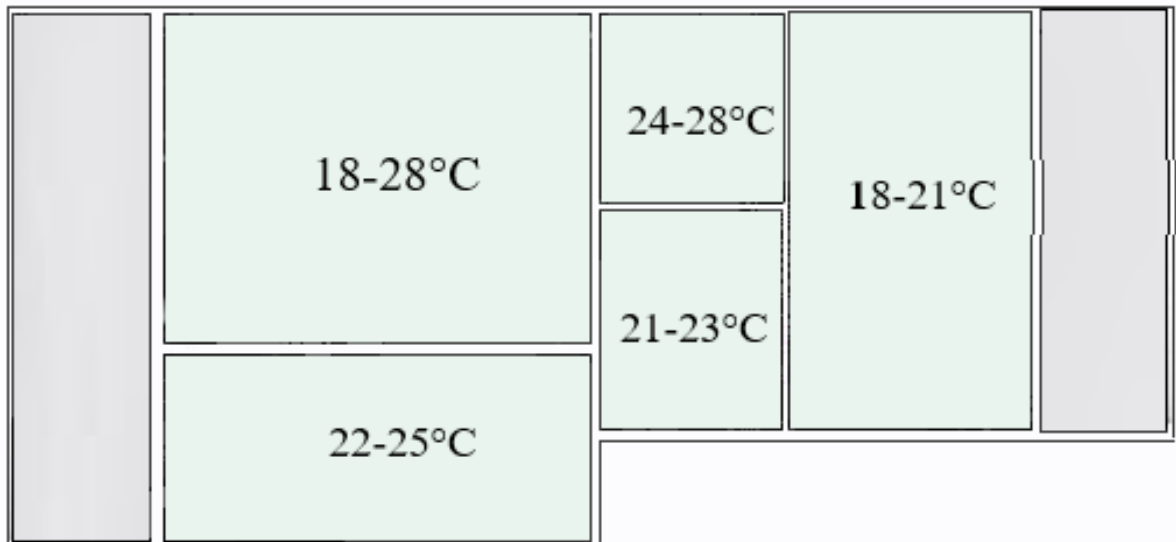


Рисунок 2.2 – Побаження до температури різних мешканців

Таблиця 2.1 – Змінні для підтримки комфортної температури згідно потреб мешканців будинку

Допустимі умови	Мінімальні	Максимальні	Крок	Зони розповсюдження
Параметри для опалення	18	23	0,5	Окремі зони, за потребою
Параметри для зниження температури (кондиціонування)	23	26	0,5	Окремі зони, за потребою

Доречнішим також буде з допомогою інших комплектуючих, які входять до системи розумного будинку, наприклад, автоматичне відкриття вікон робити додаткове провітрювання протягом дня.

Дана процедура збереже енергію, яка б пішла на кондиціонування використовуваного приміщення.

Також необхідно притримуватись визначених нормативних показників описаних в таблиці 2.2 для необхідного забезпечення норм проживання в житловому будинку.

Таблиця 2.2 – Оптимальні та допустимі показники мікроклімату

Пора року	Температура повітря		Відносна вологість		Циркуляція повітря	
	оптимальна	допустима	оптимальна	допустима, не більше	оптимальна	допустима, не більше
Холодна	19-21	18-23	45-30	60	0.2	0.3
Тепла	23-25	18-28	60-30	65	0.3	0.4

Стратегії контролю комфорту в будівлях грубо класифікуються на (1) звичайні методи, (2) інтелектуальне керування та (3) методи моделювання на основі кількох агентів (МABM).

Ці три класифікації не є взаємовиключними.

Наприклад, інтелектуальна система на основі кількох агентів може використовувати методи обчислювального інтелекту, такі як нечітка логіка, щоб зробити своїх агентів розумними.

У роботі досліджується лише вплив на енергоефективність з допомогою керування підсистемою клімат-контролю.

Зонування використовується для призначення різних графіків заповнюваності для кожної зони, щоб мати можливість застосувати локальне керування підсистемою клімат контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі різних видів діяльності в кожній зоні.

Ці зони створюються за допомогою віртуальних розділів для відокремлення відкритих просторів без фізичних меж, які можуть вплинути на енергоспоживання простору.

Щільність мешканців у цьому будинку вважається значення наближене до 0,01 чол./м<sup>2</sup>.

Гіпотетичний графік заповнюваності був визначений на основі орієнтовних потреб по перебуванню в певній зоні, на основі вибіркового даних.

У таблиці 2.3 наведено розширений графіки заповнюваності для чотирьох зон протягом року.

Даний розклад використовується для визначення графіка заповнюваності кожної зони та для різних днів тижня. Ці графіки використовуються для розрахунку внутрішніх навантажень, які впливають на споживання енергії підсистемою клімат-контролю.

Згідно графіку бачимо що сім'я протягом тижня знаходиться вдома, а вихідні та святкові дні проводить в колі друзів або подорожує. Тому прийнято, що в святкові дні вдома нікого немає.

Проте даний графік не розповсюджується на мешканців, які люблять проводити більшість часу вдома. В їх випадку зайнятість території буде схожа на показники таких днів як понеділок або інший будній день.

Також і для працюючих поза домом сімей, графік буде кардинально відрізнятись. Будні дні будуть по навантаженню на зони походити на суботу лише з іншим часовим графіком.

А вихідні дні навпаки будуть схожі по завантаженню до будніх днів, які показані в таблиці 2.3.

Також, часовий проміжок з 22:00-10:00 не вказано в таблиці з огляду на те, що активність в будинку в цей проміжок часу буде в зоні 5 – спальних кімнатах і дорівнює зайнятості 100%.

Таблиця 2.3 – Ймовірні розклади зайнятості в чотирьох зонах

День тижня	Зона 1		Зона 2		Зона 3		Зона 4			
	Часовий період	Зайнятість (%)	Часовий період	Зайнятість (%)	Часовий період	Зайнятість (%)	Часовий період	Зайнятість (%)		
Понеділок	10:00-12:00	50	17:30-18:00	100	11:00-12:30	50	Цілий день	0		
	13:00-16:00	50								
	16:30-17:30	100	18:00-19:30	50	14:00-17:00	50				
	17:30-18:00	50								
	19:30-20:30	100	19:30-20:30	50						
	20:30-21:30	50								
Вівторок	11:30-14:00	100	11:00-11:30	50	11:30-13:00	50	13:00-14:30	100		
	14:00-17:00	50	11:30-14:00	100			14:30-15:00	50		
	18:00-19:00	50	19:00-20:00	100	13:00-14:30	100	19:00-20:00	50		
							20:00-21:00	100		
	19:00-20:00	100	20:00-21:00	50			21:00-22:00	50		
Середа	10:30-13:00	100	10:30-13:00	100			11:00-11:30	50	11:30-14:00	100
	13:00-13:30	50	15:00-16:30							
	15:00-16:00	100	17:30-19:00	100	11:30-14:00	100				

Кінець таблиці 2.3 – Ймовірні розклади зайнятості в чотирьох зонах

	16:00-17:30	50	19:00-19:30	50			20:00-22:00	50
	19:00-19:30	100	20:00-21:00	50	15:00-18:00	50		
	19:30-20:30	50						
Четвер	10:00-12:00	50	10:30-13:00	100	12:00-13:00	100	16:00-16:30	100
	13:00-16:00	100	15:00-16:00	100				
	16:30-17:30	100	17:30-19:00	50	15:00-16:00	100		
	17:30-18:00	50	19:00-19:30	100			18:00-19:00	50
	19:30-20:30	100	20:00-20:30	50	16:30-18:00	100		
	20:30-21:30	50	20:30-21:00	100				
П'ятниця	11:00-13:00	50	13:00-14:00	100	10:00-11:00	100	9:30-10:00	50
							10:00-11:00	100
	13:00-14:00	100	14:00-16:00	50	13:30-15:30	50	12:00-13:00	50
							15:30-16:00	50
Субота	15:30-17:30	50	13:00-15:00	50	Цілий день	0	Цілий день	0
	19:00-21:00	100						
Неділя	13:00-16:00	50	Цілий день	0	Цілий день	0	15:30-16:00	50

Для найбільш оптимального користування підсистемою клімат-контролю необхідно установити рамки графіку роботи підсистеми.

Щоб мати можливість застосувати запропоновану структуру інтеграції, у систему Розумного будинку слід вибрати режим детального керування системи клімат-контроль.

Прості дані підсистеми клімат-контролю та докладні дані є двома типами даних у цьому режимі системи.

Хоча останній має більшу гнучкість з точки зору визначення графіків для заданих точок опалення та охолодження, модуль оптимізації DesignBuilder обмежений простими даними HVAC. Тому цей тип даних використовується в даному дослідженні.

Система клімат-контролю налаштована на роботу за годину до найранішого початку активності поза спальнями мешканців (Таблиця 2.3) для кожної зони та для кожного дня тижня.

Охолодження, вентиляція і кондиціонування вимикається, коли всі мешканці залишають дані зони.

Для певних параметрів(святкові дні) підсистема клімат-контролю працює за одним графіком для всіх днів тижня для кожної зони.

При формуванні імітаційної моделі розподілення зон доречно використовувати можливості, які надає використання нейронних мереж. Адже це означає, що при наданні певної вибірки змодельованих ситуацій система клімат-контроль при наданні їй нових даних буде “навчатись”.

У цьому випадку доречно додати метод ланцюга Маркова, який використовується для аналізу з метою розробки імовірнісних профілів заповнюваності.

Оскільки переміщення мешканців між зонами всередині та за межами будинку створює профіль зайнятості, передбачається випадкова мобільність між різними робочими станами.

Це припущення дозволяє моделювати переходи між робочими станами, як ланцюговий процес Маркова. Отже, наступний робочий стан мешканця залежить лише від його поточного стану та деяких правил щодо робочих станів.

Знаючи, що майбутній стан мешканця залежить від його поточного стану, переходи станів визначаються в матрицях Маркова.

Оскільки весь день групується в різні часові інтервали, як зазначено в таблиці 2.3, ймовірність появи різних станів змінюється залежно від часу доби, тому матриці ймовірності переходу різні для кожного з використовуваних часових інтервалів. Цей тип ланцюгового процесу називають неоднорідним ланцюгом Маркова.

На першому кроці визначення матриць ймовірності переходу, РТ кожного мешканця в різні дні тижня разом із розподілом перебування в різних робочих станах протягом РТ виводяться з результатів Фаз 1 і 2 обробки даних. Кроки. Далі обчислюються ймовірності переходу між різними робочими станами. Для цього потрібні два параметри:

- розподіл у відсотках кожного робочого стану для кожного мешканця;
- випадки переходу між різними робочими станами для кожного мешканця.

Потім обчислюється матриця ймовірності переходу мешканців в іншу зону, на основі чого буде сформовано імовірнісний профіль мешканця.

Імовірнісний профіль кожного мешканця показує ймовірність присутності мешканця в певний час доби в певному місці.

Цей профіль можна використовувати для прогнозування статусу мешканців та попереднього налаштування операційних систем будівлі, щоб заощадити енергію, а також задовольнити рівень комфорту мешканців у приміщенні.

На рисунку 2.3 та 2.4 показано частоту перебування одного з мешканців будинку в одній з зон за місяць.

Як бачимо для даного мешканця комфортніше перебувати в першій зоні в певні дні місяця, даний розподіл може залежати від погодних умов.

Адже перебування в іншій зоні, в якій мешканець перебуває також доволі часто має більш плавний графік.

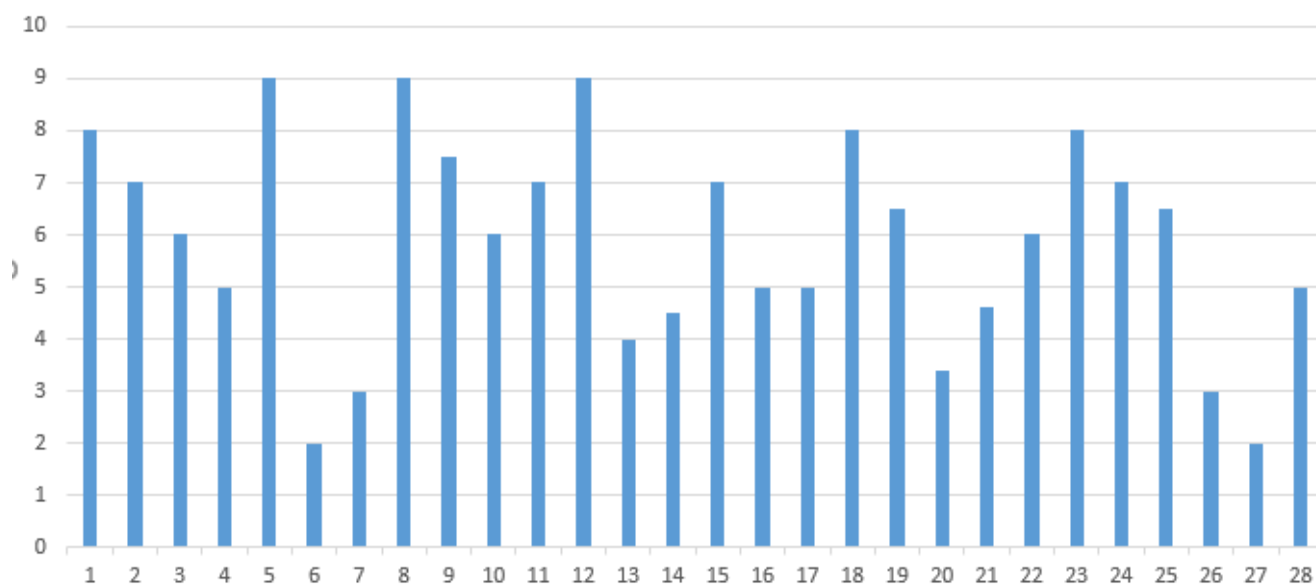


Рисунок 2.3 – Перебування одного з мешканців в зоні 1

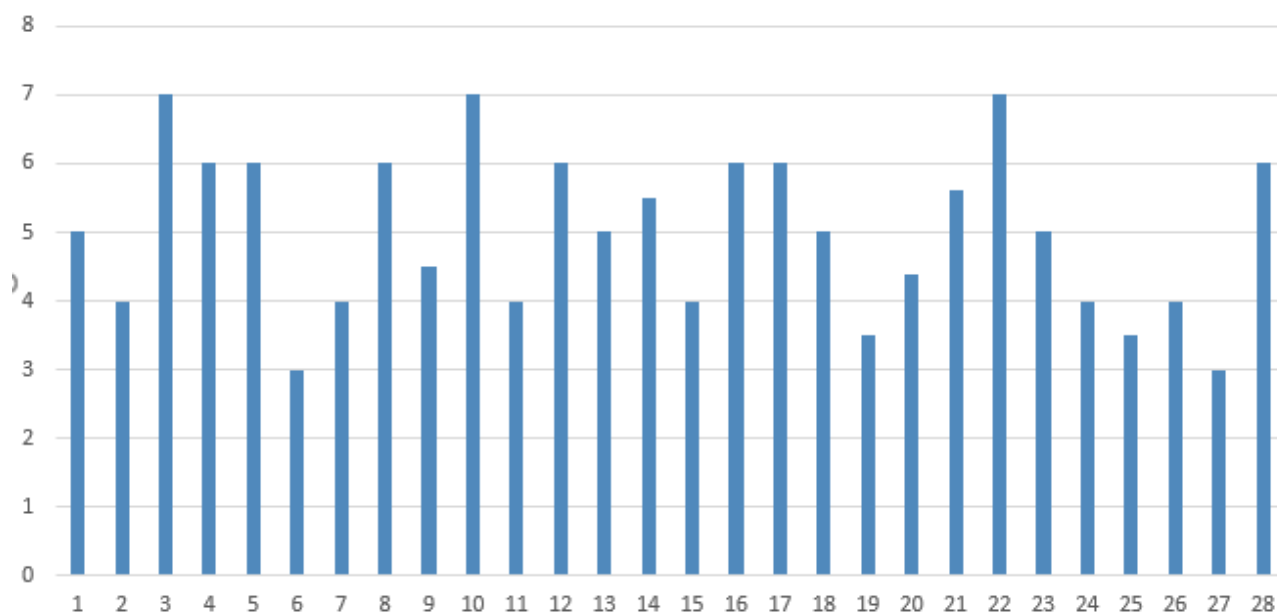


Рисунок 2.4 – Перебування одного з мешканців в зоні 2

При аналізі частоти перебування мешканців по зонах, необхідно також враховувати на скільки активно було проведено час, та в подальшому це допоможе прогнозувати ймовірнісні сценарії перебування мешканців.

### 2.3 Висновки

В даному розділі розроблено модель процесу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка ґрунтується на зонуванні житлового будинку, та на відміну від відомих моделей заснована на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів.

Ця модель спрощує управління, оскільки існує багато факторів, які визначають точність моделі, а особливо мешканці, їх присутність в кімнатах, частота та час перебування в різних зонах будівлі та їх побажання.

Концепція зонування допомагає зосередити використання енергії в певному місці, в той час зони, які певний проміжок часу не зайняті мешканцями, зберігають енергію, що надасть можливість підвищити енергоефективність.

### **3 МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»**

3.1 Основи методу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Основаючись на результати відомих методів, є фактори впливу на показник енергоефективності, та не всі можна попередньо записати в сценарій роботи розробленої моделі управління енергоефективністю підсистеми клімат-контроль. Виділимо та розглянемо основні сім категорій:

- зовнішній клімат, це і температура повітря, швидкість вітру;
- характеристики будівлі, площа, висота, розміщення кімнат;
- побажання мешканців;
- технічні можливості будинку, наявність пристроїв;
- соціальні та економічні фактори;
- модель поведінки мешканців;
- особливості навколишнього середовища.

На певні категорії є можливість вплинути, до певних можна пристосуватись, але деякі залежать виключно від ситуації.

Так побажання мешканців можна врахувати, та підлаштовувати управління системою енергоефективності клімат-контроль.

Згідно характеристик будівлі буде відбуватись розстановка датчиків, пристроїв керування підсистемами таких як вентилявання, опалення і т. д.

Однак останні три критерії можуть знизити показники енергоефективності швидко. Якщо модель поведінки самих мешканців не буде відповідати загалом терміну економія, енергоефективність, то кіберфізична система «Розумний будинок» не сильно вплине на кінцевий показник.

Запропонований метод складається з двох етапів: етап моніторингу за мешканцями та збір інформації по діям контролерів, які працюють за вказаним

алгоритмом у різних зонах та етап машинного навчання, що дозволить робити прогнозування по подальшим діям.

Визначимо основні кроки етапу моніторингу за мешканцями:

1. встановлення датчиків руху або мультидатчиків;
2. визначення об'єкту, мешканця;
3. встановлення проміжку часу спостереження;
4. проведення анкетування для визначення детальних потреб мешканців;
5. аналіз проведеного анкетування;
6. реєстрація мешканців в додатку, де можна відслідковувати, які значення по температурі та іншим показникам встановлено вручну;
7. аналіз відношення зони перебування та внесених змін.

Сформулюємо основні кроки етапу машинного навчання:

1. ввести початкові дані, визначені по частоті перебування мешканців в певних зонах;
2. додавання оптимальних умов, які мають підтримуватись в певних зонах;
3. вказати параметри моделі;
4. вибір алгоритму роботи;
5. на основі існуючих даних, робити висновки, відмічати закономірності;
6. внесення нових даних з додатку (зміни коли? що? де?);
7. розвиток згідно перших висновків та нових показників;
8. самонавчання.

Запропонована структура складається з запуску імітаційна модель в модулі оптимізації. Щоб досягнення цілей мінімізації споживання енергії а також години дискомфорту мешканців, енергію використовуються моделі прогнозування за допомогою засобів моделювання вибір найбільш оптимізованих налаштувань для енергії системи споживання з урахуванням місцезнаходження мешканців та переваги.

Згідно представленої вище моделі, сформуємо метод, на основі якого буде розроблено програмно-технічний пристрій.

Існує багато факторів, що визначають точність сформованих профілів мешканців, включаючи тривалість присутності мешканців та їх розташування в будівлі простори та їх уподобання.

Нові системи визначення місцезнаходження в реальному часі (RTLS) можуть надавати перші дані, а останні дані можна збирати за допомогою простої анкети.

Запропонований метод складається з трьох основних модулів, як показано на рисунку 3.1. У кожному модулі є кілька кроків, які детально пояснюються далі.

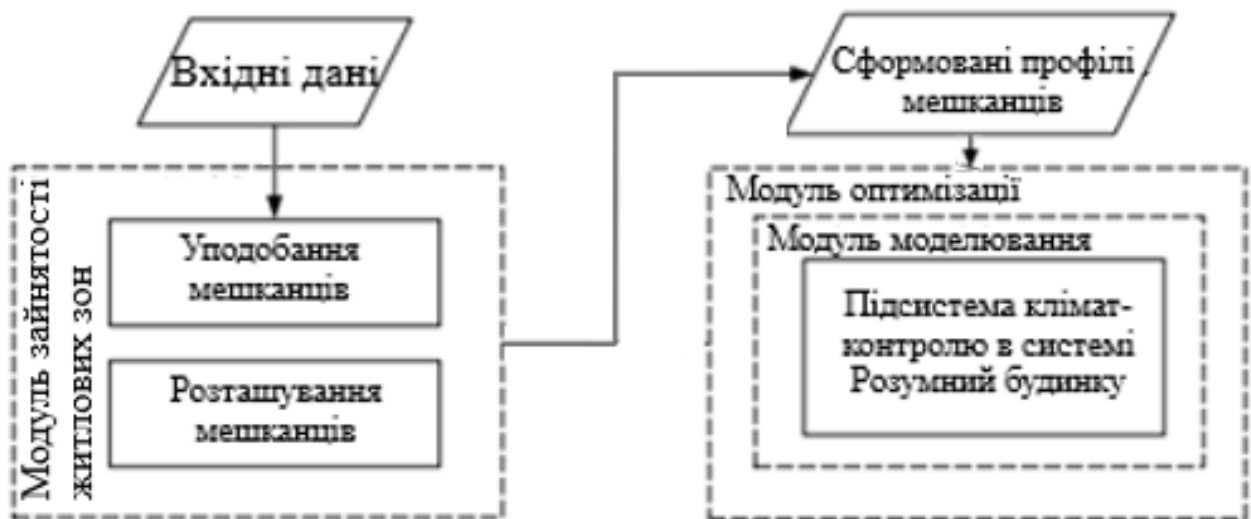


Рисунок 3.1 – Основні модулі запропонованого методу

Розглянемо детальніше модуль зайнятості житлових зон. Він використовується для визначення кількості мешканців, створює профілі з показниками на основі їх розташування та дані про переваги, погодинне розташування мешканців, а також бажані зміни в налаштуваннях підсистеми клімат-контролю та освітлення системи записуються, щоб знайти просторово-часові закономірності переваги мешканців щодо цих систем.

RTLS та опитування використовуються для збору даних щодо місця розташування мешканців та їх уподобання, відповідно.

Підхід опитування вибирається з моменту запиту мешканців про їхні уподобання – це найкращий спосіб мати чітке розуміння задоволеності мешканців критерії. Крім того, RTLS можуть виявляти розташування мешканців та стають дешевшими та простішими в реалізації.

Вхідні дані слід проаналізувати для того, щоб створювати профілі мешканців. RTLS може використовуватися для відстеження місцезнаходження мешканців на певній частоті.

Визначені дані про місцезнаходження можна використовувати для створення індивідуального динамічного профілю для кожного мешканця, що буде відповідати фактичному шаблону цього конкретного мешканця.

Існують різні види RTLS, які використовуються дослідниками для збору даних про місцезнаходження.

Наприклад, є технологія RFID для виявлення кількості мешканців та тривалості перебування. Використовуються також ультра широкопasmовий (UWB) RTLS для пошуку інформації, що стосується місцезнаходження мешканців.

Після збору даних про зайнятість, аналіз потрібен, щоб знайти періоди відсутності, присутності, перерви та інші випадкові зміни в профілі. Системи клімат-контролю та вентиляції повинні бути скориговані, щоб відобразити зміни щоденних профілів мешканців.

Розглянемо також модулі оптимізації на основі моделювання поведінки та вподобань мешканців.

Модуль оптимізації використовує профілі мешканців для оптимізації визначених цільових функцій.

Генетичний алгоритм оптимізації (GA) починається зі створення початкової популяції розміру  $N$  у першому поколінні.

Вхідними змінними для оптимізації є переваги мешканців та комбінований імовірнісний профіль мешканців для кожної зони в просторі з точки зору системи клімат-контролю.

Налаштування параметрів підсистеми клімат-контролю та освітлення кожної зони в будівлі випадковим чином змінюються в межах їх попередньо визначених діапазонів, щоб створити комфорт для мешканців.

У цьому дослідженні цільовими функціями є дискомфорт мешканців та енергоспоживання, які слід звести до мінімуму одночасно.

Дискомфорт мешканців, пов'язаний з температурою приміщення, визначається як різниця між бажаною заданою точкою для системи клімат-контролю та фактичною температурою зони, щоб забезпечити приємну зону.

Ще одним фактором дискомфорту є кількість освітлення, передбаченого для кожного мешканця. Таким чином, цільова функція дискомфорту мешканців є поєднанням цих двох факторів.

На основі вибраних значень цих змінних у кожному запуску моделювання розраховуються цільові функції оптимізаційного механізму.

Після розрахунку значень пристосованості, операції відбору, перехрещення та мутації процедура виконується для всіх мешканців даного будинку.

Рисунок 3.2 ілюструє цю процедуру.

Оптимальні результати, отримані від запуску інтегрованої системи оптимізації на основі моделювання (рисунок 3.3), використовуються для контролю налаштування підсистеми клімат-контролю з урахуванням компромісу між задоволеністю мешканців та споживанням енергії.

Метод пропонує пройти три основні етапи, які включають в себе збір даних, їх обробку та модель прогнозування зайнятості зон.

Під час обробки даних потрібно провести їх аналіз, щоб визначити важливі характеристики зайнятості зон, а також кількість мешканців, які періоди їх присутності та інші показники.

Важливо також щоб система клімат-контролю продовжувала навчатись на основі прогнозування, графіку по наповненню зон та даних з профілів користувачів. Тому при проектуванні необхідно додати програмований логічний контролер.

Робота підсистеми клімат-контролю для досягнення бажаних показників по комфорту та по енергоефективності не є миттєвим процесом, як і інші системи, наприклад освітлення, проте відомі методи в даній області досліджень набирають обертів в розвитку, що дає можливість визначати переваги на недоліки в порівнянні.

Можна відзначити, що в офісних будівлях впровадження системи клімат-контролю спрощене, оскільки частіше працює відносно оптимальних, а не бажаних працівниками показників.

Та спрощений графік роботи системи, оскільки в не робочий час, так як немає наповненості офісу систему можна вимкнути.

При розгляді жилого будинку в якому встановлена система «Розумний будинок» графік роботи системи клімат-контроль не такий однозначний, оскільки орієнтований не лише на виконання показників з енергоефективності, а й має забезпечувати рівень комфорту мешканцям.

Оскільки в побудові моделі зосередження уваги на показниках, які ми отримуємо з модернізації підсистеми вентилявання приміщення метод побудований також навколо даного фактору.

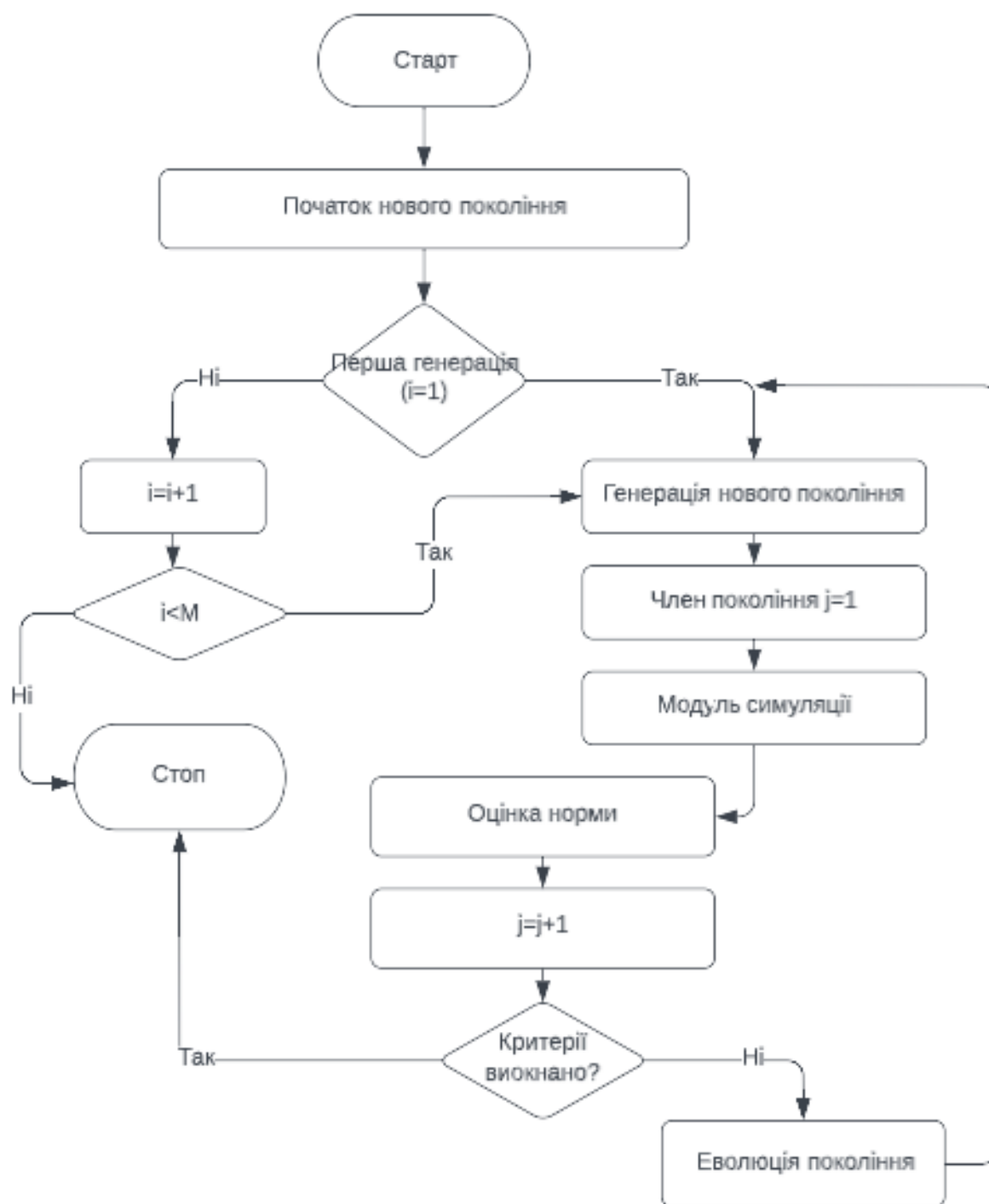


Рисунок 3.2 – Процедура розрахунку вподобань мешканців

Проте це не означає, що нехтується вплив на показники енергоефективності іншими складовими підсистемами клімат-контроль і системі «Розумний будинок».

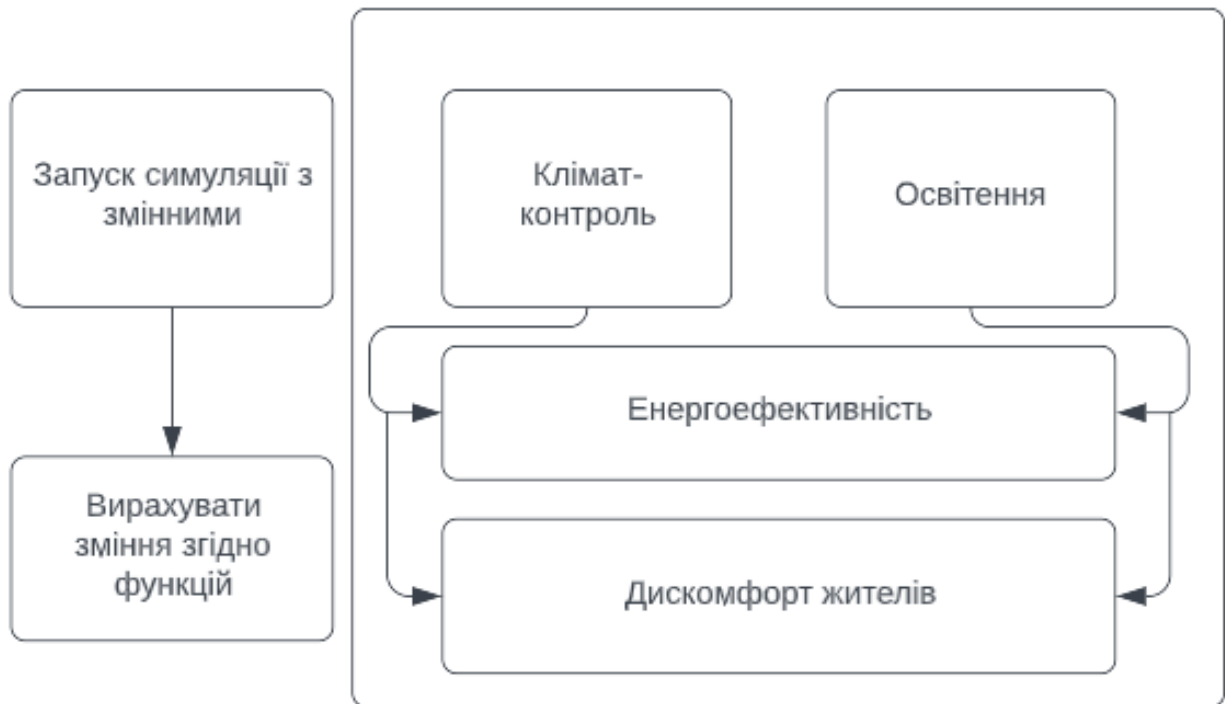


Рисунок 3.3 – Інтеграція модулю симуляції в модуль оптимізації

Розглянемо для початку критерій, який попередньо не враховувався в розрахунки, але він в певні періоди може кардинально змінити показники. І це пора року та температура ззовні.

В теплу пору року використання енергії зосереджено на циркуляцію повітря в приміщенні та зниження температури в приміщенні до комфортної для користувача, якщо така вказана, або ж до показників оптимальних умов, які були описані в попередньому розділі.

За необхідності обігріти приміщення з допомогою системи тепла підлога, що дозволить підняти температуру повітря рівномірно.

В холодну пору року зосередження використання енергії саме на обігрів зон в яких будуть перебувати мешканці, а також за необхідності підтримка середнього показнику температури через систему теплої підлоги.

Програмно це реалізується через інформацію, яку отримуємо з датчиків руху.

Якщо в проміжок часу в певній зоні спостерігається активність, в ній можна подавати сигнал для збільшення температури.

Проте різниця у споживанні енергії в різні пори року не велика, оскільки той об'єм енергії, який використовується для обігріву не значно відрізняється від об'єму енергії необхідного для зниження температури.

У більшості випадках потрібно вимірювати високі температури.

Тривале перебування первинного перетворювача під дією високих температур призводить до втрати його метрологічних та технічних характеристик, що значно зменшує термін їх використання.

Зменшення часу вимірювання можна досягти, прогнозуючи значення температури за перехідним процесом.

Одним з перспективних методів розв'язання цієї задачі є застосування нейронних мереж.

Штучні нейронні мережі складаються з простих нейронів, які взаємодіють між собою та дають змогу виконувати паралельні обчислення.

Кожен нейрон мережі отримує вхідні сигнали, після чого проводить певні обчислення (сума, різниця, добуток тощо) та після обробки, подає вихідні сигнали іншим нейронам.

З'єднані в достатньо велику мережу прості нейрони разом здатні виконувати доволі складні завдання.

Хоча нейронні мережі можуть бути реалізовані у вигляді швидких апаратних пристроїв, більшість досліджень виконується з використанням програмного моделювання на звичайних комп'ютерах.

Програмне моделювання забезпечує доволі дешеве і гнучке середовище для пошуку і перевірки дослідних ідей.

Хоча рішення на основі нейронної мережі може виглядати і функціонувати, як звичайне програмне забезпечення, це не так.

Оскільки більшість реалізацій на основі нейронних мереж передбачає машинне навчання: мережа вчиться виконувати завдання, а не програмується безпосередньо.

Здебільшого, коли неможливо написати відповідну програму, використовують нейронні мережі.

За часту, знайдене нейронною мережею рішення є найефективнішим рішенням для розв'язання поставленої задачі.

Штучні нейрони це прості процесори, в яких обчислювальні можливості істотно обмежені.

Вихідний сигнал нейрона може надсилатися іншим нейронам через зважені зв'язки.

З кожним таким зв'язком пов'язаний ваговий коефіцієнт. Залежно від значення вагового коефіцієнта сигнал може або збільшуватися або зменшуватися.

Виділяють три типи нейронів залежно від функцій, які вони виконують у мережі:

- вхідні нейрони;
- приховані нейрони;
- вихідні нейрони.

На вхідні нейрони подаються сигнали, які масштабуються; приховані нейрони створюють основу нейронної мережі й виконують необхідні перетворення сигналів.

В нейронних мережах найчастіше використовуються нейрони з такими передавальними функціями:

- лінійна;
- одинична;
- кусково-лінійна;
- сигмоїдальна.

За архітектурою можна виділити три основні типи нейронних мереж:

- рекурентні нейронні мережі (нейронні мережі зі зворотним зв'язком);
- мережі прямого поширення;
- повністю зв'язані мережі.

У мережах прямого поширення нейрони згруповані в шари: вхідний шар,  $n$  прихованих шарів і вихідний шар.

В мережах з такою архітектурою кожен нейрон певного шару має прямі зв'язки з нейронами наступного шару. Найчастіше нейронні мережі прямого поширення застосовують для класифікації образів, апроксимації функцій, прогнозування, управління тощо.

У рекурентних мережах стан нейрона в певний момент часу може впливати на його стан в майбутньому.

Деякі рекурентні нейронні мережі уможливають з'єднання, тобто з'єднання нейрона з самим собою; інші – тільки опосередковані зворотні зв'язки: якщо нейрон А може надсилати сигнал на вхід нейрона Б, то нейрон Б так само може подавати сигнал на вхід нейрона А.

Рекурентні мережі не завжди мають чітко визначені вхідні та вихідні нейрони.

Найчастіше рекурентні нейронні мережі застосовуються для розпізнавання образів, класифікації, асоціативної пам'яті, завадостійкого передавання сигналів тощо.

Рекурентна нейронна мережа зображена на рисунку 3.4.

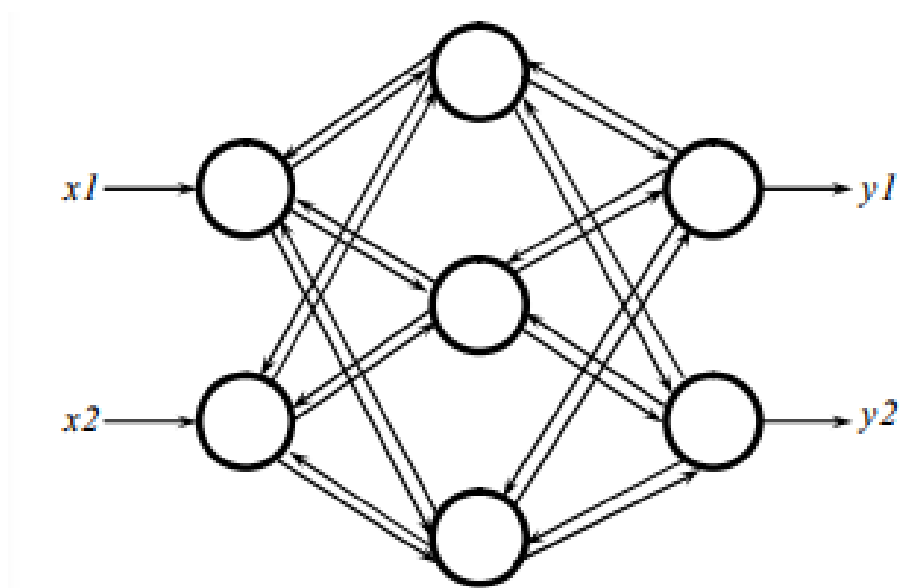


Рисунок 3.4 – Рекурентна нейронна мережа

Основною технологією, яка виникла в результаті революції штучного інтелекту, є рекурентна нейронна мережа (RNN).

Унікальна архітектура, що базується на послідовності, забезпечує доступну оцінку ймовірності зі стабільними парадигмами навчання, комбінація, яка прискорила багато вражаючих успіхів у обробці природної мови та нейронному машинному перекладі.

3.2 Експериментальні дослідження методу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Результати дослідження з попереднього розділу показують, що у всіх трьох моделях зміни температури без датчиків знаходяться в межах  $\pm 30\%$  змін температури за допомогою давачів, та запропоновані моделі здатні ідентифікувати ті самі зміни.

Тому проаналізувавши, маємо, що всі три моделі можуть виконувати роль віртуальних датчиків для вимірювання проміжних температур.

Розроблений метод на основі моделі описаній в другому розділі необхідно протестувати на ефективність.

Це можна зробити порівнявши роботу розробленого методу з відомими методами, з якими ознайомились в першому розділі.

Було проведено експериментальні дослідження для визначення ефективності розробленого методу, за допомогою порівняння з доступними програмними пристроями системи клімат-контроль відомих компаній BroadLink та Xiaomi.

За допомогою методу, описаного в розділі, визначаємо дні тижня з доступного набору даних, щоб кожен із цих днів працювала окрема система клімат-контролю, а умови навколишнього середовища серед усіх днів були схожими.

Значення міри подібності вказано 1. На рисунках 3.5 – 3.7 показані дані протягом цих днів.

На рисунку 3.5 показано співвідношення температури.

Рисунок 3.6 показує відносну вологість.

Температура підвищується в день, а протягом нічного періоду знижується. Відносна вологість зменшується протягом цього часу, але майже повністю насичена (відносна вологість 55%) при температурі 17,5 С протягом решти дня досліджень.

Рисунок 3.7 показує, що тестова зона зайнята та відмічено на скільки відсотків.

Показані керуючі входи (швидкість потоку та температура SA) та виходи (температура зони, вологість зони та концентрація CO<sub>2</sub> в зоні), отримані шляхом реалізації базових контролерів, які використовували розроблений метод, та відомий методи попередньо розроблений, який оглядали в першому розділі.

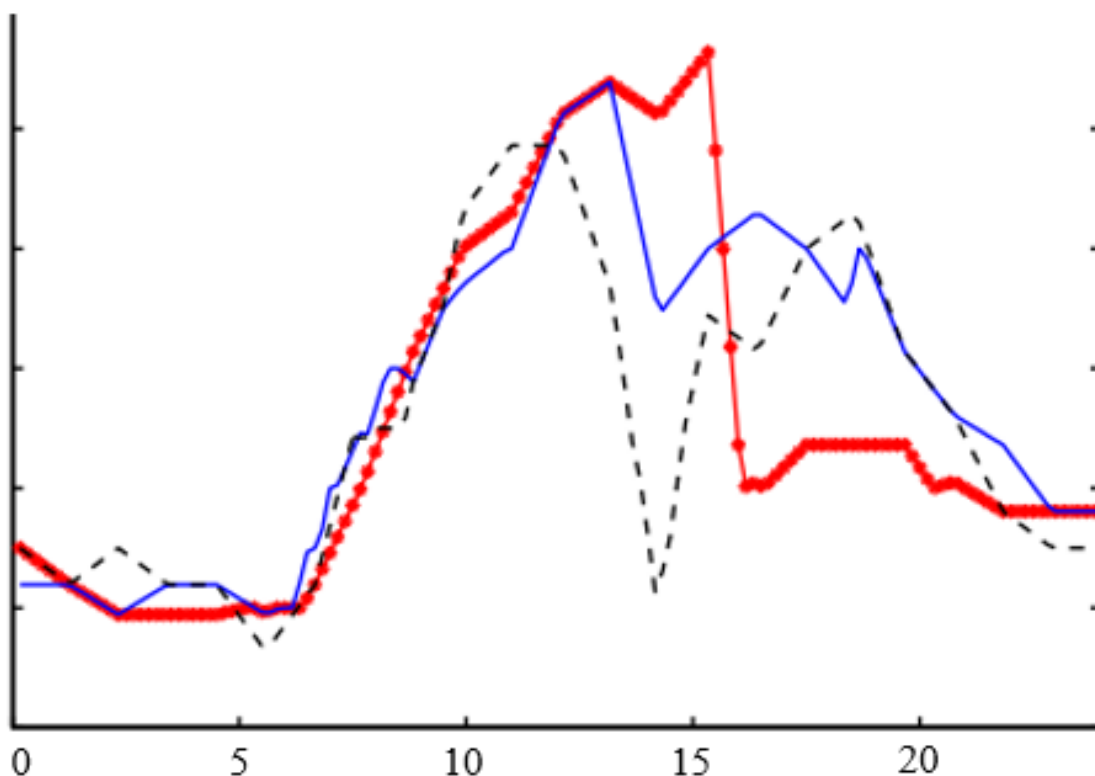


Рисунок 3.5 – Співвідношення температури

Загальне споживання енергії складається з енергії вентилятора для проштовхування повітря, енергії кондиціонування, що використовується охолоджувальними змійовиками всередині АНУ, та енергії повторного нагріву, що використовується нагрівальними змійовиками в коробці VAV.

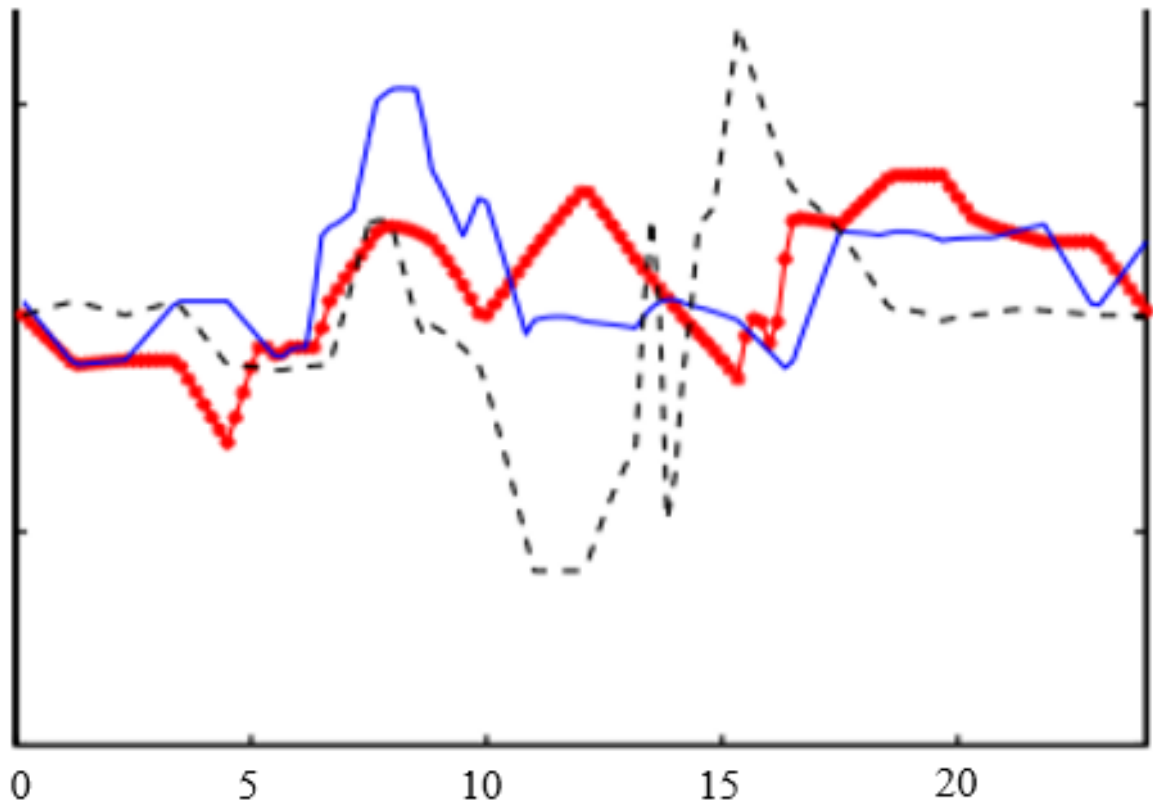


Рисунок 3.6 – Відносна вологість

Ці розрахунки енергії виконуються за допомогою каліброваної моделі потужності, описаної в [12].

Розрахунки теплової функції вимагають вимірювання температури та вологості зони, швидкості потоку та температури SA, температури та вологості OA, температури та вологості CA та коефіцієнта зворотного повітря, усі з яких вимірюються під час експериментів.

Добове споживання енергії під час проведення експерименту вважається в 42,5 МДж, 38,0 МДж та 37,7 МДж відповідно.

Таким чином, метод представлений в даному розділі забезпечує економію енергії на 4% порівняно з програмними пристроями системи клімат-контроль відомих компаній BroadLink та Xiaomi.

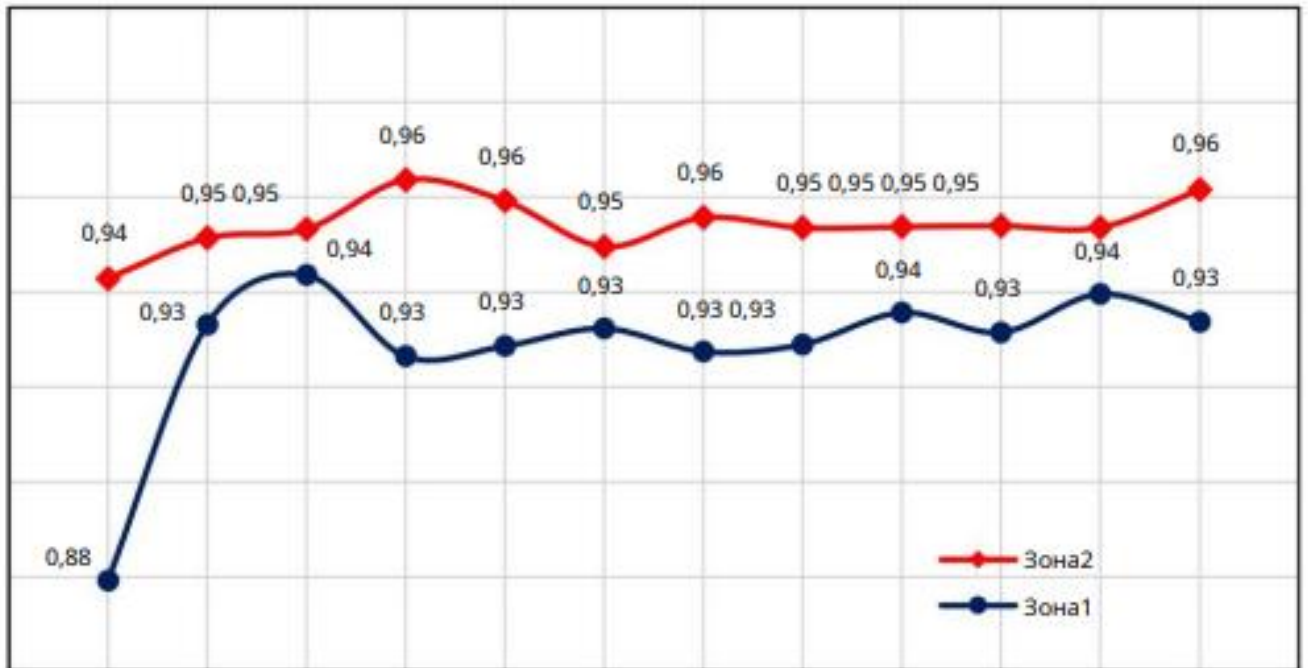


Рисунок 3.7 – Порівняльний графік зайнятості зон

Основні внески в одержану високу економію енергії: зниження швидкості потоку під час незайнятого часу та послаблення температурних обмежень як під час зайнятості, так і в період незайнятості, особливо під час незайнятого, що зменшує як швидкість потоку, так і повторне нагрівання.

Для порівняння оберемо популярні програмні реалізації Broadlink та Xiaomi.

Інтеграція Broadlink дозволяє керувати й контролювати універсальні пульти дистанційного керування Broadlink, розумні розетки, розширювачі живлення, перемикачі та датчики. Підтримуються такі пристрої:

- Розмінники: MP1-1K3S2U і MP1-1K4S;
- Давачі: e-Sensor;

- Розумні розетки;
- Універсальні пульти дистанційного керування;
- Перемикачі, керовані Wi-Fi: BG1,SC1;
- Розумні лампочки.

Інтеграція Xiaomi для створення оптимального мікроклімату автоматизують управління опаленням, включаючи радіатори та систему теплої підлоги, вентиляцією та кондиціонуванням, зволоженням повітря та його очищенням.

Щоб у будинку була ідеальна температура і вологість у кожному приміщенні, а при необхідності своєчасно включався режим провітрювання або відкривалося вікно, можна використовувати розумну техніку, підключивши її в загальну екосистему будинку.

Ще один варіант - підключити звичайну техніку, в якій немає вбудованого інтелектуального модуля через розумні розетки. Додатково в цю зв'язку обов'язково включають датчики температури/вологості та руху, які дозволять реалізувати багато сценаріїв створення мікроклімату в той час, коли у приміщенні хтось присутній.

Хоча управління системою клімат-контроль відомих компаній BroadLink та Xiaomi показують майже 32% підвищення енергоефективності під час експериментів, тоді як імітаційні дослідження в [12] передбачили заощадження використовуваної енергії від 25% до 30% залежно від кліматичних умов зовнішнього середовища.

Хоча експериментальне дослідження передбачало, що має бути змодельована поведінка користувачів та здійснено вимірювання кількості заповнюваності, в експерименті припускали, що зона була зайнята максимальною проектною завантаженістю. Ця схема оцінки в більшості випадків була консервативною.

На рисунку 3.8 бачимо різницю в застосуванні обраних для дослідження моделей.

Розроблена в роботі модель в перших дослідженнях не виділилась значним показником збільшення енергоефективності, але далі, оскільки за рахунок нейронної мережі відбувається застосоване машинне навчання, тому з часом ефективність використання саме розробленого методу буде більшою, за існуючі реалізації.

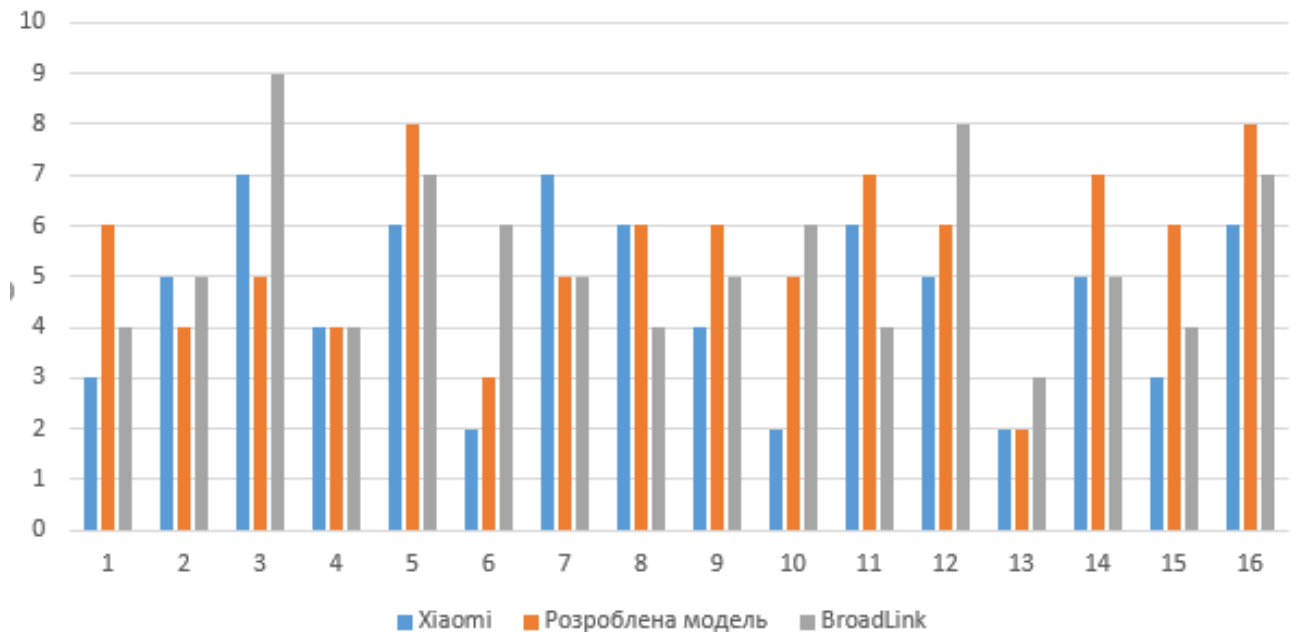


Рисунок 3.8 – Порівняльна діаграма ефективності застосованої моделі

Таким чином, результати експерименту показують, що алгоритм керування стійкий до неточностей у вимірюванні зайнятості через застосовані заходи.

Отже було зроблено висновок, що для зон з невеликою проектною заповнюваністю можна вигідно використовувати детектори руху або інші засоби виявлення присутності для вимірювання зайнятості.

### 3.3 Висновки

В третьому розділі представлено удосконалений метод забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який складається з трьох основних етапів, що включають в себе збір даних, їх обробку та застосування моделі зайнятості зон.

Під час обробки даних потрібно провести їх аналіз, щоб визначити важливі характеристики зайнятості зон, а також кількість мешканців, періоди їх присутності та інші показники.

Збір інформації може відбуватись також через анкетування про показники навколишнього клімату та їх побажання по зміні певних параметрів температури або вологості, тощо.

Проте основний збір інформації відбувається на основі датчиків присутності. Так фіксується в який проміжок часу, в якій зоні, хто саме з мешканців був активним, а також які параметри по комфортному клімат-контролю він зазначив.

На основі зібраних даних, проводиться їх обробка, визначається в якій зоні, з якою частотою перебувають певні мешканці. Також отримуємо інформацію про наповненість житлових зон та проводимо аналітичні розрахунки по поведінці мешканців.

Проведено експериментальні дослідження методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», які показали, що застосування розробленого методу надає можливість підвищити енергоефективність підсистеми клімат-контролю.

Застосування розробленого методу надає можливість підвищити енергоефективність підсистеми клімат-контролю на 3% в порівнянні з відомими програмно-технічними засобами.

## **4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТЮ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»**

4.1 Апаратна реалізація програмно-технічного засобу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Давачі відіграють важливу роль в механічних системах будівель для досягнення бажаного комфорту для мешканців та оптимізації споживання енергії, проте відсутність фізичних давачів або поломки існуючих давачів з часом неминучі в будівлях.

Крім того, ручний підхід для періодичного налаштування несправних давачів або встановлення нових давачів недоцільно.

Нещодавно дослідники привернули увагу до віртуальних давачів (рисунок 4.1) у розумному будинку в системі клімат-контролю, які можна використовувати для віртуальних вимірювань, віртуального калібрування та виявлення неполадок.

Розроблені є нечіткі давачі для оцінки температури на основі обчислювальної гідродинаміки.

BMS визначається як система управління, що складається з програмного, апаратного та комунікаційних протоколів для моніторингу та керування широким спектром будівельних систем.

Збільшення кількості систем і технологічний прогрес призвели до розробки інтегрованих систем керування будинками для автоматизованого управління будівлею, де різні системи з'єднуються одна з одною за допомогою централізованої системи управління.

Це означає, що BMS дозволяє автоматизувати налаштування будівельних систем. Однак є дві основні проблеми:

- для функціонування цих систем потрібен вплив людини, наприклад, вибір правильного часу для ввімкнення освітлення;
- BMS дуже складні з точки зору експлуатації.

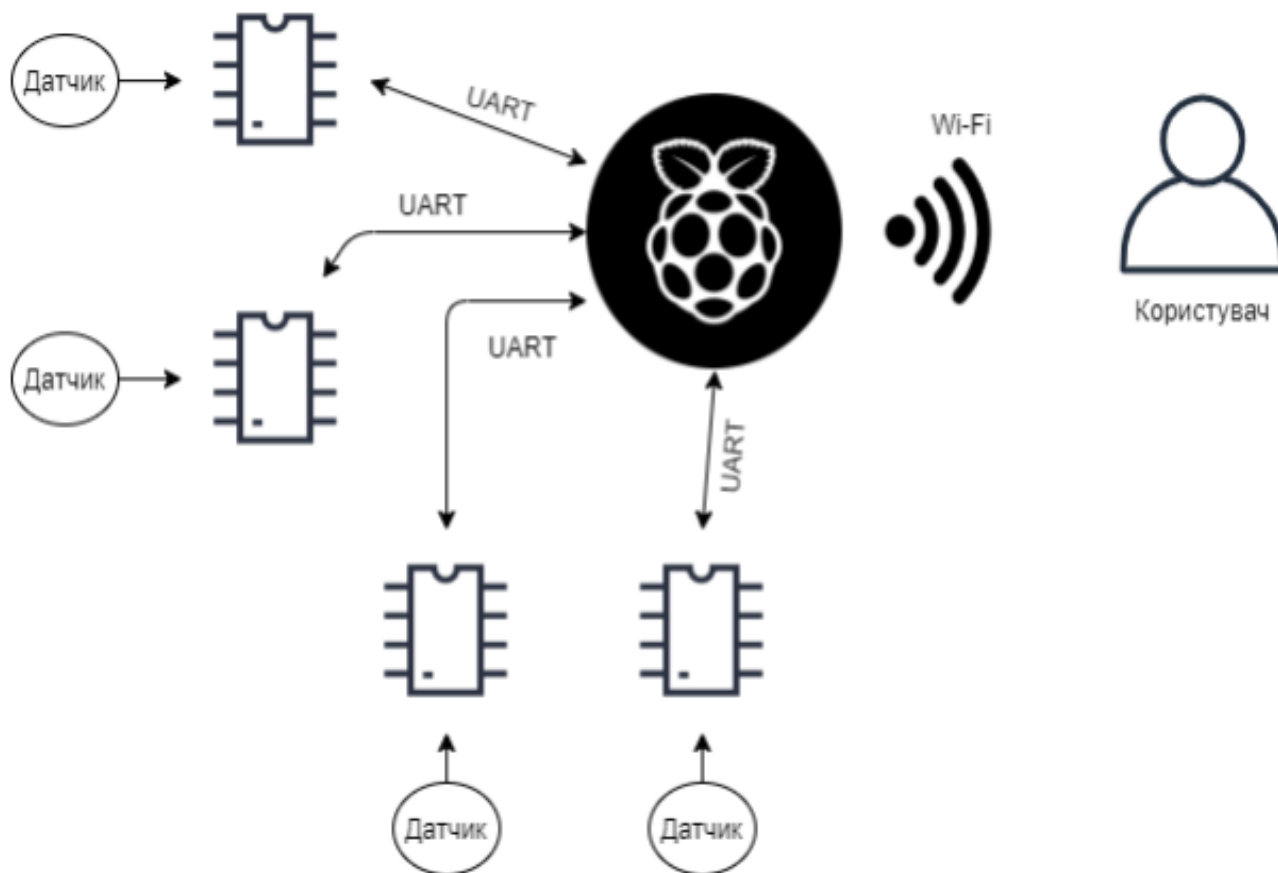


Рисунок 4.1 – Система моніторингу показників клімат-контролю

Одне з рішень, яке допоможе досягти цілей по енергозбереженню та комфорту мешканців, є інтеграція IoT в BMS, що дозволяє будувати розумні або інтелектуальні будинки. Основною можливістю IoT є інтеграція датчиків зв'язку, обчислень та контролю.

Модель може точно визначити систематичні та випадкові помилки всіх датчиків, виправити систематичні помилки та зменшити випадкові помилки в агрегатах.

Відомі вже методи можуть бути використані для віртуального вимірювання температури зовнішнього повітря, коли вона не реєструється з фізичного датчика, та для віртуального перекалібрування пристрою, коли фізичний датчик виявляється несправним.

Хоча віртуальні давачі для систем клімат-контролю стали сферою інтересу дослідників в останні роки, серед розглянутої літератури щодо використання віртуальних давачів, більшість статей розробляли моделі для оцінки вимірювань, які є важливими для контролю параметрів, таких як постачання температура повітря, температура зовнішнього повітря та потік припливного повітря.

Такі давачі майже завжди доступні в вентиляційних установках, і якщо в цих давачах є серйозна несправність, це вплине на всю роботу.

Однак у системі є давачі лише для цілей моніторингу/діагностики, наприклад, давачі температури повітря змішаного типу, давачі температури повітря на виході з опалювальної котушки тощо.

Хоча ці давачі дуже важливі, але вони можуть бути недоступними або не належним чином обслуговуватись, оскільки вони не впливають безпосередньо на контроль.

Розглянуто переваги та недоліки контролерів Arduino по відношенню до управління системою клімат-контроль.

Arduino — це обчислювальна платформа, що надає доступ до конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами «ввід» та «вивід».

Середовище програмування Processing/Wiring на мові програмування подібною до C, C++.

Поріг для навчання роботі з такими пристроями може бути мінімальний для представників ІТ-професій.

Основною перевагою у використанні контролерів на базі Arduino є доступність інформації про плату мікроконтролера, а саме: рисунок друкованої плати, специфікація елементів та програмне забезпечення.

Arduino UNO, апаратне забезпечення мікроконтролера з відкритим вихідним кодом, яке має чіпсет ATmega328.

UNO функціонує як пристрій моніторингу, додаючи модуль датчика DHT11, і не використовується як пристрій для зберігання даних, оскільки

вимагає фізичного доступу до апаратного забезпечення. Джерело живлення надходить від Raspberry Pi через USB-з'єднання.

Після вивчення ринку пристроїв та мікроконтролерів для управління підсистемою клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», можна зупинитися на доступних і недорогих пропозиціях.

У підсумку, для представлення способу реалізації було обрано сімейство мікроконтролерів Arduino, одноплатні міні-комп'ютери Raspberry Pi та сучасні Wi-Fi мікроконтролери ESP8266 (рисунок 4.2) в різних модифікаціях.

Наступним кроком є вибір протоколу комунікацій пристроїв з розроблюваною системою.



Рисунок 4.2 - Wi-Fi модулі для Arduino

На першому етапі проекту було запропоновано обрати розширення Internet of Things протокол MQTT (Message Queue Telemetry Transport).

Це спрощений протокол зв'язку, який працює по протоколу TCP/IP. Використовується для обміну інформації між пристроями, оскільки функціонал «Розумного будинку» може відрізнятися один від одного.

Центральною частиною комплексу є контролер. Як правило, він встановлюється біля входу в приміщення, а також там багато кнопок і екран, на якому відображаються всі дані.

Контролер може використовуватися як самостійний пристрій, тому його можна підключити до комп'ютеру.

Він має взаємозв'язки з виконавчими елементами, які показані на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 - Центральний контролер та виконавчі елементи

Це різні датчики і вимикачі, які встановлюються в потрібних місцях і мають зв'язок з контролером. Наприклад, для управління кондиціонером без пульта використовується адаптер-патрон, який при подачі сигналу від контролера вмикає і вимикає кондиціонер.

Сигнал від контролера надходить, якщо з пульта дистанційного керування мешканець подав команду або від давача руху (аудіо-давача або фотоелемента). Дана система може бути 2 видів.

У першому випадку управління здійснюється за допомогою дротового зв'язку, тоді найкраще встановлювати «Розумний будинок» одночасно з електропроводкою.

У другому зв'язок здійснюється за допомогою мережі, в такому випадку вмонтувати систему можна в будь-який час.

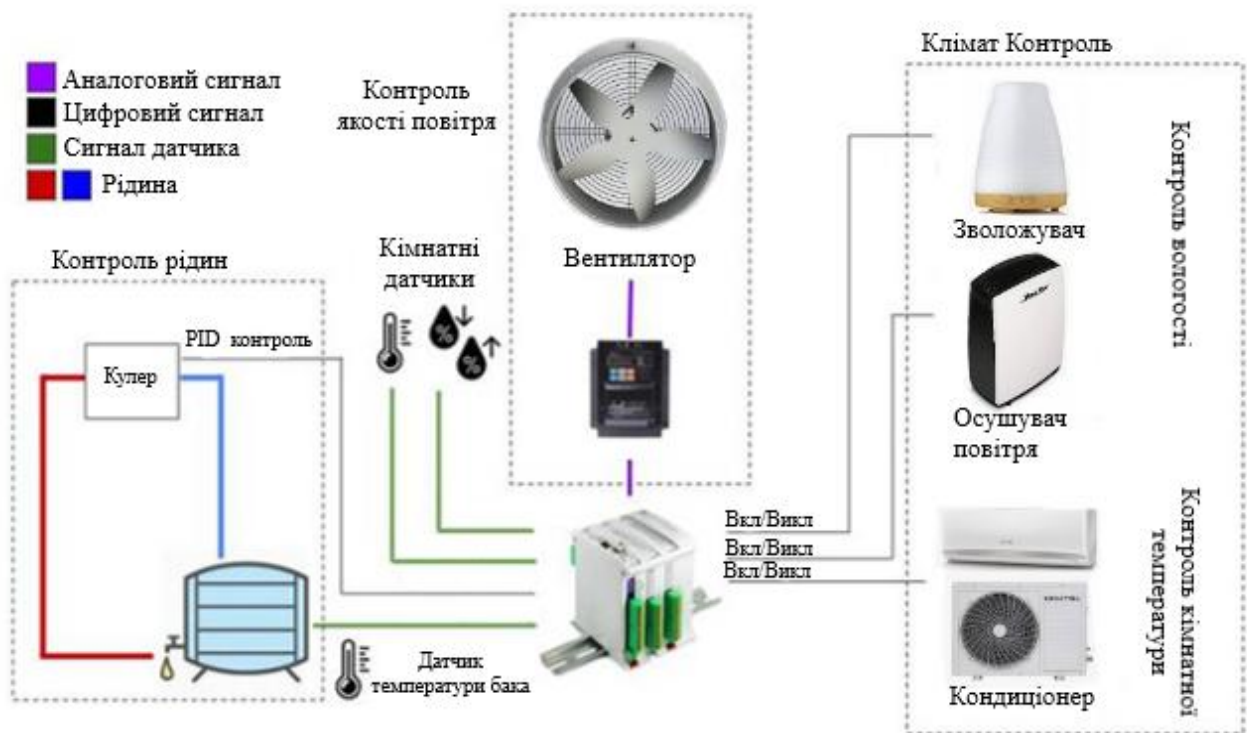


Рисунок 4.4 – Схема комбінації функцій підсистеми клімат-контролю

Промисловий ПЛК Arduino (рисунок 4.4) повинен контролювати температуру (кімната та рідини), вологість і вентиляцію всього приміщення за допомогою двох важливих елементів: температури та запахів.

Для управління рідиною необхідна реалізація PID в промисловому контролері з давачем температури.

Значення давача порівнюється з заданим значенням, і ПЛК обробляє потік, який буде реалізовано охолоджувачем.

Клімат у кімнаті контролюється за допомогою осушувача/зволожувача повітря та обладнання для кондиціонування повітря.

Вони вмикаються або вимикаються залежно від значень давачів температури та вологості.

Вентиляція обробляється частотним приводом. PLC з відкритим кодом Arduino змушує вентилятор обертатися швидше або повільніше залежно від запаху. AFD (привід із змінною частотою) керується за допомогою аналогового сигналу.

Управління системою клімат контролю можливо реалізувати, якщо слідувати основному алгоритму створення програмно-технічного пристрою.

У цьому дослідженні використовується обладнання Arduino UNO, Raspberry Pi, макет і датчик DHT11, в той час як програмне забезпечення, яке використовується, це Arduino C, Python3, PHP, Crontab, MariaDB (Raspberry Pi) і MySQL (Хмарний хостинг).

Потік даних у системі можна побачити на рисунку 4.5.

Розглянемо використані мікроконтролери для програмно-технічного пристрою управління підсистемою клімат-контроль. ESP32 являє собою відносно недорогий мікроконтролер з низьким енергоспоживанням з інтегрованим у нього Wi-Fi та дворежимним Bluetooth.

Він поставляється з мікропроцесором Tensilica Xtensa LX6 у варіантах з двома ядрами та одним ядром, містить вбудовану антену, радіочастотний (RF) симетричний трансформатор, посилювач потужності, малощумний підсилювач в тракці прийому, фільтри та модулі управління потужністю.



Рисунок 4.5 – Потік даних запропонованої системи моніторингу

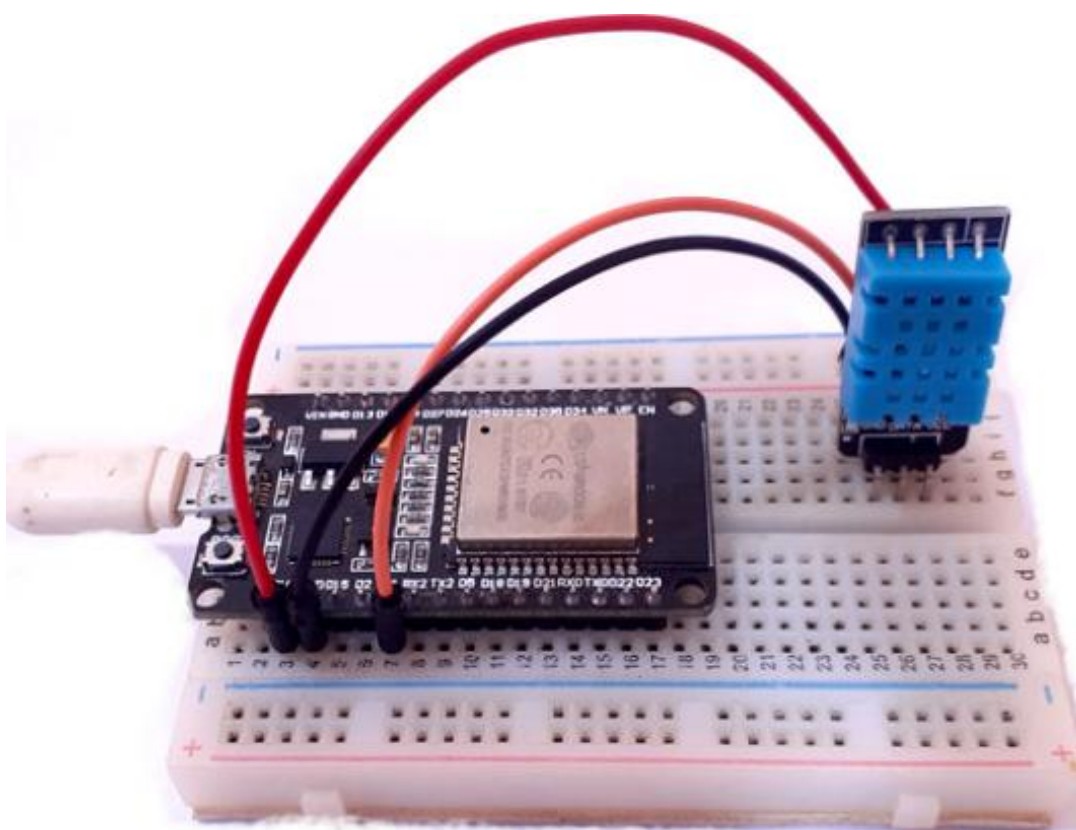


Рисунок 4.6 – Мікроконтролер ESP32 з давачем DHT11

Модуль ESP32 буде зчитувати значення температури та вологості з даного датчика DHT11 (рисунок 4.6) та передавати інформацію на контролер для подальшої обробки.

Схема підключення датчика DHT11 до модуля ESP32 представлена на наступному рисунку 4.7.

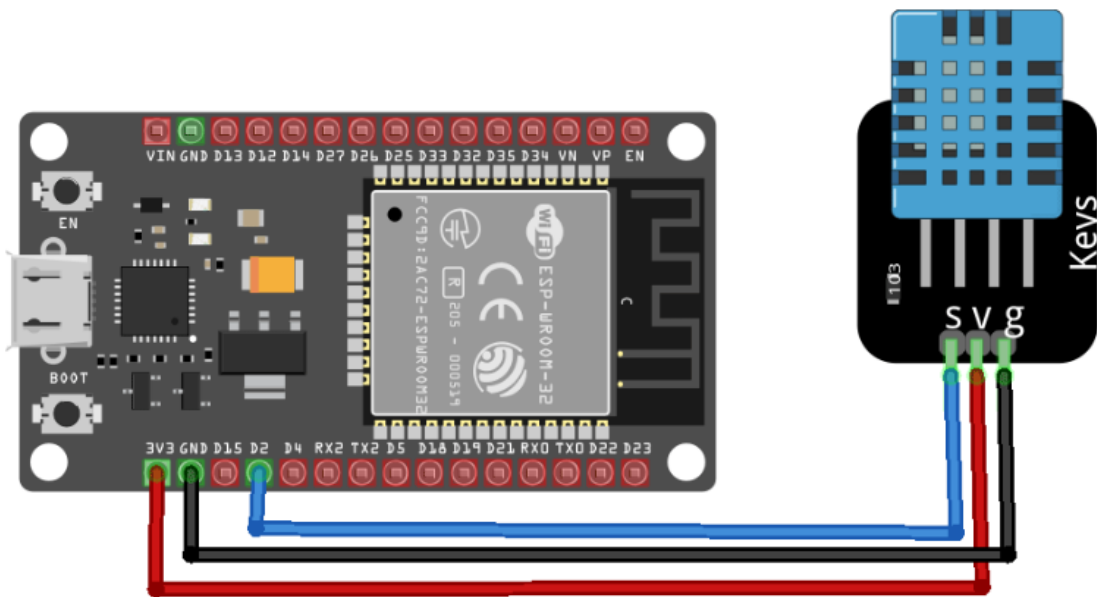


Рисунок 4.7 – Схема підключення датчика DHT11

Датчик DHT11 має всього 3 контакти, тому підключати його до модуля ESP32 досить просто.

Підключіть контакти VCC і GND датчика до контактів 3.3V і GND модуля ESP32.

Контакт даних (Data pin) датчика підключення до контакту D2 модуля ESP32. Датчик DHT11 може вимірювати температуру і відносну вологість (RH) навколишнього повітря і має такі технічні характеристики:

- діапазон виміру температури: 0-50°C;
- точність виміру температури:  $\pm 2$  °C;
- точність виміру вологості:  $\pm 5$  %
- діапазон виміру вологості: 20-90% RH.



Особливістю дисплея є те, що він підключається через шину I2C, що дозволяє зменшити кількість портів управління мікроконтролером з шести до двох і замінити простий мікроконтролер 16F628A.

Для підключення датчиків використовуються входи портів А і В мікроконтролера з підтягуючими резисторами.

Мікросхема MAX485 є драйвером для прийому та передачі даних з мікроконтролера UART через інтерфейс RS485 на сервері Raspberry Pi. Розглянемо детальніше як підключити датчик DHT22 на рисунку 4.9.

Вологість повітря умовно поділяється на абсолютну та відносну. Абсолютна відповідає вимірюванню об'єму води у повітряній масі. Існує граничний поріг насичення, який відповідає 100%.

Від цього показника починається наступний процес, що називається конденсацією.

Відносна вологість повітря вимірюється співвідношенням вологості до абсолютної вологості. Чим вище відносна вологість, тим вище "точка роси" відповідно ближче до фактичної температури повітря.

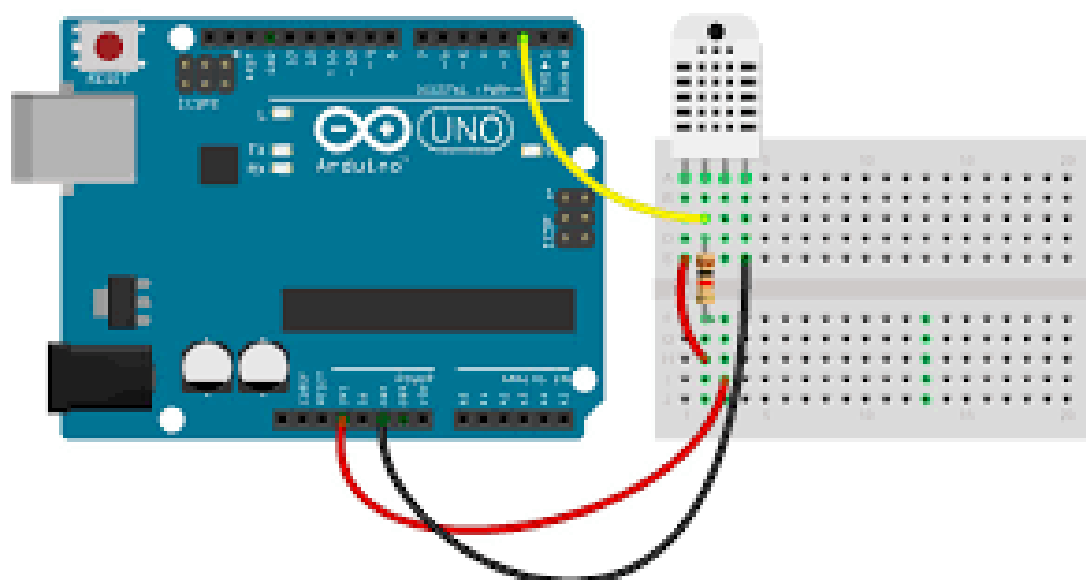


Рисунок 4.9 – Схема підключення датчика DHT22

Давачі температури та вологості DHT11 та DHT22 належать групі недорогих та простих. Давачі DHT зібрані з двох деталей: ємнісний давач вологості та термістор.

У корпус давача вбудований простий чіп зміни аналогового сигналу в цифровий.

Зчитувати цифровий сигнал на виході просто - за допомогою будь-якого контролера.

Вивчивши всі технічні показники можна дійти невітного висновку, що DHT22 більш точний і має більший масштаб вимірюваних значень.

Обидва давачі мають один цифровий вихід. Запити до них можна відправляти не частіше ніж один за секунду або дві.

Хоча й давач DHT22 має порівняно кращі показники, це не означає, що доцільно використовувати лише його, оскільки є дорожчі аналоги, які опрацьовують інформацію швидше.

Оптимальний варіант, для корегування похибки є використання одночасно двох давачів, а схема їх з'єднання показана на рисунку 4.10.

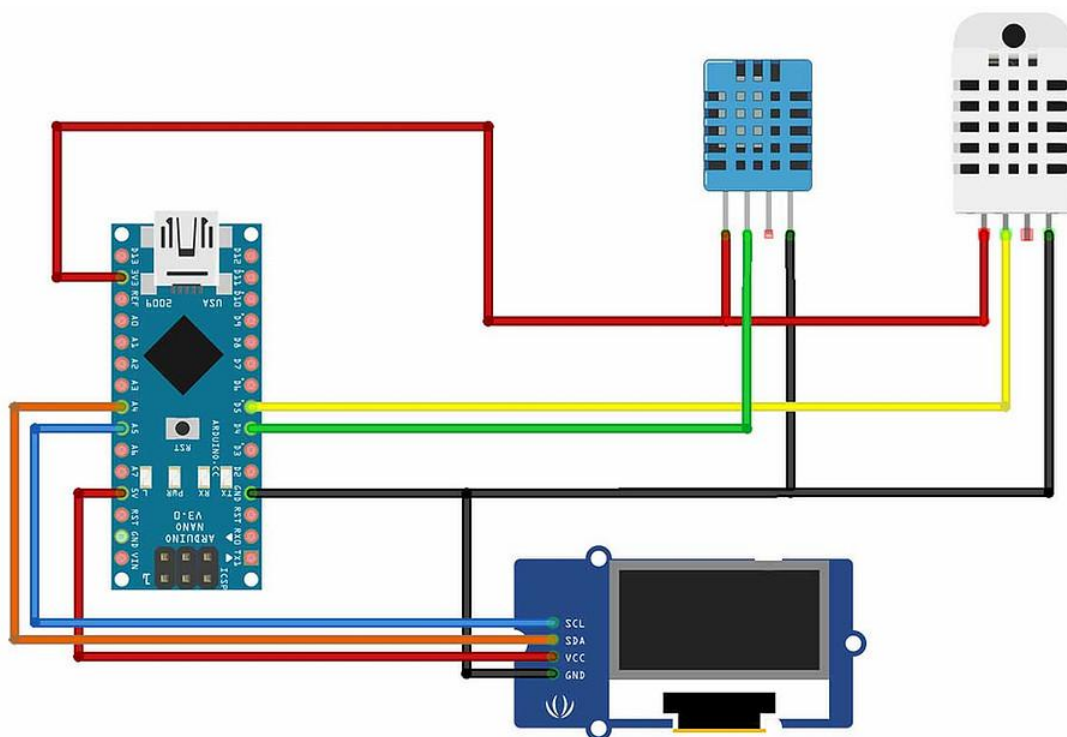


Рисунок 4.10 – Одночасне підключення давачів DHT11, DHT22

LCD дисплей - частий зустрічається у проектах Arduino.

Але в складних схемах у нас може виникнути проблема нестачі портів Arduino через необхідність підключити екран, у якого дуже багато залучених контактів.

Виходом у цій ситуації може стати I2C/ІІС перехідник, який підключає практично стандартний для Arduino екран 1602 до плат Uno, Nano або Mega лише за допомогою 4 пінів.

Рідкокристалічний дисплей (Liquid Crystal Display) LCD 1602 (рисунок 4.11) є хорошим вибором для виведення рядків символів у різних проектах. Він коштує недорого, є різні модифікації з різними кольорами підсвічування, тому можна легко завантажити готові бібліотеки для скетч Arduino.

Розглянемо виводи, які є на платі LCD1602 детальніше:

- заземлення GND;
- живлення 5 Вт;
- встановлення контрастності монітора;
- команда, дані;
- записування та читання даних;
- вмикач.



Рисунок 4.11 - Дисплей LCD 1602

Дисплей має характеристики які чудово підходять для відображення інформації яку отримуватимемо з датчиків:

- контролер HD44780;
- напруга живлення 5В;
- символний тип відображення є можливість завантаження символів;
- світлодіодна підсвітка;
- формат 16x2 символів;
- діапазон робочих температур від -20С до +70С;
- діапазон температур зберігання від -30С до +80С;
- кут огляду 180 градусів.

Але найголовнішим недоліком цього екрану є той факт, що дисплей має 16 цифрових висновків, з яких обов'язковими є мінімум 6.

Тому використання цього екрану без і2с додає серйозні обмеження для плат Arduino Uno або Nano. Я

кщо контактів не вистачає, то вам доведеться купувати плату Arduino Mega (рисунок 4.12) або заощадити контакти, у тому числі за рахунок підключення дисплея через і2с.



Рисунок 4.12 – Плата Arduino Mega

Коли підключаємо модуль дисплея до плати Arduino Mega, контакт живлення 3v3 стикається з кабелем живлення VCC. Тому є такі варіанти подолання даного обмеження:

1. Припаяти штифт до РК-дисплею та підключити до нього кабель живлення;
2. Припаяти кабель до нижньої сторони контакту плати Arduino Mega;
3. Створити щит, який підключається між платою Arduino Mega і модулем дисплея.

Очевидно, що перші два пункти зробити досить легко, але третій здається кращим рішенням.

Оскільки плата Arduino Mega має кращі показники в роботі, доцільніше в роботі зосередитись на ній, та використовувати в подальшій роботі.

Проектування системи моніторингу здійснювалося за допомогою програми Fritzing версії 0.9.3b, яка є ліцензованою безкоштовно, проект було виконано, щоб побачити вимоги до кабелю та розташування датчиків на блоці моніторингу (UNO), яку можна побачити на рисунку 4.13.

На даному етапі вже підключено до плати Arduino Mega давачі які відповідають за контроль температури, вологості, барометричний давач і Wi-Fi модуль.

Етап складання та програмування пристрою виконується згідно плану, який було зроблено в попередніх розділах.

Кожен компонент буде зібрано, щоб стати інструментом, який функціонує автоматично.

Програмування здійснюється за допомогою Python і Raspberry Pi з доступом до ноутбука.

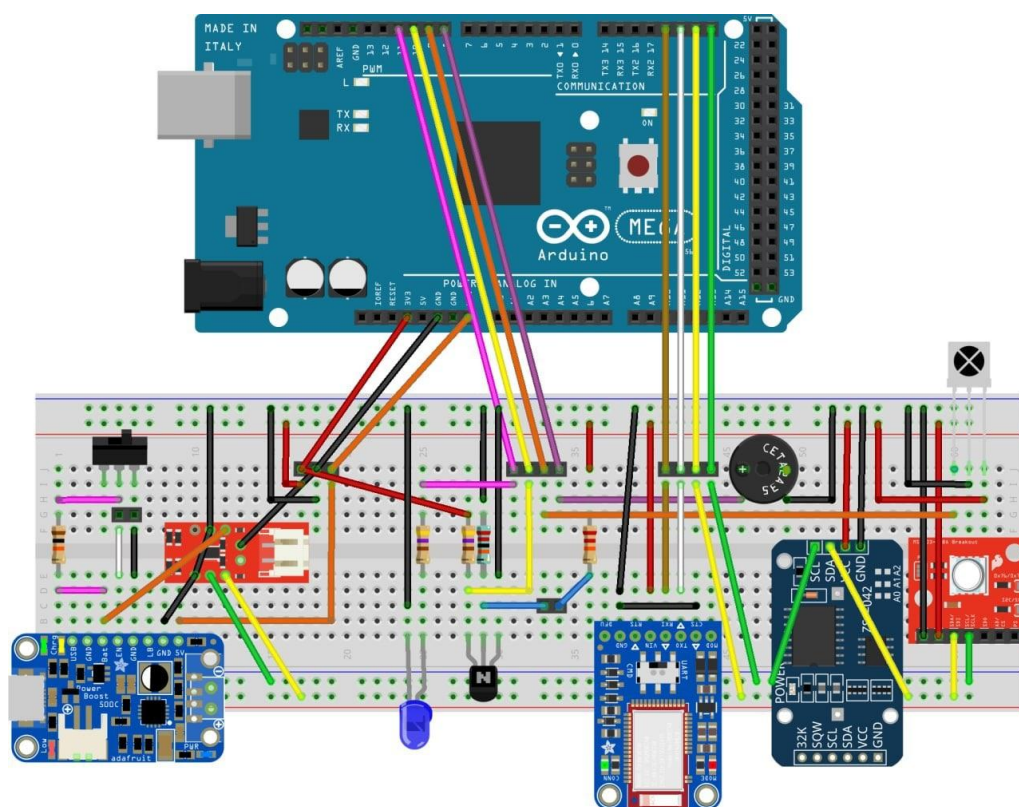


Рисунок 4.13 – Підключення датчиків до контролера

4.2 Інтерфейс програмно-технічного засобу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

При розробці будь якого програмно-технічного пристрою основне для користувача яким чином він зможе ним управляти.

Правильно оформлений інтерфейс додатку, який буде одразу зрозумілий користувачу без додаткових навичок великий плюс.

Тому в розробці інтерфейсу орієнтування було на побудові простого додатку, який можна завантажити на смартфон та в режимі реального часу корегувати роботу системи.

Зручно коли один додаток вмщує в себе регулювання цілим досліджуваним будинком.

Дизайн програми дуже важливий, оскільки це візуальне оформлення програми, а також створення структури, заснованої на логіці поведінки користувача.

Іншими словами, це не лише зовнішній вигляд, а й зручність використання.

Відкривши додаток бачимо сторінку привітання та кнопку почати роботу.

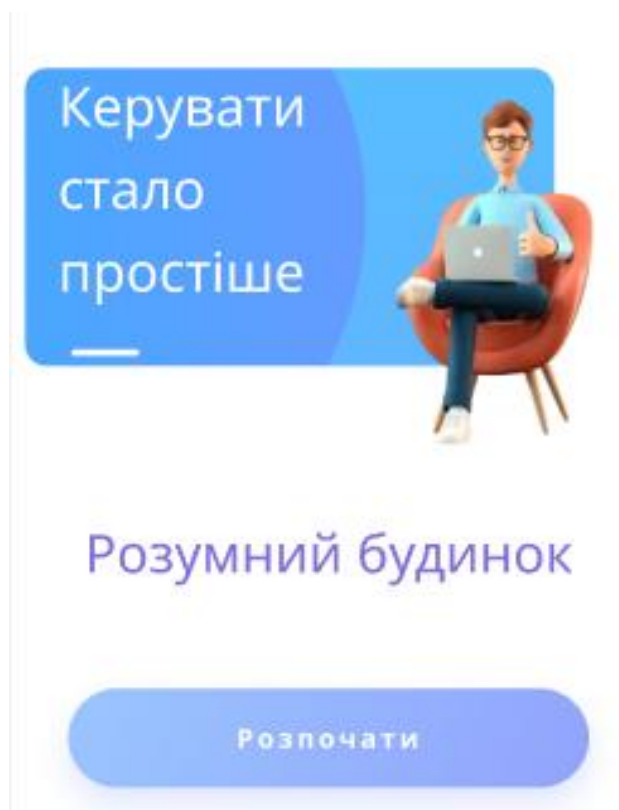


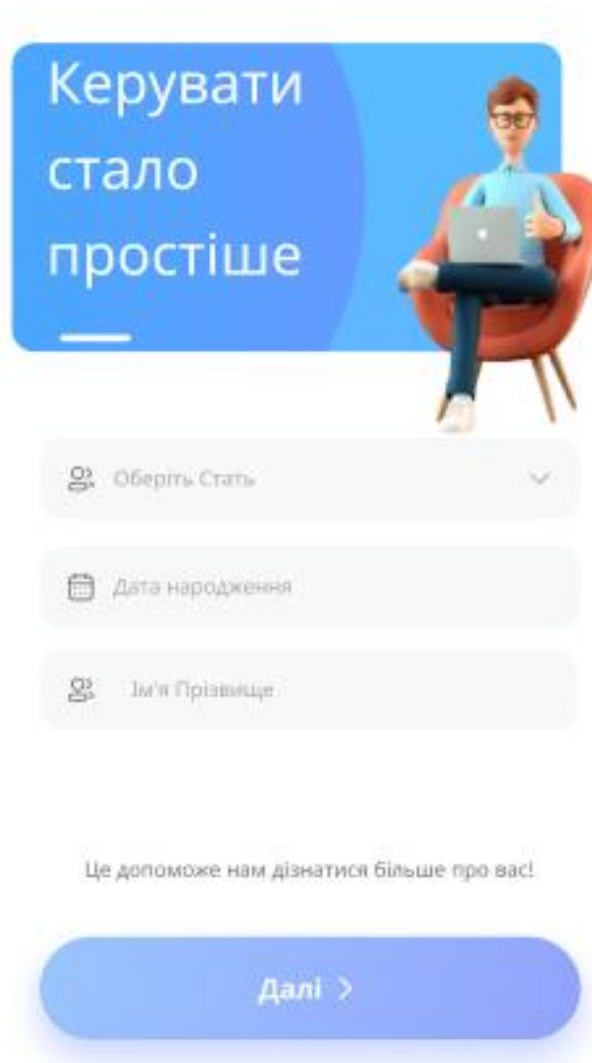
Рисунок 4.14 – Сторінка привітання

При першому вході в додаток необхідно буде зареєструватись як мешканець, та можна вказати критерії комфорту у вигляді анкетування.

При реєстрації необхідно вказати прізвище та ім'я, дату народження та стать.

Потім в режимі редагування інформацію можна буде змінити в налаштуваннях.

А саме, додатково вказати ріст, вагу та інші дані, завдяки яким при фіксуванні мешканця давачем руху можна простіше визначити хто саме перебуває в кімнаті.



Керувати  
стало  
простіше

Оберть Стать

Дата народження

Ім'я Прізвище

Це допоможе нам дізнатися більше про вас!

Далі >

Рисунок 4.15 – Сторінка реєстрації

На рисунку 4.16 бачимо, що в особистому акаунті є можливість обрати кімнату з якою буде проведено налаштування по оптимальним бажаним умовам прживання.

Таке розподілення дозволить користувачу зручніше сприймати подальшу інформацію.

Окремими кнопками є можливість переходити в налаштування певної кімнати.

Попередньо було представлено, що є розділення на умовні 5 зон, відповідно в додатку вони вказується, як окрема кімната.

Натиснувши на одну з кнопок переходимо в наступне меню (рисунок 4.17).

При виборі кімнати бачимо меню з показників, які є можливість налаштувати.

В даному додатку можна перейти в вкладку налаштування показників освітлення в кімнаті, налаштування клімат-контролю, управління музичним центром та загалом розміщеними колонками в будинку.

На рисунку 4.17 зображено інтерфейс управління освітленням обравши вітальню.

Після встановлення бажаних умов клімату в приміщенні та збереження інформація буде передана на контролер, який через датчикі отримає інформацію по умовам які будуть в той час в приміщенні, та вже буде давати команду на обігрів, кондиціонування або ж вентиляцію приміщення.

На рисунку 4.18 бачимо інтерфейс керування вже самими підсистемами клімат-контролю.

А саме в ручному режимі вибір опції по нагріву приміщення або ж провітрювання.

Встановлення бажаної температури в кімнаті за допомогою кондиціонерів з функцією обігріву.

### 4.3 Висновки

В четвертому розділі представлено розроблений програмний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який створено на основі представленого в

третьому розділі методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю.

Застосування розробленого програмного засобу надає можливість підвищити енергоефективність підсистеми клімат-контролю на 32%.

## Розумний дім

Керувати  
стало простіше



### Кімната

Вітальня

Спальня

Кухня



Музика

Vol level 70



Лампа

Intensity 200lux



Кондиціонер

Темп



Камера

Cam-1/2



Рисунок 4.16 – Розділення по кімнатах



Рисунок 4.17 – Налаштування показників освітлення в кімнаті

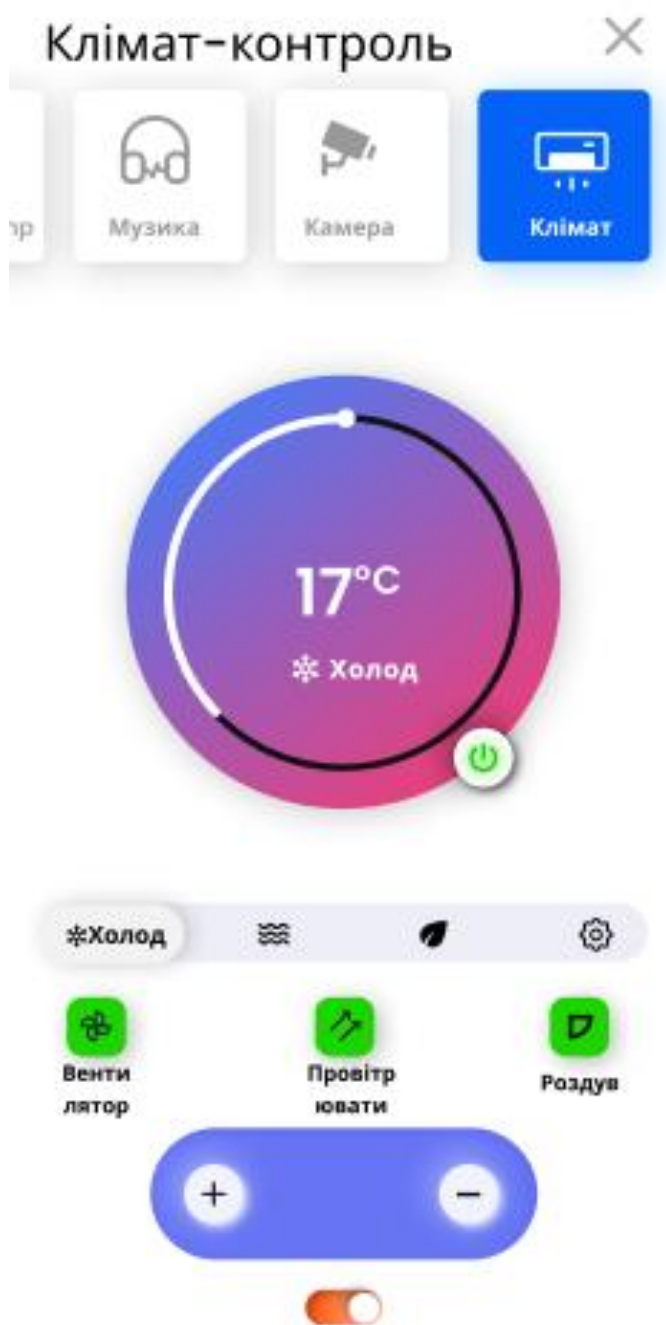


Рисунок 4.18 – Ручний режим керування компонентами системи клімат-контроль

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено метод та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

У першому розділі аналіз відомих методів забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок» проведено аналіз та дослідження відомих технологій керування підсистемою клімат-контроль в системі «Розумний будинок». Визначено переваги та недоліки відомих методів на основі проведеного аналізу. Досліджено найпопулярніші рішення, щодо оптимізації енергоефективності, та розглянуто певні технології та відмічено основні фактори впливу на покращення показників, які є основними у контексті енергоефективності.

У другому розділі модель процесу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» представлено удосконалену модель процесу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка, на відміну від відомих моделей, заснована на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів. Запропонована модель є основою методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

У третьому розділі метод забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» представлено удосконалений метод управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який складається з трьох основних етапів, що включають в себе збір даних, їх обробку та застосування моделі зайнятості зон.

Під час обробки даних потрібно провести їх аналіз, щоб визначити важливі характеристики зайнятості зон, а також кількість мешканців, періоди їх присутності та інші показники.

Збір інформації може відбуватись також через анкетування про показники навколишнього клімату та їх побажання по зміні певних параметрів температури або вологості, тощо.

Проте основний збір інформації відбувається на основі давачів присутності. Так фіксується в який проміжок часу, в якій зоні, хто саме з мешканців був активним, а також які параметри по комфортному клімат-контролю він зазначив.

На основі зібраних даних, проводиться їх обробка, визначається в якій зоні, з якою частотою перебувають певні мешканці. Також отримуємо інформацію про наповненість житлових зон та проводимо аналітичні розрахунки по поведінці мешканців.

Проведено експериментальні дослідження методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», які показали, що застосування розробленого методу надає можливість підвищити енергоефективність підсистеми клімат-контролю.

Застосування розробленого методу надає можливість підвищити енергоефективність підсистеми клімат-контролю на 3% в порівнянні з відомими програмно-технічними засобами.

У четвертому розділі програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі представленого методу показано реалізацію програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Отже, впровадження удосконаленого методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», дозволяє підвищити енергоефективність та зменшує

дискомфорт користувачів у відношенні до керування підсистемою клімат-контролю.

За темою дипломної роботи опубліковані тези доповіді та взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук», що проходила 15-16 жовтня 2021 р. в Хмельницькому національному університеті.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Amer M. et al. Smart home energy management systems survey. *International Conference on Renewable Energies for Developing Countries 2014*. – IEEE, 2014. p. 167-173.
2. Anvari-Moghaddam A., Monsef H., Rahimi-Kian A. Optimal smart home energy management considering energy saving and a comfortable lifestyle. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2014. T. 6. №. 1. p. 324-332.
3. Nilsson A. et al. Smart homes, home energy management systems and real-time feedback: Lessons for influencing household energy consumption from a Swedish field study. *Energy and Buildings*. 2018. T. 179. p. 15-25.
4. Jo H., Yoon Y. I. Intelligent smart home energy efficiency model using artificial TensorFlow engine. *Human-centric Computing and Information Sciences*. 2018. T. 8. №. 1. p. 1-18.
5. Paredes-Valverde M. A. et al. IntelliHome: An internet of things-based system for electrical energy saving in smart home environment. *Computational Intelligence*. 2020. T. 36. №. 1. p. 203-224.
6. Nemet G., Greene J. Innovation in low-energy demand and its implications for policy. *Oxford Open Energy*. 2022. T. 1.
7. Lee S., Choi D. H. Energy management of smart home with home appliances, energy storage system and electric vehicle: A hierarchical deep reinforcement learning approach. *Sensors*. 2020. T. 20. №. 7. p. 2157.
8. Killian M., Zauner M., Kozek M. Comprehensive smart home energy management system using mixed-integer quadratic-programming. *Applied energy*. 2018. T. 222. p. 662-672.
9. Bonci A. et al. Innovative Approach in cyber physical system for smart building efficiency monitoring. *2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. IEEE, 2021. p. 1-4.

10. Dudley B. et al. BP statistical review of world energy. *BP statistical review, London, UK, accessed Aug. 2018*. T. 6. №. 2018. p. 116.
11. Reyes-Campos J. et al. Discovery of resident behavior patterns using machine learning techniques and IoT paradigm. *Mathematics*. 2021. T. 9. №. 3. p. 219.
12. Li W. et al. A novel smart energy theft system (SETS) for IoT-based smart home. *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. T. 6. №. 3. p. 5531-5539.
13. Goh T., Ang B. W. Four reasons why there is so much confusion about energy efficiency. *Energy Policy*. 2020. T. 146. p. 111832.
14. Fang Y. et al. Study of human thermal comfort for cyber–physical human centric system in smart homes. *Sensors*. 2020. T. 20. №. 2. p. 372.
15. Bhamidi L., Sivasubramani S. Optimal sizing of smart home renewable energy resources and battery under prosumer-based energy management. *IEEE Systems Journal*. 2020. T. 15. №. 1. p. 105-113.
16. Aliero M. S. et al. Smart Home Energy Management Systems in Internet of Things networks for green cities demands and services. *Environmental Technology & Innovation*. 2021. T. 22. p. 101443.
17. Yang C. Design of Smart Home Control System Based on Wireless Voice Sensor. *Journal of Sensors*. 2021. p. 2021.
18. Del Rio D. D. F. et al. Critically reviewing smart home technology applications and business models in Europe. *Energy Policy*. 2020. T. 144. p. 111631.
19. Vats G., Mathur R. A net-zero emissions energy system in India by 2050: An exploration. *Journal of Cleaner Production*. 2022. p. 131417.
20. Felius L. C., Dessen F., Hrynyszyn B. D. Retrofitting towards energy-efficient homes in European cold climates: a review. *Energy Efficiency*. 2020. T. 13. №. 1. p. 101-125.
21. Saunders H. D. et al. Energy Efficiency: what has research delivered in the last 40 years? *Annual review of environment and resources*. 2021. T. 46. p. 135-165.

22. Mofidi F., Akbari H. Personalized energy costs and productivity optimization in offices. *Energy and Buildings*. – 2017. T. 143. p. 173-190.
23. Salimi S., Liu Z., Hammad A. Simulation-based optimization of energy consumption and discomfort in multi-occupied offices considering occupants locations and preferences. *Proceedings of the 15th IBPSA Conference. San Francisco, CA, USA*. 2017.
24. Ouf M. M., Park J. Y., Gunay H. B. On the simulation of occupant-centric control for building operations. *Journal of Building Performance Simulation*. 2021. T. 14. №. 6. p. 688-691.
25. Abuimara T. et al. A data-driven workflow to improve energy efficient operation of commercial buildings: A review with real-world examples. *Building Services Engineering Research and Technology*. 2022. p. 01436244211069655.
26. Torabi N. et al. Inverse model-based virtual sensors for detection of hard faults in air handling units. *Energy and Buildings*. 2021. T. 253. p. 111493.
27. Kuo T. C., Chan Y. C., Chen A. Y. An occupant-centered integrated lighting and shading control for energy saving and individual preferences. *Computing in Civil Engineering 2017*. 2017. p. 207-214.
28. Ardiansah I. et al. Design of micro-climate data monitoring system for tropical greenhouse based on arduino UNO and raspberry pi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. T. 757. №. 1. p. 012017.
29. Liu Z., Salimi S., Hammad A. Simulation of HVAC local control based on occupants locations and preferences. *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. IAARC Publications, 2016. T. 33. p. 1.
30. Сисоєва К. В., Бобровнікова К. Ю. Дослідження технологій забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок». *АПКН–2021 (Хмельницький, 15-16 жовтня 2021)*. С. 211-213.

31. Gunawan T. S. et al. Development of smart chicken poultry farm using RTOS on Arduino. *2019 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. IEEE, 2019. pp. 1-5.
32. Yadahalli S., Parmar A., Deshpande A. Smart Intrusion Detection System for Crop Protection by using Arduino. *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*. IEEE, 2020. pp. 405-408.
33. Gines G. A., Bea J. G., Palaoag T. D. Characterization of soil moisture level for rice and maize crops using gsm shield and arduino microcontroller. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018. T. 325. №. 1. pp. 012019.
34. Moshayedi A. J. et al. Raspberry Pi SCADA Zonal based System for Agricultural Plant Monitoring. *2019 6th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*. IEEE, 2019. pp. 427-433.
35. Nasution A. M. T., Fajrin Y. A., Suyanto H. Calibrating of simple and lowcost Raspberry-Pi camera-based Chlorophyll meter for accurately determining chlorophyll content in paddy leaves. *Third International Seminar on Photonics, Optics, and Its Applications (ISPhOA 2018)*. International Society for Optics and Photonics, 2019. T. 11044. pp. 1104407.
36. Hafiz M., Ardiansah I., Bafdal N. Website Based Greenhouse Microclimate Control Automation System Design. *Jurnal Online Informatika*. 2020. T. 5. №. 1. pp. 105-114.

## ДОДАТОК А

(обов'язковий)

### ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

```
#include <WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include "DHT.h"
#define DHTTYPE DHT11
uint8_t DHTPin = D2;
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);
float Temperature;
float Humidity;
void send_event(const char *event);
const char* ssid = "Wi-Fi Name";
const char* password = "Password";
const char *host = "maker.ifttt.com";
const char *privateKey = "Private Key";
WiFiServer server(80);
String header;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(DHTPin, INPUT);
  dht.begin();
  Serial.print("Connecting to Wifi Network");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("Successfully connected to WiFi.");
```

```

Serial.println("IP address of ESP32 is : ");
Serial.println(WiFi.localIP());
server.begin();
Serial.println("Server started");
}
void loop()
{
Temperature = dht.readTemperature();
Humidity = dht.readHumidity();
WiFiClient client = server.available();
if (client)
{
Serial.println("Web Client connected ");
String request = client.readStringUntil('\r');
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close");
client.println("Refresh: 10");
client.println();
client.println("<!DOCTYPE HTML>");
client.println("<html>");
client.println("<style>html { font-family: Cairo; display: block; margin: 0px
auto; text-align: center;color: #333333; background-color: ##f3ffee;}");
client.println("body{margin-top: 50px;}");
client.println("h1 {margin: 50px auto 30px; font-size: 50px; text-align:
center;}");
client.println(".side_adjust{display: inline-block;vertical-align:
middle;position: relative;}");
client.println(".text1{font-weight: 180; padding-left: 15px; font-size: 50px;
width: 170px; text-align: left; color: #3498db;}");
client.println(".data1{font-weight: 180; padding-left: 70px; font-size:
50px;color: #3498db;}");
client.println(".text2{font-weight: 180;padding-left: 15px; font-size: 50px;
width: 170px; text-align: left; color: #ff6600;}");

```

```

client.println(".data2{font-weight: 180; padding-left: 120px; font-size:
50px;color: #ff6600;}");
client.println(".data{padding: 10px;}");
client.println("</style>");
client.println("</head>");
client.println("<body>");
client.println("<div id=\"webpage\">");
client.println("<h1>ESP32 Interfacing with DHT11</h1>");
client.println("<div class=\"data\">");
client.println("<div class=\"side_adjust text1\">Humidity:</div>");
client.println("<div class=\"side_adjust data1\">");
client.print(Humidity);
client.println("<div class=\"side_adjust text1\">%</div>");
client.println("</div>");
client.println("<div class=\"data\">");
client.println("<div class=\"side_adjust text2\">Temperature:</div>");
client.println("<div class=\"side_adjust data2\">");
client.print(Temperature);
client.println("<div class=\"side_adjust text2\">*C</div>");
client.println("</div>");
client.println("</div>");
client.println("</body>");
client.println("</html>");
delay(4000);
if ( Temperature >= 20) {
    send_event("temp_event");
}
}
}
void send_event(const char *event)
{
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(host);

```

```
WiFiClient client;
const int httpPort = 80;
if (!client.connect(host, httpPort)) {
  Serial.println("Connection failed");
  return;
}
String url = "/trigger/";
url += event;
url += "/with/key/";
url += privateKey;
Serial.print("Requesting URL: ");
Serial.println(url);
client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
             "Host: " + host + "\r\n" +
             "Connection: close\r\n\r\n");
while(client.connected())
{
  if(client.available())
  {
    String line = client.readStringUntil('\r');
    Serial.print(line);
  } else {
    // No data yet, wait a bit
    delay(50);
  };
}
Serial.println();
Serial.println("closing connection");
client.stop();
}
```

**ДОДАТОК Б**  
(обов'язковий)

Копія тез доповіді на Всеукраїнській науково-практичній конференції  
Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021)

Сисоєва К. В., Бобровнікова К. Ю. Дослідження технологій забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок» // АПКН–2021 (Хмельницький, 15-16 жовтня 2021). С. 211-213

УДК 004.896

Сисоєва К. В., Бобровнікова К. Ю.

*Хмельницький національний університет***ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ  
СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»**

*Одним із позитивних наслідків впровадження систем домашньої автоматизації, таких як «Розумний будинок», в повсякденне життя споживачів є часткове вирішення проблеми енергоефективності і енергозбереження. Окрім того, сучасні технології дозволяють використовувати існуючі системи «Розумного будинку» та доповнювати їх прогресивними інноваційними технологіями. В роботі представлено аналіз сучасних методів і технологій, які спрямовані на забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок».*

*One of the positive consequences of the introduction of home automation systems, such as "Smart Home", in the daily lives of consumers is a partial solution to the problem of energy efficiency and energy saving. In addition, modern technologies allow the use of existing Smart Home systems and complement them with advanced innovative technologies. The paper presents an analysis of modern methods and technologies aimed at ensuring energy efficiency and energy saving in the cyberphysical system "Smart Home".*

Задачі підвищення енергозбереження та енергоефективності тісно пов'язані з проблемами енергетики та екології. На сьогоднішній день ефективно та раціональне використання й економне витрачання енергетичних ресурсів є однією з найважливіших задач. Одним з ефективних засобів вирішення цих важливих задач є залучення сучасних технологій енергозбереження та енергоефективності шляхом впровадження кіберфізичної системи «Розумний будинок» не лише в приватних будівлях і в квартирах, а й в будівлях різного господарського призначення. Це дозволяє не лише підвищити рівень комфорту споживачів, а й зменшити показники споживання енергії та використовувати її виключно за призначенням.

Для визначення показників енергоефективності використовуються різні методи оцінювання впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на енергоспоживання в конкретній будівлі [1].

Дані методи спрощують отримання первинної оцінки, розрахунок рівня енергоефективності будівель, в тому числі і систем «Розумний будинок». При дотриманні сучасних стандартів та нормативів енергетичних характеристик будівель та їх автоматизації є можливість покращити: управління та моніторинг

систем опалення та охолодження; управління та моніторинг систем вентиляції; управління та моніторинг систем освітлення; управління та моніторинг систем жалюзі [1].

На сьогоднішній день в наукових джерелах представлено багато методів, в яких поставлено за мету підвищення енергоефективності та енергозбереження в системі «Розумний будинок».

В роботі [2] з метою заощадження споживання енергії було розроблено модель нелінійного програмування, в якій було враховано баланс між необхідним рівнем енергозбереження та комфортом споживача (рівнем життя). Для перевірки ефективності розробленого методу було створено ряд сценаріїв для користувачів із різними потребами, які можуть виникати в повсякденному житті.

В [3] було досліджено вплив HEMS (система домашнього енергоменеджменту) на споживання енергії та зроблено висновок, що в різних домогосподарствах значно відрізняється показник споживання енергії. Визначено протиріччя в сценаріях споживання енергії, що виникають при спробах підвищення одночасно комфорту споживача та енергозбереження. На відміну від [2], з метою проведення експериментальних досліджень було використано реальні показники енергоспоживання, одержані в результаті спостереження за реальним середовищем (група будинків із впровадженою системою «Розумний будинок»).

Інше можливе вирішення проблеми енергоефективності було запропоноване в [4]. Важливим загальним недоліком при впровадженні системи «Розумний будинок» є відсутність інтегрованої операційної системи, що призводить до проблем інтеграції різнорідних компонентів системи «Розумного будинку». Так, користувачу потрібно керувати кожним пристроєм окремо, що призводить до таких проблем, як, наприклад, надмірний трафік у мережі «Розумного будинку». Для подолання цієї проблеми і ефективного управління системою «Розумний будинок» було запропоновано три інтелектуальні моделі як сервісні додатки платформи IoT для «Розумного будинку».

В [5] представлена система IntelliHome, яка використовує технології аналізу великих даних, методи машинного навчання та статистики, що сприяє можливості більш ефективного використання пристроїв Інтернету речей та підвищення енергоефективності.

В [6] представлено ієрархічний метод глибокого навчання (DRL) для планування споживання енергії розумними побутовими приладами та розподіленими енергетичними ресурсами (DER), включаючи систему накопичення енергії (ESS). Було запропоновано дворівневу систему DRL, в якій використання побутової техніки планується на першому рівні відповідно до бажаних для користувача сценаріїв і рівня комфорту, в той час як сценарії заряджання та розряду ESS розраховуються на другому рівні, використовуючи оптимальне рішення для першого рівня та враховуючи характеристики середовища споживача.

В результаті поведеного аналізу сучасних методів забезпечення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок» можна зробити висновок, що дана проблема є надзвичайно актуальною. Розглянутим

підходам властиві певні недоліки, а саме: необхідність в попередньому вивченні потреб споживача, що може вимагати значних витрат часу; складність визначення оптимального рівня комфорту, правил безпеки та складність підбору необхідної функціональності. Отже, можна зробити висновок, що існує необхідність у розробленні нових методів, які враховуватимуть переваги та недоліки відомих підходів та забезпечать підвищення енергоефективності та енергозбереження в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

#### **Перелік посилань**

1. M. Amer, A. Naaman, N. K. M'Sirdi and A. M. El-Zonkoly. Smart home energy management systems survey. *International Conference on Renewable Energies for Developing Countries 2014*, pp. 167-173, doi: 10.1109/REDEC.2014.7038551.
2. Anvari-Moghaddam, Amjad, Hassan Monsef, and Ashkan Rahimi-Kian. Optimal smart home energy management considering energy saving and a comfortable lifestyle. *IEEE Transactions on Smart Grid* 6.1, 2014, pp. 324-332.
3. A. Nilsson. Smart homes, home energy management systems and real-time feedback: Lessons for influencing household energy consumption from a Swedish field study, 179, 2018, pp. 15-25.
4. Jo, H., Yoon, Y.I. Intelligent smart home energy efficiency model using artificial TensorFlow engine. *Hum. Cent. Comput. Inf. Sci.* 8, 9, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13673-018-0132-y>.
5. Paredes- Valverde, Mario A., et al. IntelliHome: An internet of things- based system for electrical energy saving in smart home environment. *Computational Intelligence* 36.1, 2020, pp. 203-224.
6. S. Lee, D.-H. Choi. Energy Management of Smart Home with Home Appliances, Energy Storage System and Electric Vehicle: A Hierarchical Deep Reinforcement Learning Approach. *Sensors*, 2020, pp. 21-57. <https://doi.org/10.3390/s20072157>.

**ДОДАТОК В**  
(обов'язковий)

**ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДОПОВІДІ**

**МЕТОД ТА ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ  
УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В  
ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В  
КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ  
БУДИНОК»**

Доповідач: Сисоєва К. В.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Бобровнікова К. Ю.

- **Об'єктом дослідження** є процес підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі аналізу поведінки користувачів та побудованих моделей споживання енергії.
- **Предметом дослідження** є моделі, методи та програмно-технічні засоби забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» на основі аналізу поведінки користувачів та побудованих моделей споживання енергії.
- **Метою дипломної роботи** є підвищення енергоефективності підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» шляхом розроблення програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

## ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- дослідити енергоефективність відомих підсистем клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та визначити їх переваги та недоліки;
- на основі проведених досліджень охарактеризувати структуру предметної області та визначити основні функції підсистеми клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», сформулювати низку функціональних та нефункціональних вимог;
- провести аналіз методів управління підсистемою клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та визначити шляхи підвищення її енергоефективності;

## ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- розробити метод підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»;
- на основі розробленого методу розробити програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»;
- провести експериментальне дослідження функціонування програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та оцінити її ефективність.

## НАУКОВА НОВИЗНА:

- удосконалено модель процесу підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка, на відміну від відомих моделей, заснована на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів;
- удосконалено метод підвищення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який, на відміну від відомих методів, ґрунтується на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів для збалансування рівня комфорту користувачів та ефективності споживання енергії, та є основою програмно-технічного засобу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок». Застосування розробленого методу дозволить підвищити енергоефективність в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», в порівнянні з відомими методами.

## ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ

В результаті виконаного наукового дослідження розроблено програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка надає можливість підвищити енергоефективність в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», в порівнянні з відомими програмно-технічними засобами.

## АКТУАЛЬНІСТЬ

- Актуальність роботи полягає у необхідності розробки методу та програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», реалізація яких надасть можливість підвищення енергоефективності в регіонах та зменшить використання природних ресурсів та вплив на атмосферу.
- Технології кіберфізичної системи «Розумний будинок» дозволяють автоматизувати управління системами всіх побутових приладів у будинку, підлаштовуватись під потреби користувача, зберігати важливі економічні запаси енергії.

### МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Представимо модель системи клімат-контролю, як керуючу множину:

$$A = \{A_j\}_{j=1}^{N_A},$$

o – опалення;

v- вентиляція;

k – кондиціонування;

t – тепла підлога.

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Енергія маси в установках обробки повітря визначається наступним чином:

$$m_{oa}h_{oa} + m_{ra}h_{ra} + Q_{cc} + Q_{hc} = (m_{oa} + m_{ra})h_{sa},$$

- де  $m$  (кг/с) — витрата маси повітря,
- $h$  (кДж/кг) — питома кількість тепла (кількість тепла на кг сухого повітря) вологого повітря,
- а  $Q_{cc}$  (кВт) і  $Q_{hc}$  (кВт) представляють тепло, додане змішавику охолодження та нагрівання до потоку змішаного повітря відповідно.

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Періоди нагріву та охолодження вивчаються окремо, і рівняння балансу теплової маси за відсутності проміжних давачів має вигляд:

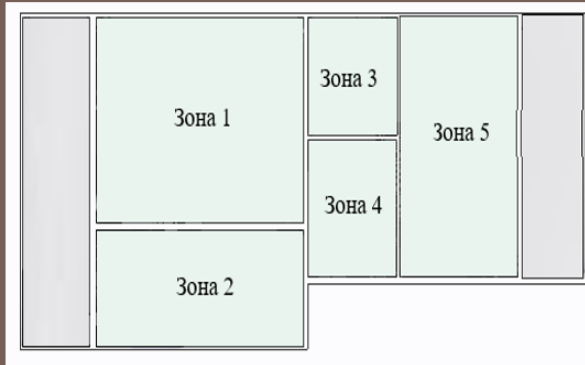
- Холодна пора року:  $T_{sa} = x_1 S_{od} T_{oa} + (1 - x_1 S_{od}) T_{ra} + x_2 S_{cc}$
- Тепла пора року:  $T_{sa} = x_1 S_{od} T_{oa} + (1 - x_1 S_{od}) T_{ra} + x_3 S_{hc}$

Коли доступні проміжні давачі, попереднє рівняння стає:

- Холодна пора року:  $T_{csa} = T_{ma} + x_2 S_{cc}$
- Тепла пора року:  $T_{hsa} = T_{ma} + x_3 S_{hc}$

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Будинок, можна умовно поділити на зони, в якому встановлений програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок». Програмно-технічний засіб надає можливість управління наступними підсистемами: опалення, керування теплими підлогами, зволоження повітря, вентиляції та кондиціонування.



## ОПТИМАЛЬНІ ТА ДОПУСТИМІ ПОКАЗНИКИ МІКРОКЛІМАТУ

Допустимі умови	Мінімальні	Максимальні	Крок	Зони розповсюдження
Параметри для опалення	18	23	0,5	Окремі зони, за потребою
Параметри для зниження температури (кондиціонування)	23	26	0,5	Окремі зони, за потребою

Пора року	Температура повітря		Відносна вологість			Циркуляція повітря	
	оптимальна	допустима	оптимальна	допустима, не більше	не оптимальна	допустима, не більше	не
Холодна	19-21	18-23	45-30	60	0.2	0.3	
Тепла	23-25	18-28	60-30	65	0.3	0.4	

## КРИТЕРІЇ ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА МОДЕЛЬ

- зовнішній клімат, це і температура повітря, швидкість вітру;
- характеристики будівлі, площа, висота, розміщення кімнат;
- побажання мешканців;
- технічні можливості будинку, наявність пристроїв;
- соціальні та економічні фактори;
- модель поведінки мешканців;
- особливості навколишнього середовища.

## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Запропонований метод складається з двох етапів: етап моніторингу за мешканцями та збір інформації по діям контролерів, які працюють за вказаним алгоритмом у різних зонах та етап машинного навчання

Основні кроки етапу моніторингу за мешканцями:

1. встановлення датчиків руху або мультидатчиків;
2. визначення об'єкту, мешканця;
3. встановлення проміжку часу спостереження;
4. проведення анкетування для визначення детальних потреб мешканців;
5. аналіз проведеного анкетування;
6. реєстрація мешканців в додатку, де можна відслідковувати, які значення по температурі та іншим показникам встановлено вручну;
7. аналіз відношення зони перебування та внесених змін.

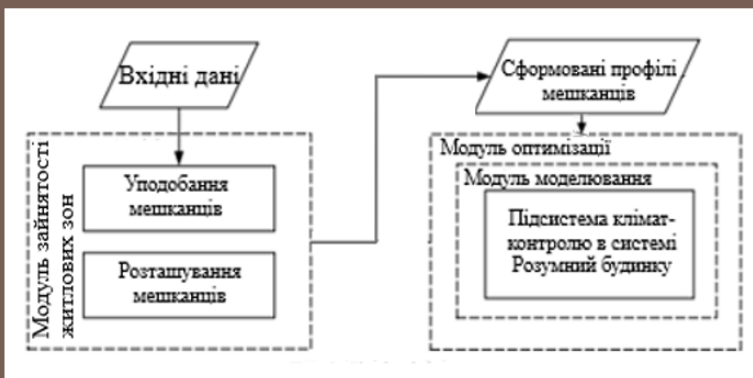
## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ПІДСИСТЕМІ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Основні кроки етапу машинного навчання:

1. ввести початкові дані, визначені по частоті перебування мешканців в певних зонах;
2. додавання оптимальних умов, які мають підтримуватись в певних зонах;
3. вказати параметри моделі;
4. вибір алгоритму роботи;
5. на основі існуючих даних, робити висновки, відмічати закономірності;
6. внесення нових даних з додатку (зміни коли? що? де?);
7. розвиток згідно перших висновків та нових показників;
8. самонавчання.

## ОСНОВНІ МОДУЛІ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ

Запропонований метод складається з трьох основних модулів, як показано на рисунку. Розглянемо детальніше модуль зайнятості житлових зон. Він використовується для визначення кількості мешканців, створює профілі з показниками на основі їх розташування та дані про переваги, погодинне розташування мешканців, а також бажані зміни в налаштуваннях підсистеми клімат-контролю та освітлення системи записуються, щоб знайти просторово-часові закономірності переваги мешканців щодо цих систем.



## ВИСНОВКИ

- У першому розділі проведено аналіз та дослідження відомих технологій керування підсистемою клімат-контроль в системі «Розумний будинок». Визначено переваги та недоліки відомих методів на основі проведеного аналізу. Досліджено найпопулярніші рішення, щодо оптимізації енергоефективності, та розглянуто певні технології та відмічено основні фактори впливу на покращення показників, які є основними у контексті енергоефективності.
- У другому розділі представлено удосконалену модель процесу забезпечення енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», яка, на відміну від відомих моделей, заснована на побудованих моделях споживання енергії з урахуванням поведінки користувачів. Запропонована модель є основою методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».
- У третьому розділі представлено удосконалений метод управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який складатиметься з трьох основних етапів, що включають в себе збір даних, їх обробку та застосування моделі зайнятості зон. Під час обробки даних потрібно провести їх аналіз, щоб визначити важливі характеристики зайнятості зон, а також кількість мешканців, періоди їх присутності та інші показники.
- У четвертому розділі на основі представленого методу показано реалізацію програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».
- Отже, впровадження удосконаленого методу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», дозволяє підвищити енергоефективність та зменшує дискомфорт користувачів у відношенні до керування підсистемою клімат-контролю.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
23.05.2022 11:15:16 EEST

Дата звіту:  
23.05.2022 11:15:35 EEST

ID перевірки:  
1011294868

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Сисоєва\_Методи та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсисте...

Кількість сторінок: 80 Кількість слів: 12077 Кількість символів: 91461 Розмір файлу: 5.94 MB ID файлу: 1011183301

## 3.62% Схожість

Найбільша схожість: 1.95% з Інтернет-джерелом (<https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jul/13871>)

2.36% Джерела з Інтернету 12 ..... Сторінка 82

1.4% Джерела з Бібліотеки 64 ..... Сторінка 82

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 8

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 0.0%

Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 9%

ID: 103809 Название: Методи та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» Додано в БД: 2022-05-23 Автори: Сисоева К.В. Руководители: Бобровнікова К.Ю. Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	84502	619	726 (1%)	10 (2%)

### Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Сисосєва Катєрина Володимирівна

Тема: Методи та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень \_\_\_\_\_ Кількість сторінок записки 80

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є підвищення показників енергоефективності в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі проведено аналіз методів управління підсистемою клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» та визначено шляхи підвищення її енергоефективності. В другому розділі розроблено модель процесу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок». В третьому розділі розроблено метод управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», заснований на розробленій моделі. В четвертому розділі реалізовано програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

4. Позитивні сторони роботи: Застосування розробленого методу та програмно-технічного засобу дозволить підвищити енергоефективність в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

5. Негативні сторони роботи: В моделі процесу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» відсутня формалізація підсистем опалення та кондиціонування повітря. В описі проведених експериментів відсутній опис сценаріїв поведінки користувачів з урахуванням їх передумань в різних зонах житлового приміщення.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному дипломна робота заслуговує задовільної оцінки. Дипломна робота присвячена вирішенню актуальної задачі розроблення методів та програмно-технічного засобу управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок». Усі розділи роботи йдуть у вірній послідовності, що дозволяє розуміти викладений матеріал.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої дипломної роботи, можна зробити висновок, що вона заслуговує на оцінку «задовільно».

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Мартинюк Валерій Володимирович, д.т.н., професор, завідувач кафедрою Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій і телекомунікацій

“ 09 ” 05 2022 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІС  
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Сисосва Катерина Володимирівна  
ПІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 2 курсу, групи КІ2м-20-1

### ЗАЯВА

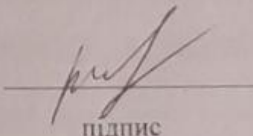
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення 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 плагіату в текстах робіт.

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

19.05.2022

дата



підпис

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

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Методи та програмно-технічний засіб управління енергоефективністю в підсистемі клімат-контролю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Автор: Сисоєва Катерина Володимирівна

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Бобровнікова Кіра Юліївна, 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 плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є 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. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є 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 (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття 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) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотириохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 3,62% і адресується до 76 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІСч

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

К.Ю. Бобровнікова

О. С. Савенко

Т. О. Говорушенко