

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 –Комп'ютерна інженерія

на тему «Метод та програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

КВРКІ. 016023.20.01.03 ПЗ

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

  
Підпис

Боднарівський В.О.  
Ініціали, прізвище

Керівник доктор техн. наук, професор  
Науковий ступінь, вчене звання

  
Підпис

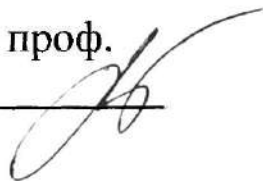
Яцків В.В.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко

\_\_\_\_\_ 2022 р.



# 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)

Боднарівському Володимирі Олеговичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Метод та програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Керівник проекту (роботи) Яцків В.В., д.т.н., професор

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 10.05.2022 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 кіберфізичній системі

«розумний

будинок

Модель процесу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі

«розумний

будинок»

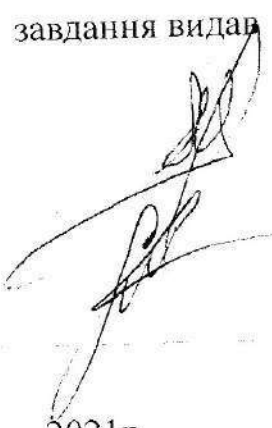
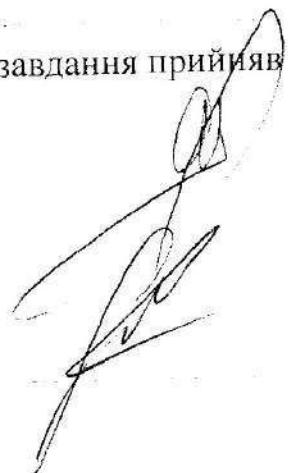
Метод управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок»

Програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі

«розумний будинок

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

Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІС		
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 КвРМ 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 КвРМ	18.04.2022	виконано
10	Захист КвРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2022	

Студент

  
Підпис

Боднарівський В.О.  
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)



Яцків В.В.  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Метод та програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Автор роботи: Боднарівський Володимир Олегович.

Керівник роботи: д.т.н., професор, Яцків Василь Васильович.

Пояснювальна записка: 101 с., 44 рис., 3 табл., 3 дод., 97 джерел.

**ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ (6-8) ЧЕРЕЗ КОМУ.** розумний будинок, енергоефективність, програмно-апаратний засіб, Розумний будинок, модель управління розумним будинком.

Метою кваліфікаційної роботи є покращення якості життя містян, підвищення екологічних стандартів, покращення умов життя людей з особливими потребами.

Об'єктом дослідження є процеси управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Предметом дослідження є методи та алгоритми управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Отримав подальший розвиток метод, який забезпечує можливість визначення кількості осіб в приміщенні та допомагає контролювати рівень кисню;
2. Удосконалено метод визначення вподобань користувача, що дозволило досягти більш ефективного використання енергоносіїв.

На основі проведених досліджень розроблено метод визначення кількості осіб в приміщенні та метод визначення вподобань користувача, задля економії енергоресурсів.

Практична значимість отриманих результатів полягає збільшення енергоефективності приміщень, квартир, будинків, а також приміщень державного значення, що допоможе в результаті заощадити кошти та ефективно використовувати енергію.

За темою дипломної роботи опубліковано Боднарівський В.О., Яцків В.В. Принципи управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Возумний будинок». XIII Всеукраїнська науково-практична конференція. Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН–2021.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	5
ВСТУП.....	6
<b>1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» .....</b>	<b>9</b>
1.1 Аналіз предметної області функціонування та енергоспоживання підсистем кіберфізичної системи «Розумний будинок» .....	9
1.2 Узагальнений огляд функціонування та енергоспоживання підсистем кіберфізичної системи «Розумний будинок» .....	12
1.2.1 Підсистема управління опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням (HVAC) .....	14
1.2.2 Підсистема управління освітленням та електричними побутовими приладами.....	16
1.3 Огляд відомих методів управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» .....	18
1.4 Постановка задачі.....	21
1.5 Висновок до першого розділу .....	21
<b>2 МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» .....</b>	<b>23</b>
2.1 Модель функціонування підсистеми HVAC .....	23
2.2 Модель вподобань та поведінок користувачів .....	27
2.3 Модель процесу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».....	36
2.4 Висновок до другого розділу.....	42

3 МЕТОД УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» .....	46
3.1 Основи методу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».....	46
3.2 Експериментальні дослідження методу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» .....	50
3.3 Подальший аналіз та надійність.....	58
3.4 Висновок до третього розділу .....	67
4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ЗАСІБ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....	72
4.1 Апаратна складова програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок».....	72
4.2 Алгоритми програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю.	74
4.3 Інтерфейс програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» .....	87
4.4 Представлення результатів, що демонструють функціональність розробленого програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю...	87
4.5 Висновки до четвертого розділу .....	89
ВИСНОВКИ .....	91
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	94
ДОДАТОК А Фахові публікації.....	102
ДОДАТОК Б ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	106
ДОДАТОК В ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТОКОЛУ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНТРОЛЕРА В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....	113

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

HVAC – опалення, вентиляція та кондиціонування

IoT – інтернет речей

BESM – управління енергією та комфортом будівлі

BEMS – система енергоменеджменту будівлі

BIM – інформаційне моделювання будівель

MPC – прогнозний контроль моделі

PID – пропорційно-інтегральна похідна

AHU – установка для обробки повітря

PI – пропорційно-інтегральний

RFID – радіочастотна ідентифікація

CBM – управління когнітивною будівлею

COP – коефіцієнт продуктивності

УФ – ультрафіолетове випромінювання

RTLS – Система визначення місцезнаходження в реальному часі

SOOP – одноцільова оптимізація

MOOP – багатоцільова оптимізація

VAV – змінний об'єм повітря

PMV – прогнозований середній результат голосування

PPD – прогнозований відсоток незадоволених

IAQ – якість повітря в приміщенні

IEQ – якість навколишнього середовища в приміщенні

## ВСТУП

Той факт, що будівлі вносять значну частку світового споживання енергії, вимагає детальних досліджень для досягнення більш ефективних енергетичних показників будівель. Отже, моніторинг, оцінка та зменшення енергоспоживання будівель завжди був важливим питанням для дослідників та практиків у галузі енергоменеджменту. Таким чином, інтелектуальне використання енергії в будівлях є останнім трендом у дослідженнях і є метою систем управління енергією та комфортом у будівлях. Враховуючи 71% загального використання енергії для опалення, охолодження та освітлення приміщень, ці системи є основними цілями для оптимізації споживання енергії, щоб мати більш реалістичну оцінку експлуатаційного споживання енергії будинків.

Фактори, що впливають на загальне споживання енергії в будівлі, можна розділити на сім категорій:

1. Клімат (наприклад, температура зовнішнього повітря, сонячна радіація, швидкість вітру тощо).
2. Характеристики, пов'язані з будівлею (наприклад, тип, площа, орієнтація тощо).
3. Характеристики, пов'язані з користувачами, за винятком соціальних та економічних факторів (наприклад, присутність користувачів тощо).
4. Системи та експлуатація будівельних послуг (наприклад, охолодження / опалення приміщень, гаряче водопостачання тощо).
5. Формування поведінки та діяльності мешканців.
6. Соціальні та економічні фактори (наприклад, рівень освіти, енергетичні витрати тощо).
7. Необхідна якість навколишнього середовища в приміщенні.

Серед цих факторів дві останні категорії представляють вплив мешканців, які впливають на будівництво споживання енергії є непрямим, і їх вплив розглядається при дослідженні п'ятої категорії.

Взаємодія мешканців включає встановлення теплових, акустичних та візуальних критеріїв комфорту в приміщенні, відкривання / закриття вікон, увімкнення / вимкнення світла, увімкнення / вимкнення офісного обладнання та ввімкнення / вимкнення системи кондиціонування та вентиляції. Таким чином, уподобання та діяльність мешканців будівель можуть мати значний позитивний чи негативний вплив на економію енергії. Ці ефекти спричиняють великі відмінності у споживанні енергії будинку навіть між подібними будівлями з однаковими характеристиками та розташованими в подібних місцях.

Основними енергоємними системами в будівлях є системи опалення, вентиляції та освітлення, на частку яких припадає 33% та 25% загального споживання енергії відповідно. У центрі уваги цієї кваліфікаційної роботи є житлові будівлі та офіси.

В результаті неправильного використання побутової техніки та будинкових систем мешканці багатьох будівель насправді витрачають більше енергії, ніж їм потрібно. Комп'ютери залишаються увімкненими, коли живлення вимкнено режим збереження протягом дня, навіть коли мешканці залишають свої приміщення, часто залишають світло включеним, або освітлюють певні зони квартири, які не використовуються. Системи HVAC відхиляються від своїх ідеальних налаштувань для ефективної роботи, щоб задовольнити уподобання мешканців, і встановлюються на основі пікового навантаження незалежно від фактичного використання приміщень.

Таким чином(отже), уподобання мешканців мають важливий вплив на енергоспоживання будівель, що слід розглядати якомога ретельніше, коли мова йде про моделі енергоспоживання будівель.

Актуальність роботи полягає в розробці методу та програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

Метою дипломної роботи є програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

Для виконання поставленої мети слід звернути увагу на такі основні пункти:

1. Розглянути відомі методи управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

2. Модернізувати програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

3. Модернізувати метод проектування протоколу для центрального контролера управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

4. Здійснити реалізацію програмно-апаратного засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок» згідно розроблених рішень.

Об'єктом дослідження є програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

Предметом дослідження є методи управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

Наукова новизна отриманих результатів: розроблено метод управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленому програмно-апаратному засобі управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення методи теорії комп'ютерних мереж, архітектури комп'ютерів, теорії множин.

За темою дипломної роботи опублікована одна публікація у Збірнику наукових праць за матеріалами XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький. 2021 [81].

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

1.1 Аналіз предметної області функціонування та енергоспоживання підсистем кіберфізичної системи «Розумний будинок»

Застосування стратегій розумного управління є одним із методів, що широко застосовуються для підвищення енергоефективності будівель. Такі вимоги, як покращення енергоспоживання будинку при збереженні або підвищенні комфорту, пов'язують стратегії управління з присутністю мешканців та їх взаємодією із будівельними системами. Отже, оцінка впливу стратегій управління, орієнтованих на населення, на системи будівель із високим споживанням енергії залежить від моделі поселення, яка походить від моделі використання простору, спричиненої поведінкою мешканців. Це показує прямий зв'язок між схемою заповнення простору та функцією будівельної системи[3].

Використання приміщення, освітлення та іншого обладнання є основними факторами, що сприяють збільшенню внутрішнього тепла, особливо у великих комерційних будівлях. Однак невизначений об'єм тепла у випадковому середовищі існування може призвести до переохолодження або перегріву простору під час роботи системи HVAC.

Отже, найкраща стратегія управління для цих систем повинна базуватися на демографічній інформації, щоб задовольнити як потреби мешканців, так і енергоефективність будівель [4].

Виходячи з вищезазначеного, дослідження енергоефективності будівель на основі поведінки мешканців включає такі пункти, (рисунки 1.1-1.5):

- 1) відповідний тип системи виявлення та спостереження, включаючи нові технології, такі як Інтернет речей (IoT);
- 2) відповідні методи моделювання використання приміщень для отримання детермінованих або ймовірнісних профілів використання;

- 3) моделювання підсистеми інформаційної технології управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» ;
- 4) використання оптимізації, щоб підвищити рівень комфорту мешканців, мінімізуючи споживання енергії;
- 5) стратегії керування системами HVAC та електричними приладами.

Однак більшість систем виявлення зайнятості не можуть визначити кількість мешканців та конкретне місцезнаходження кожного мешканця, коли він використовується у багатоквартирному будинку [5].



Рисунок 1.1 – Різні аспекти дослідження енергоефективності будівлі, пов'язані з поведінкою мешканців

Більшість наукових робіт [3], що розглядають спільні багатоквартирні будинки, не враховують вподобання та вимоги до рівня комфорту різних користувачів. Тому необхідно застосовувати відповідні методи локалізації, щоб розрізнити різних мешканців квартир та офісів, які займають багато людей, і застосувати їхні уподобання [6].

Потім, використовуючи різні статистичні, стохастичні методи або методи машинного навчання, застосовуються процедури після обробки для очищення вихідних даних та моделювання моделі сукупності.

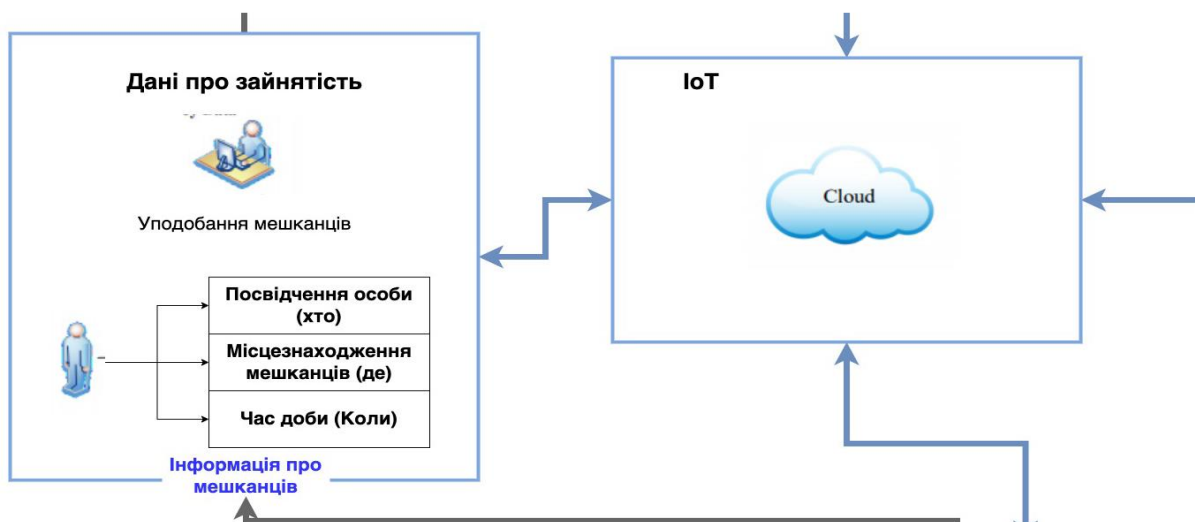


Рисунок 1.2 – Різні аспекти дослідження енергоефективності будівлі, пов’язані з поведінкою мешканців

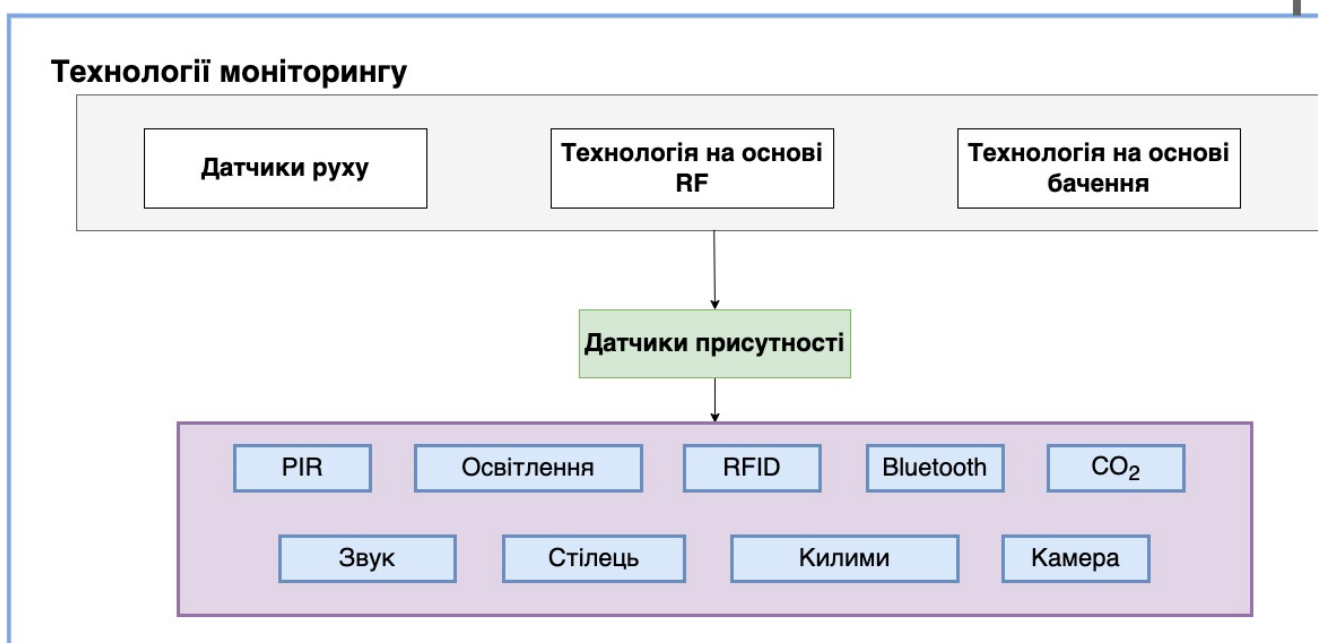


Рисунок 1.3 – Різні аспекти дослідження енергоефективності будівлі, пов’язані з поведінкою мешканців

Програмне забезпечення для енергетичного моделювання вимагає параметрів будівлі та інформації про зайнятість як вхідні дані для моделювання енергетичних показників будівлі.

З метою підвищення ефективності енергетичного моделювання слід вивчити джерело помилок у вхідних даних [5, 6]. Час збору даних та рівень роздільної

здатності, що використовується для аналізу зібраних даних, є двома ключовими факторами для розробки точної моделі прогнозування сукупності.

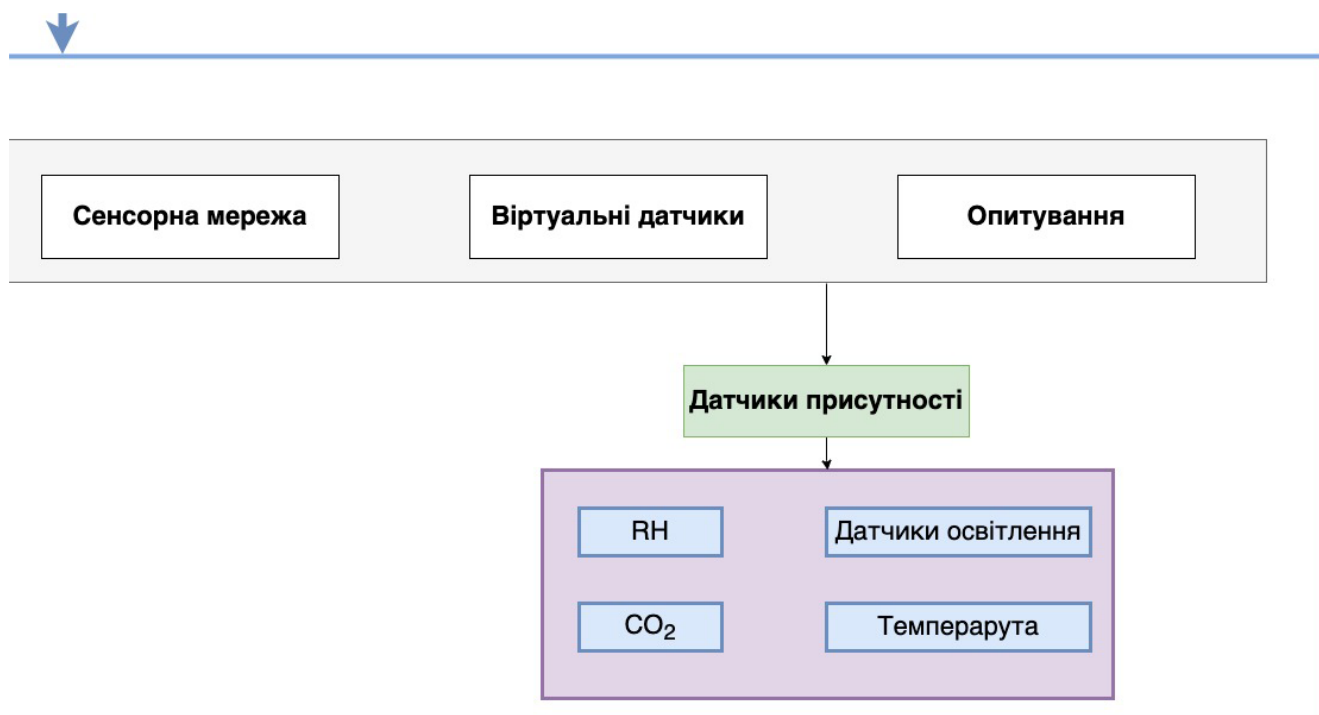


Рисунок 1.4 – Різні аспекти дослідження енергоефективності будівлі, пов’язані з поведінкою мешканців

З точки зору оптимізації було проведено обмежені дослідження, які використовують алгоритми оптимізації для підвищення ефективності методів енергозбереження.

## 1.2 Узагальнений огляд функціонування та енергоспоживання підсистем кіберфізичної системи «Розумний будинок»

Основними джерелами споживання енергії в офісах є системи освітлення та вентиляції та кондиціонування, а також оргтехніка. Дослідження показують, що американці та європейці проводять в середньому від 85% до 90% свого часу в приміщенні. У Канаді приблизно 85% загальної енергії в інституційних та комерційних будівлях споживається на опалення, охолодження, освітлення та ІТ-обладнання [7]. Тому розумне використання енергії в будівлях є останнім трендом

досліджень і є метою систем управління енергією та комфортом будівлі (BESM), що вимагає належного розуміння взаємодії між мешканцями та системами будівлі.



Рисунок 1.5 – Різні аспекти дослідження енергоефективності будівлі, пов’язані з поведінкою мешканців

Система BESM включає в себе систему HVAC, освітлення, гарячу воду та контроль електрики з метою задоволення вимог мешканців щодо комфорту при зменшенні споживання енергії під час експлуатації будівлі. Щоб покращити проектування та функціонування будівлі за допомогою BESM, слід розглянути

відповідні стратегії енергозбереження. Застосування контрольних дій є важливою частиною стратегій енергозбереження [8].

Контролюючі дії включають, але не обмежуються ними, відключення приладів, що рідко використовуються, увімкнення функції «сплячого режиму» на комп'ютерах, встановлення термостата на розумну температуру, розумне використання сонячного світла, використання жалюзі тощо. Ці дії контролю спрямовані на торгівлю -виключення між мінімізацією витрат на енергію та використанням при максимальному комфорті та задоволеності мешканців [9].

Однак сучасні методи будівельного контролю не можуть повністю досягти цих цілей. Це означає, що застосування більш економічно ефективних стратегій може призвести до зниження задоволеності мешканців і навіть до зниження продуктивності.

Основними джерелами енергоспоживання в будинках, квартирах, офісах, тощо є системи освітлення та опалення, вентиляції та вентиляції [10].

Отже, інтелектуальне використання енергії в будівлях є основою досліджень і є метою систем управління енергією та комфортом у будівлях, що вимагає належного розуміння взаємодії між мешканцями та системами будівель.

### 1.2.1 Підсистема управління опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням (HVAC)

Система «Розумний будинок» включає систему HVAC, освітлення, управління гарячою водою та електроенергією з метою задоволення вимог мешканців щодо комфорту при одночасному зменшенні споживання енергії під час експлуатації будівлі [11].

Під кімнатою розуміється приміщення з чотирма стінами повної висоти, наприклад офіси з одним або кількома мешканцями та кімнати для переговорів. Зона є частиною кімнати і визначається відповідно до кількості термінальних блоків HVAC або освітлювальних приладів у кімнаті, якщо не вказано інше.

Наприклад, ціла будівля або кілька кімнат визначаються як зони в деяких документах. Індивідуальна роздільна здатність використовується, коли доступний індивідуальний контроль з точки зору HVAC та освітлення [10,11]. Наприклад, офіс відкритого планування як кімната може мати кілька зон, і в кожній зоні може бути кілька окремих секцій (наприклад, кабін). Ця класифікація використовується у всьому розділі 2.

Що стосується просторової роздільної здатності запропонованих стратегій керування, більшість розглянутих робіт оцінювали вплив стратегій керування HVAC на загальні приміщення [12]. Однак лише одне дослідження досліджувало вплив стратегії керування HVAC на офіс відкритого планування. Видно, що в більшості досліджень просторовий рівень стратегії управління знаходиться на рівні зони. Проте дев'ять із 31 дослідження визначили зони або як кімнату, або як кілька кімнат, що знижує точність застосування стратегії контролю. Крім того, не досліджується вплив індивідуальних уподобань, що призводить до здійснення місцевого контролю [13].

Нами було досліджено просторові коливання температури та заповнюваності при роботі системи HVAC в офісах відкритого планування. Вони використовували MPC, щоб знайти оптимальну задану температуру, яка пізніше використовується в контролері з пропорційно-інтегрально-похідною (PID) для регулювання швидкості вентилятора системи HVAC з кількома АНУ. Загальна кількість заповнюваних місць була визначена за допомогою лічильника. Вони припустили, що мешканці знаходяться за своїми робочими столами, якщо вони присутні в офісному приміщенні. Таким чином, просторове розташування кожного мешканця було отримано з інформації про тегування на столі мешканця [14]. Використання моделювання та порівняння запропонованої стратегії керування зі стратегіями PID-регулювання на основі статичних заданих значень призвело до 12% економії енергії. Хоча вплив рухів мешканців на споживання енергії системою HVAC є досить високим, цей ефект не враховується в цьому дослідженні. Застосування місцевих стратегій управління системою HVAC вимагає детальної інформації про заповненість.

Найважливішими даними є конкретне розташування мешканців (тобто координати  $x$  і  $y$ ), оскільки концепція локального контролю стосується врахування просторово-часових варіацій використання простору[15]. Ще один важливий фактор пов'язаний з уподобаннями мешканців. Таким чином, особистість мешканців відіграє важливу роль у впровадженні локального контролю HVAC для визначення бажаних температурних точок [16].

### 1.2.2 Підсистема управління освітленням та електричними побутовими приладами

Управлінські дії «Розумний будинок» включають: відключення рідко використовуваних приладів, увімкнення функції «сплячого режиму» на комп'ютерах, встановлення термостату на розумну температуру, розумне використання сонячного світла, використання жалюзі тощо.

Такі інтелектуальні системи допомагають отримати компроміс між мінімізацією енергетичних витрат та використанням, одночасно максимізуючи комфорт та задоволення мешканців. Однак нинішня практика управління будівництвом не може повністю досягти цих цілей [15, 16]. Це означає, що застосування більш економічно ефективних стратегій може призвести до зниження задоволеності мешканців та навіть продуктивності праці.

Системи освітлення споживають близько 20-45% загального споживання електроенергії в офісних будівлях і контролюються за допомогою датчиків зайнятості, як правило, незалежно від діяльності мешканців. У цьому випадку датчики сигналізують про стан приміщення (тобто зайняте чи не зайняте), щоб увімкнути або вимкнути системи освітлення. Таким чином, закономірності використання освітлення в основному пов'язані з моделями заповнюваності офісу.

Застосування систем управління освітленням допомагає максимально підвищити енергоефективність системи освітлення [17].

Це можна зробити за допомогою набору датчиків присутності та виконавчих механізмів для керування роботою системи освітлення (наприклад,

увімкнення/вимкнення або зменшення освітлення). Середня економія енергії становить близько 30% за рахунок застосування стратегій управління освітленням. У наступних розділах розглядаються дослідження різних стратегій керування освітленням щодо типу систем моніторингу, застосування методів оптимізації та застосування локального керування освітленням [17].

Використовували пропорційно-інтегральних (PI) контролери для регулювання рівнів затемнення кількох світильників за допомогою датчиків зайнятості та освітлення.

Результати показали, що енергоспоживання мережевих PI-контролерів близьке до споживання енергії оптимізованого контролера, який працює на основі входів освітлення.

Отже, на відміну від статей, які працювали над стратегіями керування HVAC, більшість досліджень у цій категорії використовували лише датчики руху та освітлення. Було лише два винятки, які використовували RFID та датчики тиску, деформації та вібрації разом із датчиками руху для отримання більш детальних даних про зайнятість [18]. Крім того, в останніх дослідженнях спостерігається тенденція використання лічильників енергії замість датчиків заповнюваності для відстеження мешканців для контролю освітлення.

Щодо просторових роздільних можливостей, то в більшості розглянутих робіт системи освітлення контролювалися на індивідуальному рівні, що показує наголос на застосуванні місцевого керування. Однак серед усіх розглянутих робіт лише п'ять робіт використовували опитування для визначення конкретних уподобань мешканців [19]. Велика частина запропонованих стратегій контролю (26 з 37) була реалізована в реальному житті, а решта використовувала моделювання для дослідження ефективності стратегій контролю.

Один аспект, який не до кінця вивчений у цих роботах, пов'язаний із застосуванням аналізу витрат і вигод. Лише в одному дослідженні використовувався аналіз витрат і вигод [20]. Враховуючи, що системи моніторингу можуть використовуватися для кількох цілей, таких як безпека, управління об'єктами, безпека та надзвичайні ситуації, аналіз витрат і вигод потрібен для

дослідження балансу між вартістю цих систем і вигодами від їх застосування в реальному світі.

### 1.3 Огляд відомих методів управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Той факт, що будівлі становлять значну частину світового споживання енергії, викликає потребу в детальному дослідженні для більш ефективної енергетичної ефективності будівель. Таким чином, моніторинг, оцінка та зниження споживання енергії будинками завжди були важливою проблемою для дослідників і практиків у сфері енергетичного менеджменту. Тому розумне використання енергії в будівлях є недавньою тенденцією досліджень і є метою систем управління енергією та комфортом будівлі (BESM) [18, 20]. Рисунок 1.6 показує розбивку енергоспоживаючих систем у комерційних/інституційних будівлях у Канаді. Оскільки на опалення-охолодження та освітлення приміщень припадає 71% загального споживання енергії, ці системи є головними цілями для оптимізації енергоспоживання, щоб мати більш реалістичну оцінку експлуатаційного споживання енергії будинками.

Багато досліджень досліджували найважливіші фактори, що впливають на споживання енергії будинками [19]. Фактори, що впливають на загальне енергоспоживання будівлі, можна розділити на сім категорій:

- 1) клімат (наприклад, температура зовнішнього повітря, сонячна радіація, швидкість вітру тощо);
- 2) характеристики будівлі (наприклад, тип, площа, орієнтація тощо);
- 3) характеристики користувача, за винятком соціальних та економічних факторів (наприклад, присутність користувача тощо);
- 4) системи та експлуатація будівельних послуг (наприклад, охолодження/опалення приміщень, гаряче водопостачання тощо);
- 5) поведінка та дії мешканців будівлі;

б) соціальні та економічні фактори (наприклад, ступінь освіти, вартість енергії тощо);

7) необхідна якість навколишнього середовища в приміщенні.

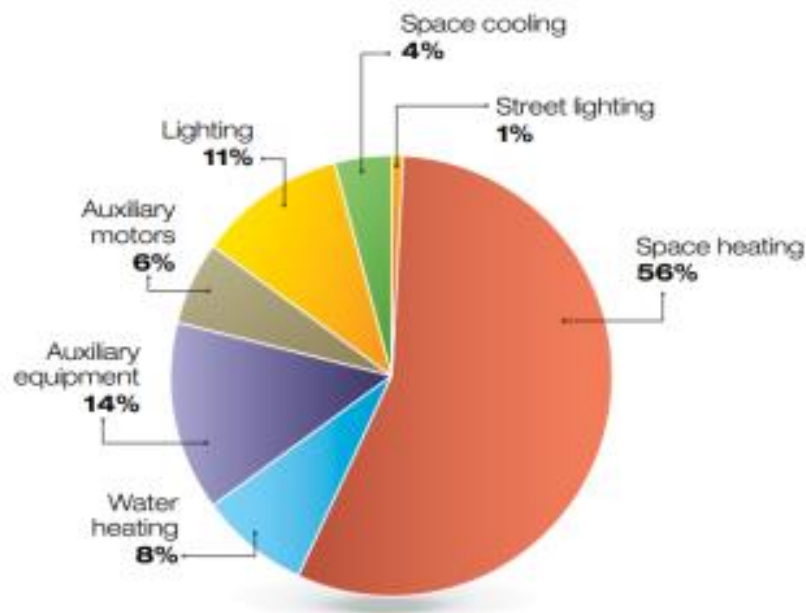


Рисунок 1.6 – Використання енергії в комерційних та інституційних будівлях (NRCAN, 2020) [18]

Серед цих факторів, дві останні категорії представляють вплив мешканців, які опосередковано впливають на споживання енергії будівлі, і їх вплив розглядається в рамках дослідження п'ятої категорії.

Взаємодія мешканців включає налаштування критеріїв теплового, акустичного та візуального комфорту в приміщенні, відкриття/закриття вікон, увімкнення/вимкнення або затемнення світла, увімкнення/вимкнення офісного обладнання та включення/вимкнення системи HVAC [21]. Таким чином, переваги та діяльність мешканців будинку можуть мати великий позитивний або негативний вплив на енергозбереження. Ці ефекти є рушійними факторами, які спричиняють великі розбіжності у споживанні енергії будинками навіть між подібними будівлями з однаковими характеристиками та розташованими в схожих місцях.

Існують в основному три основні сектори, які досліджуються дослідниками з точки зору енергоефективності, включаючи комерційний, житловий та інші

сектори [22]. Офіси становлять найбільшу частину комерційного сектору і є предметом цього дослідження, яке обмежується офісами в університетських будівлях. Основними енергоспоживаючими системами в офісах є системи HVAC та освітлення, які відповідають за 33% та 25% загального споживання енергії відповідно. Крім того, оскільки застосування систем виявлення заповнюваності та стратегій контролю на основі заселеності відрізняються залежно від природи будівлі (наприклад, житлові чи комерційні будівлі), у центрі уваги цієї дисертації є лише офісні будівлі, особливо офіси відкритого планування. У результаті неправильного використання пристроїв і систем будинків їх мешканцями багато будинків насправді витрачають більше енергії, ніж це необхідно [23]. Комп'ютери залишаються увімкненими, а режим енергозбереження вимикається цілий день, навіть коли мешканці залишають свої офіси, світло часто залишають увімкненим, щоб висвітлювати незайняті кімнати, або налаштовують на освітлення більше, ніж необхідно. Системи HVAC відхиляються від своїх ідеальних налаштувань для ефективної роботи, щоб задовольнити переваги мешканців, і встановлюються на основі пікової завантаженості, незалежно від фактичного використання приміщення. Таким чином, присутність та переваги мешканців мають важливий вплив на енергоспоживання будинків, що слід розглядати якомога точнішим при роботі з моделями енергоспоживання будівель [22, 23].

Цей розділ має на меті надати критичний огляд та дослідницьку дорожню карту управління енергією офісних будівель на основі моніторингу заповнюваності. Основними цілями цього розділу є:

- 1) перегляд різних методів моніторингу, які використовуються для збору даних про зайнятість;
- 2) визначення детальних аспектів моделювання заповнюваності;
- 3) інкапсулювання впливу різної інформації про зайнятість на застосування стратегій управління інтегрованими системами будівлі;
- 4) визнання прогалів у дослідженні в кожному вимірі та забезпечення зв'язку між цими вимірами та додавання до них структури;

5) пропозицію дорожньої карти щодо досягнень у різних вимірах BEMS, включаючи надійні методи моніторингу та збору даних, моделювання заселення та створення стратегій управління операційними системами в когнітивних будівлях.

#### 1.4 Постановка задачі

Для виконання поставленої мети слід звернути увагу на такі основні пункти:

1) розглянути відомі методи управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок»;

2) модернізувати програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок»;

3) модернізувати метод проектування протоколу для центрального контролера управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок»;

4) здійснити реалізацію програмно-апаратного засібу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок» згідно розроблених рішень.

#### 1.5 Висновок до першого розділу

У розділі подано вичерпний критичний огляд, який охоплює всі виміри енергоменеджменту офісних будівель. З моменту застосування системи виявлення заповненості та стратегії контролю на основі зайнятості відрізняються залежно від природи будівлі (наприклад, житлові та комерційні будівлі), у центрі уваги цієї глави було лише офісні будівлі, особливо офіси відкритого планування [12].

Додана цінність глави залежить від її комплексності і зв'язок між різними вимірами дослідження. Крім того, була представлена щодо досягнень у різних

вимірах. Запропонована дорожня карта надає на високому рівні уявлення про напрямки майбутніх досліджень щодо СВМ [18].

Інтегруючи всі компоненти у дорожній карті, бачення СВМ можна побачити, де системи будівель, їх мешканці та всі інші зацікавлені сторони отримують інтелектуальну підтримку від систем, що інкапсують датчик дані та стратегії контролю.

Переваги СВМ:

1. Інтеграція IoT з BIM і BEMS для зміни будівель від адаптивних і прогнозних до когнітивних та енергоефективних;
2. Моніторинг в режимі реального часу споживання енергії та поведінки мешканців для зменшення енергії споживання;
3. Інтеграція сенсорних мереж і хмарних технологій у вбудовану довкілля та їх майбутні застосування, такі як програми безпеки, аварійні ситуації та програми безпеки.

## 2 МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

### 2.1 Модель функціонування підсистеми HVAC

Тепловий комфорт мешканця – це «той стан психіки, який виражає його або її задоволеність тепловим середовищем» [15, 16]. Згідно з цим визначенням, комфорт — це як відчуття через шкіру, так і стан розуму через когнітивний процес. Тіло людини має два типи датчиків у шкірі та в мозку, які називаються шкірними датчиками та датчиками гіпоталамуса. Внутрішня температура тіла близько 37 °С. Шкірні датчики починають посилати імпульси в мозок, коли температура шкіри опускається нижче 34 °С. Датчики гіпоталамуса посилають сигнали, коли температура тіла перевищує 37 °С [17]. Людина знаходиться в тепловому нейтральному стані, коли величина цих двох сигналів однакова. Однією з двох умов задоволеності тепловими умовами є перебування в стані теплової нейтральності.

Людське тіло також перебуває в безперервному теплообміні з навколишнім середовищем. Тепло втрачається через випаровування (наприклад, потовиділення) і дихання. Існують теплообмін за допомогою конвекції і провідності між тілом, одягом і навколишнім середовищем, а через випромінювання — між тілом, одягом і поверхнями навколишнього середовища. З іншого боку, тіло людини виробляє тепло за допомогою метаболізму, перетворюючи енергію в тепло. Друга умова теплового комфорту виконується, коли швидкість обміну речовин знаходиться в рівновазі зі швидкістю втрати тепла організмом людини.

Було розроблено кілька індикаторів, які відображають умови теплового комфорту в певному середовищі. Найпопулярнішим є індекс прогнозованого середнього голосування (PMV-індекс). Формалізуємо суб'єктивне стаціонарне теплове відчуття групи людей у середовищі, в якому вони перебували протягом тривалого періоду часу. Відповідно до цієї моделі, параметри навколишнього середовища температура повітря в приміщенні (°С), швидкість повітря (м/с),

середня радіаційна температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), відносна вологість (%), а також особисті параметри швидкості метаболізму ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), ізоляція одягу ( $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ ), є основними змінними для прогнозування теплового комфорту мешканців [16,18]. Маючи ці чотири параметри середовища та два доступні особисті параметри, PMV можна розрахувати [16]. PMV знаходиться в діапазоні від -3 до +3, де -3 - дуже холодно, нуль - нейтральне теплове відчуття, а +3 - дуже тепло.

Для підтримки задовільних теплових умов у навколишньому середовищі різні стандарти рекомендують індекс PMV, рівний нулю, з діапазоном допусків  $\pm 0,5$  [16, 19]. Інший індекс, який називається прогнозованим відсотком незадоволених (PPD), також може бути отриманий з PMV. Значення PPD (%) передбачає відсоток людей, які не задоволені тепловими умовами внутрішнього середовища [16]:

$$\text{PPD} = 100 - 95 \cdot \exp [-(0.0335 \text{PMV}^4 + 0.218 \text{PMV}^2)] \quad (2.1)$$

Протягом останніх двадцяти п'яти років були проведені різні дослідження щодо визначення додаткових впливових параметрів на теплові відчуття мешканців. На основі цих досліджень такі параметри, як вік, стать, зовнішні погодні умови, соціальні розміри, економічний фон, історія теплових відчуттів, уявний контроль над навколишнім середовищем, психологічна та фізіологічна адаптація до навколишнього середовища, а також поведінкова адаптація, визначаються як параметри, які впливають на теплові відчуття мешканців [16, 20]. Дослідження різних наукових груп з адаптивного теплового комфорту привели до додавання нового стандарту адаптивного теплового комфорту, стандарту ANSI/ASHRAE 55-2016, до стандартів Американського товариства інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря (ASHRAE) [21]. ]

Останнім часом китайські вчені дуже активно проводили дослідження адаптивного теплового комфорту. На основі попередніх досліджень адаптивного теплового комфорту вони представили новий індекс адаптивного теплового комфорту, який називається adaptive-PMV або  $\alpha\text{PMV}$ , який є комбінацією моделей

PMV Фангера та персоналізації теплового відчуття. На основі їхньої теорії, адаптивний прогнозований середній голос ( $\alpha$ PMV) розраховується з:

$$\alpha\text{PMV} = \frac{\text{PMV}}{1 + \lambda\text{адаптивний} * \text{PMV}} \quad (2.2)$$

У якому  $\lambda$ адаптивний – адаптивний коефіцієнт;  $\lambda$ адаптивний складається з параметрів психологічної адаптації, фізіологічної адаптації та поведінкових пристосувань [20].

Вимоги IAQ до закритого приміщення задовольняються, коли повітря сприймається мешканцями як свіже та приємне, а дихання повітрям у приміщенні не має негативного впливу на їхнє здоров'я [22]. Забруднення повітря в приміщенні може мати несприятливий вплив на здоров'я та продуктивність мешканців. Протягом останніх десятиліть термін «синдром хворого будинку» (SBS) чути неодноразово. SBS означає загальне відчуття нездужання, яке відчувають пасажери в результаті поганого IAQ. SBS знижує рівень комфорту і може спричинити поганий загальний стан здоров'я [23].

Основними джерелами забруднення повітря всередині приміщень є діяльність людини, матеріали, які використовуються в будівлях, мікробіологічні організми, такі як цвіль і пил, а також забруднення зовні. Контроль джерела та вентиляція повітря є ефективними методами контролю рівня забруднень у приміщенні та покращення IAQ. Використовуючи вентиляційні системи, для мешканців можна постійно забезпечувати кондиційоване зовнішнє повітря замість вже забрудненого повітря. Швидкість надходження свіжого та відфільтрованого повітря вентиляційною системою визначається швидкістю зміни повітря в об'ємі та часі (л/с), або кількістю змін об'єму повітря в цьому просторі за одну годину [23].

За останні десятиліття мінімально необхідні норми вентиляції були різко змінені. Витрати на енергетичні ресурси, технології та вдосконалення способу життя, а також зміни в конструкції системи HVAC були основними причинами цих змін [24]. Відповідно до стандарту вентиляції ASHRAE 62.1 швидкість вентиляції

повинна бути не менше 7,5 л/с (15 куб. футів на хвилину) на людину [23]. Розмір житла – ще один фактор для проектування вентиляційної системи; приміщення з більшою площею вимагає більшої швидкості зміни повітря за годину.

До мешканців звертаються як до основного джерела забруднення всередині приміщень; отже, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) береться за основний показник для аналізу IAQ. CO<sub>2</sub> є природною складовою повітря, яким ми дихаємо (0,04% природного повітря). CO<sub>2</sub> також є побічним продуктом згоряння вуглекислого газу і утворюється під час дихання людини зі швидкістю 20 л/год [23]. Незважаючи на те, що в приміщенні може бути багато небезпечних забруднювачів, CO<sub>2</sub> є найбільш поширеними газоподібними забруднювачами для тестів та оцінок IAQ.

Через відсутність належного зв'язку між моделями заповнюваності (тобто моделями заповнюваності та вподобаннями) та BEMS, лише кілька досліджень могли досягти економії енергії на основі імовірнісної інформації мешканців [24]. Щоб подолати цю проблему, спробували забезпечити цей зв'язок за допомогою засобів моделювання. Вони розробили мережу на основі датчиків для моделювання та прогнозування діяльності мешканців та підключення їх до систем BEMS за допомогою інструментів моделювання. Застосувавши моделювання та підключивши моделі заповнюваності (напівмарківська модель) з керуванням системою HVAC (просте ввімкнення/вимкнення системи), вони отримали 30% економії енергії, підтримуючи відповідний рівень комфорту в приміщенні. Для їхнього методу потрібна велика мережа датчиків для точного виявлення активності людей, а отже, значних зусиль для кодування подій, а потім їх аналізу, щоб знайти фактичну модель зайнятості, а також тривалість шаблону [25]. Усі параметри визначаються емпірично на основі попередньо визначеного набору заходів, і жодна особлива або непередбачувана діяльність не може бути охоплена. Таким чином, його не можна використовувати ні для прогнозування заселення для керування системами будівлі, ні в інших будівлях і тематичних дослідженнях. Крім того, складність моделі збільшується з розміром контрольованих приміщень, таких як офіси відкритого планування з багатьма мешканцями та видами діяльності. Це

знижує практичність і практичність їхнього методу для моделювання «цілої будівлі».

У більшості досліджень для оцінки ефективності стратегій контролю використовувалося моделювання [26]. Щоб розглянути вплив періодів зниження температури на споживання енергії будівлі, розробили стратегію адаптивного керування, яка вивчає моделі та параметри заповнюваності, які описують процес теплопередачі, для динамічного регулювання графіків зниження температури.

Вони виявили, що системі управління потрібно менше двох тижнів, щоб адаптуватися до моделей заповнюваності та коливань температури. Реалізація стратегії керування в імітаційній моделі спільного офісного приміщення показала на 15-20% нижчі річні навантаження на охолодження та на 8-10% нижчі річні навантаження на опалення [27].

## 2.2 Модель вподобань та поведінок користувачів

Оптимізація — це процес пошуку найкращих розв'язків поставлених задач, тоді як «теорія оптимізації охоплює кількісне вивчення оптимумів і методів їх пошуку» [53]. У системах енергоменеджменту будівель мета оптимізації пов'язана принаймні з одним із цих критеріїв: енергоефективність, вплив на навколишнє середовище, комфорт або продуктивність мешканців. Мета оптимізації може бути у формі мінімізації або максимізації, наприклад мінімізації витрат енергії в задачі SOOP; або одночасно мінімізувати витрати на електроенергію та максимізувати продуктивність офісних працівників в офісній будівлі.

За даними Shaikh et al. [3], який до 2014 року вивчав оптимізовані системи керування енергією та комфортом у розумних стійких будівлях, майже 60% розглянутих систем керування базуються на підході SOOP. Причиною такої популярності є простота підходу SOOP та наявність єдиної точки утопії (точки, в якій досягається ціль задачі оптимізації). Використовуючи підхід SOOP у будівництві систем енергоменеджменту, умови комфорту мешканців є математично вторинними щодо витрат на споживання енергії, отже, умови

комфарту є обмеженнями для параметрів навколишнього середовища в приміщенні. Наприклад, розглянемо температуру приміщення як параметр навколишнього середовища в приміщенні; два значення заданої точки опалення та заданої точки охолодження ретельно вибираються розробником системи управління енергією та служать нижньою та верхньою межами внутрішньої температури для задачі оптимізації. Відповідно, температура в приміщенні ніколи не буде перевищувати ці два значення.

Використовуючи методи МООР для управління енергією та комфортом, дві цілі мінімізації витрат на електроенергію та максимізації комфорту мешканців можуть суперечити одна одній. Отже, єдине оптимальне рішення, яке оптимізує обидві ці цілі, не завжди доступне. Методи МООР розглядають компроміс між цими двома (або більше) цілями [2]. Завдання методів оптимізації — знайти найкращий набір компромісів між комфортом мешканців та споживанням енергії. У проблемах МООР комфорт пасажирів представлений принаймні одним із теплових, візуальних чи IAQ факторів.

Основну різницю між методами МООР можна знайти в тому, як і коли переваги розв'язувача задачі або розробника задачі оптимізації включаються в процес.

У методах з апіорною артикуляцією переваг відносна важливість двох цілей (тут оптимізація споживання енергії та комфорту мешканців) призначається вирішувачем задач перед запуском алгоритму оптимізації. На відміну від апіорних методів, у методах з апостеріорною артикуляцією переваг прийняття рішення здійснюється після виконання алгоритму оптимізації, шляхом вибору одного рішення з набору математично еквівалентних рішень [2].

Серед усіх методів з апіорною артикуляцією переваги найпопулярнішим є метод зваженої суми. Метод зважених сум також є найбільш використовуваним методом МООР для управління енергією та комфортом [3]. Метод зважених сум є різновидом класичних методів МООР. Загалом кажучи, як класичні методи вирішують проблеми МООР, це перетворення їх у ряд задач SOOP.

Це можна зробити шляхом агрегування цільових функцій разом із їх масштабуванням; або шляхом оптимізації однієї з цілей, розглядаючи інші як обмеження [2].

Метод динамічної зваженої суми, програмування цілей і метод  $\varepsilon$ -обмеження є іншими типами класичних методів. Метод динамічної зваженої суми подібний до методу зваженої суми, з тією різницею, що ваги можна поступово змінювати. У програмуванні цілей програма прагне знайти мінімальне відхилення від заздалегідь заданих цілей для кожної з цілей. Недоліком цього методу є необхідність мати достатньо інформації для попереднього визначення цілей. Метод  $\varepsilon$ -обмеження розроблено на основі оптимізації однієї цілі при трактуванні інших цілей як меж обмежень за деяким допустимим діапазоном  $\varepsilon$  [2].

Було проведено кілька досліджень у сфері управління енергією та комфортом, у яких використовувався метод зважених сум. У підході зваженої суми побудова цільової функції з умовами споживання енергії та комфорту мешканців є надзвичайно важливим. Янг та ін. [54] та Wang et al. [55] оптимізували споживання енергії та загальний комфорт, використовуючи метод зваженої суми для побудови цільової функції. Дай та ін. [56] представив людську продуктивність, з точки зору продуктивності мешканців, у MOOP споживання енергії та умов комфорту. Відносна продуктивність мешканців була виражена як функція їх теплових відчуттів (тепловий комфорт) та швидкості вентиляції (IAQ).

Використовуючи метод зваженої суми, виникає проблема, коли термін споживання енергії та член комфорту мешканців у цільовій функції нормалізуються, щоб їх розглядати аналогічно. Якщо термін споживання енергії та термін комфорту мешканців не виражені в одній одиниці, нормалізація впливає на результат. Наприклад, якщо термін комфорту мешканців виражається через відхилення від теплового задовільного діапазону (наприклад, індекс PMV), а термін споживання енергії виражається у вигляді витрат на електроенергію (\$), нормалізація необхідна. З іншого боку, якщо дві цілі виражені в одній одиниці, їх можна легко об'єднати (і порівняти) у цільовій функції. Райт та ін. [57] розробили систему HVAC, використовуючи метод зважених сум. Мінімізація

експлуатаційних витрат і капітальних витрат системи HVAC розглядається як дві цілі MOOP. Цілі можна легко комбінувати та порівнювати, оскільки операційні витрати та капітальні витрати можуть бути виражені як у грошовій одиниці.

Іншим недоліком методу зважених сум є його залежність від вибору вагових коефіцієнтів і той факт, що він веде лише до одного оптимального рішення, заснованого на вибраних вагових коефіцієнтах. Щоб уточнити це обмеження, розроблено концепцію оптимальності Парето та визначено набір Парето. Множина Парето може складатися з нескінченної кількості точок Парето або розв'язків без домінування, які є оптимальними точками, знайдених за допомогою різних вагових коефіцієнтів. Рішення належить до набору оптимальності за Парето, «якщо немає іншого рішення, яке може покращити хоча б одну з цілей, не погіршуючи будь-яку іншу мету» [58].

Багатоцільовий генетичний алгоритм, генетичний алгоритм Парето з нішами, еволюційний алгоритм Парето за силою та оптимізація багатоцільового рою частинок є одними з найпопулярніших типів підходів на основі Парето. Підходи, засновані на Парето, прагнуть знайти фронт Парето для проблем MOOP. Підходи на основі Парето дозволяють одночасно досліджувати різні точки на фронті Парето та генерувати кілька рішень за один запуск. Оптимізація може бути виконана без апріорної інформації про відносну важливість цілей. Brownlee та ін. [59] використовували GA в MOOP споживання енергії та комфорту для оптимального проектування системи HVAC.

Експлуатаційні витрати системи HVAC та максимальний тепловий дискомфорт для мешканців були обрані як цілі, які необхідно мінімізувати. Метод пошуку на основі GA виявив непереважні рішення для побудови оптимального набору рішень за Парето.

Янг та ін. [54] об'єднав метод зваженої суми та оптимізацію рою частинок (PSO) для оптимізації споживання енергії та комфорту в системі управління енергією на основі агентів із центральним контролером і низкою нечітких локальних контролерів. Wang та ін. [60] та Дуніс та ін. [61] також використовували алгоритм PSO для розробки IEMS з центральними координаторними контролерами

та локальними тепловими, візуальними та IAQ контролерами. Центральний контролер використовував техніку PSO, щоб розробити оптимальний за Парето набір рішень, які продемонстрували компроміс між споживанням енергії та загальним комфортом мешканців.

Модель PMV-PPD, створена Фангером [18], є звичайним уявленням теплового відчуття людини, яке досі дуже популярне в розрахунках теплових відчуттів. Однак ця модель має свою критику. Основною критикою цієї моделі є її універсальний підхід, який розглядає всіх мешканців у будь-якому місці, з будь-яким культурним та географічним походженням, однаковими. Розрахунок значень PMV та PPD з особистих параметрів та параметрів навколишнього середовища призведе до визначення мінімального та максимального порогових значень температури в приміщенні. Основною критикою використання індексу PMV-PPD для оцінки теплового комфорту є його недостатня гнучкість.

Фангер та ін. [15] виявили 1,2 °C стандартне відхилення в бажаній температурі різних мешканців у спільному середовищі та 0,6 °C стандартне відхилення в щоденних теплових відчуттях конкретного мешканця в певному середовищі. Протягом останніх двох десятиліть дослідження адаптивного теплового комфорту виявили додаткові впливові параметри на теплові відчуття мешканців [62-68].

Існують різні параметри, які впливають на теплові відчуття мешканців. Хамфріс та ін. [64] та de Dear et al. [62] виявили взаємозв'язок між адаптивним тепловим комфортом мешканців та зовнішньою температурою, враховуючи мешканців з різним культурним походженням, у різних зовнішніх погодних умовах. Серед інших параметрів, які оцінювалися в багатьох дослідженнях, є вік, стать, соціальний, культурний та економічний виміри [63, 66, 68].

Крім того, дослідження показали, що історія теплових відчуттів, сприйнятий контроль над навколишнім середовищем та взаємодія системи автоматизації людини впливають на відчуття теплового комфорту [20, 67]. Люди, які думають, що добре контролюють навколишнє середовище, або люди, які можуть легко взаємодіяти з автоматизованою системою керування, мають відносно більший

діапазон терпимості до змін умов навколишнього середовища в приміщенні. Відчутний контроль над середовищем у приміщенні, поряд з історією теплових відчуттів, впливають на когнітивну оцінку мозку та змінюють межі теплового дискомфорту [67].

Екологічна поведінка мешканців є ще одним фактором прийняття умов навколишнього середовища в приміщенні. Помічено, що люди з більш екологічною поведінкою більш пробачливо жертвують своїм негайним задоволенням [69, 70]. Пристосування одягу до теплішого чи холодного, розслаблення культурної чи соціальної норми одягу, вибір альтернативної фізичної активності та вживання напоїв є найпоширенішою адаптивною поведінкою мешканців, які захищають довкілля.

Було проведено кілька досліджень щодо опису проекологічної поведінки на основі відмінностей окремих людей, їхніх цінностей, ставлення та походження [71-73]. Карп та ін. [73] поділили людей на чотири класи: зелені активісти, добрі громадяни, здорові споживачі або традиційні споживачі енергії, на основі їхнього рівня відкритості до змін або збереження, а також рівня самовдосконалення чи самоперевищення. Стерн і співавтори [71, 74] представили модель екологічної турботи людей і надали численні параметри, які класифікуються на їхнє походження, переконання, ставлення, стать та рівень знань, щоб сформуванати загальну модель екологічної турботи.

Мешканці також мають адаптивну поведінку у відповідь на умови навколишнього середовища в приміщенні. Адаптація може бути психологічною, фізіологічною або шляхом коригування поведінки, наприклад, носіння більшої або меншої кількості одягу, коли відчуваєш себе незручно [62]. Психологічними та фізіологічними формами адаптації є самоадаптивна поведінка, тоді як поведінкова коригування може бути також у вигляді зміни умов середовища в приміщенні. Фізіологічна адаптація займає більше часу і виявляється в довгостроковій перспективі. Психологічна адаптація – це, як правило, зміна очікувань мешканців теплового комфорту [62, 68, 75].

Моделювання поведінки мешканців у будівлях поділяється на стохастичний та когнітивний підходи. У стохастичному моделюванні перевага і поведінки мешканців їх ймовірності задоволення або ймовірності здійснення дій, пов'язаних з енергією, виражаються як функція параметрів навколишнього середовища в приміщенні з використанням статистичного регресійного аналізу. Ніколь та ін. [76] досліджували адаптивну поведінку мешканців у різних географічних місцях та сформулювали імовірнісні моделі їхнього теплового сприйняття на основі температури в приміщенні та на вулиці. Ріал та ін. [77], Халді та ін. [78] та Gunay et al. [79] використовували методи логістичної регресії для прогнозування теплових і візуальних комфортних умов мешканців і розробили імовірнісні моделі для характеристики їхньої поведінки, наприклад використання вікон, жалюзі та вентилятора, на основі параметрів зовнішнього та внутрішнього середовища.

Даум та ін. [80] запропонували методику використання зворотного зв'язку мешканців щодо теплових умов внутрішнього середовища, щоб вказати його чи її ймовірність комфорту в широкому діапазоні внутрішніх температур.

Когнітивні підходи до моделювання поведінки людини розглядають відчуття, сприйняття та пізнання людини. Для того, щоб моделювати енергетичні рішення з використанням когнітивних підходів, будується зв'язок між їхніми вимогами комфорту та їхніми діями. До цього часу найпопулярнішими когнітивними теоріями для пояснення енергетичної поведінки мешканців є Теорія планованої поведінки та Теорія цінностей-вір-норм.

Теорія планованої поведінки розглядає поведінку як наслідок аналізу витрат і вигод різних факторів. Такими факторами є суб'єктивна норма (соціальний вплив), уявний поведінковий контроль (легкість або складність поведінки) і ставлення до поведінки (витрати, прибуток і зусилля) [81]. Теорія планованої поведінки ґрунтується виключно на раціональному процесі прийняття рішень. Ендрюс та ін. [82] використовували теорію запланованої поведінки в рамках багатоагентного моделювання, щоб описати поведінку мешканців, пов'язану з енергією, на основі їхніх переконань, бажань та намірів. Лі та ін. [83] та Kashif et al. [84] розробили когнітивні методи, засновані на агентах, під впливом теорії

планованої поведінки, щоб моделювати поведінку мешканців, пов'язану з енергією.

Порівняно з теорією планованої поведінки, теорія цінностей-вір-норм має більше можливостей для опису альтруїстичної поведінки мешканців, наприклад, їхню поведінку, що підтримує навколишнє середовище. Самовдосконалення, самоперевершення, відкритість до змін, збереження мешканців, їх рівень усвідомлення наслідків своєї поведінки, приписування відповідальності та особистісних норм є основними факторами, включеними в теорію цінності-віри-норми [72].

Відповідно до визначення теплового комфорту, наданого Фангером, комфорт — це як відчуття через шкіру, так і стан розуму через когнітивний процес [18]. Декілька вчених у галузі поведінкової економіки, психології та нейронауки констатували міцний зв'язок між емоціями та когнітивним процесом, а також значний вплив афективних процесів (емоцій, настрою та почуттів) на процес прийняття рішень [85-87]. На енергетичні рішення мешканця також можуть впливати афективні процеси, а також його чи її переконання, цінності та уподобання [88]. Щоб розглянути вплив афективних процесів на енергетичну поведінку мешканців, першим кроком є побудова моделі, яка поєднує афективні процеси з іншими впливовими параметрами.

Аналіз поведінки зайнятості (обробка даних), який складається з трьох фаз, проводиться з метою виявлення важливих особливостей зайнятості, таких як кількість присутніх мешканців, періоди відсутності та присутності та інші випадкові зміни в профілях мешканців [28]. На рисунках 2.1-2.3 зображений псевдокод, що показує, як зібрані дані перетворюються на інформацію про місце зайнятості та тривалість присутності для обчислення зони заповнення та норми відповідно.

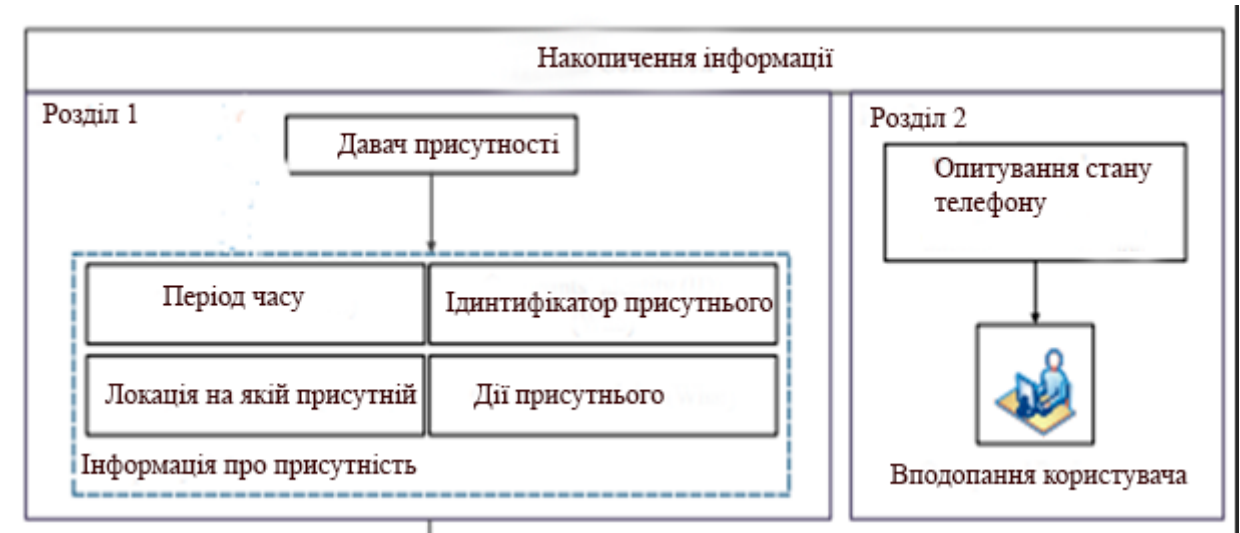


Рисунок 2.1 – Компоненти модуля заповнюваності



Рисунок 2.2 – Компоненти модуля заповнюваності

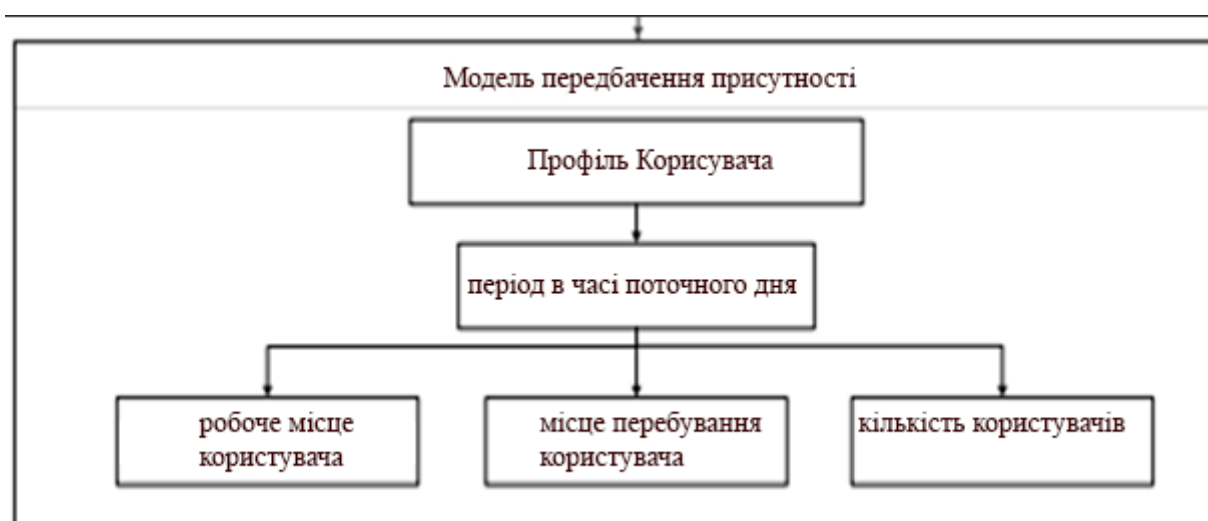


Рисунок 2.3 – Компоненти модуля заповнюваності

Використовуючи інформацію з першого етапу, кількість присутніх мешканців і, врешті-решт, рівень заповнюваності кабінету [29].

Наприклад, стратегії місцевого управління системою HVAC вимагають більш тривалих часових кроків, знаючи, що системі потрібен час для регулювання зони температури [30].

### 2.3 Модель процесу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Зі стрімким розвитком цифрових електронних, мікропроцесорних та бездротових комунікаційних технологій почали виготовляти кращі, менші та дешевші датчики. Бездротові сенсорні мережі широко використовуються для збору даних про навколишнє середовище в приміщеннях в будівлях. Процес даних надає інформацію, а знання є продуктом аналізу інформації, що призводить до розумної поведінки або дії: Дані; Інформація; знання; розумна поведінка.

Методи штучного інтелекту (ШІ) — це комбінація математики та технологій, що допомагає будівлі вести себе розумно. Застосування методів штучного інтелекту в системах управління будівлею почалося з 1990-х років. У будівництві енергетичного менеджменту ШІ з раціональною концентрацією мислення дає змогу системам управління енергією приймати рішення та діяти як люди [7].

Інтелект також можна додати до обробки даних, щоб генерувати інформацію або створювати базу даних знань для системи. Найпростіший тип прийняття рішень ШІ здійснюють системи, засновані на знаннях. Система, заснована на знаннях, отримує факти (інформацію з середовища) і містить лінгвістичні правила, які безперервно генеруються її виробничою пам'яттю. Doukas та ін. [38] використовували системи, засновані на знаннях, в управлінні енергією будівлі, щоб забезпечити комфортні умови для мешканців та мінімізувати споживання енергії. Було надано дві різні експертні системи, засновані на правилах. Одна експертна система містила правила мінімізації споживання енергії, а інша – правила комфортних умов для пасажирів. На основі цих двох наборів правил були прийняті

рішення з енергоменеджменту. Доведено, що система, заснована на знаннях, знижує витрати на енергію на 10%. Однак системи, засновані на знаннях, недостатньо динамічні, щоб враховувати сучасні переваги мешканців щодо внутрішнього середовища.

Потреба одночасно оптимізувати споживання енергії та комфортні умови для мешканців відповідно до уподобань мешканців спонукала дослідників до впровадження технологій обчислювального інтелекту (CI). Технології CI, включаючи такі методи, як Fuzzy Logic, Artificial Neural Network та Generic Algorithm, використовуються в різних підсистемах будівель для підвищення продуктивності IEMS. Ці інтелектуальні методи є альтернативою методам обчислювальної оптимізації (наприклад, використаному в цьому дослідженні) для інтелектуального управління енергією та комфортом у будівлях. Отже, коротко описано їх застосування в системах енергоменеджменту.

Нечітка логіка — це форма багатозначної логіки, яка робить наближені міркування, а не точні міркування. Приблизне міркування здійснюється шляхом присвоєння значення від 0 до 1, замість істини чи хибності (нуль чи одиниця), як ступінь істинності змінній [39, 40]. Популярність методів нечіткої логіки в IEMS в основному пояснюється їх здатністю моделювати нелінійні процеси, такі як енергетичні характеристики будівлі, а також складні стратегії управління енергією будівлі. Основні застосування нечіткої логіки в системі управління енергією та комфортом будівлі: (1) по відношенню до теплового та візуального комфорту мешканців, а також IAQ для опису ступеня комфорту; і (2) для проектування систем енергетичного менеджменту на основі знань, заснованих на нечітких лінгвістичних правилах. Ефтехарі та ін. [41] розробив нечіткий контролер IAQ на основі правил для приміщення з природною вентиляцією. Guillemín та ін. [42] представили систему, яка автоматизувала роботу штор, освітлення та систем опалення, щоб забезпечити візуальний та тепловий комфорт мешканців. Дуніс та ін. [43] створив набір з 23 правил для контролю теплових умов внутрішнього середовища. Робота допоміжної системи опалення та охолодження, затінювальних пристроїв, штучного освітлення, віконного прорізу регулювалася за виходами правил нечіткої логіки.

Розвиток технології нейронних мереж та еволюційних алгоритмів, таких як генетичний алгоритм (GA), допомогли дослідникам додати можливості навчання до створення систем управління енергією та комфортом. Штучна нейронна мережа (ШНМ) — це обчислювальна система, що складається з ряду простих, тісно взаємопов'язаних елементів обробки, які обробляють інформацію за допомогою динамічних реакцій стану на зовнішні вхідні дані [44]. ШНМ складається з вхідного шару, ряду прихованих шарів і вихідного шару. Шари складаються з вузлів з функціями активації. Вузли з'єднуються між собою зваженими зв'язками. Навчання здійснюється шляхом зміни ваг зв'язків відповідно до шаблонів введення.

Модель теплового комфорту PMV є нелінійною і має складні розрахунки. ANN можна використовувати для апроксимації моделі теплового комфорту. Лю та ін. [45] надано структуру ШНМ з вхідним шаром, що складається з чотирьох параметрів середовища та особистих параметрів та одного прихованого шару з п'ятьма параметрами. Один вихідний шар із єдиним параметром був створений для прогнозування теплового відчуття кожної людини. Нейронні мережі можна застосовувати в системах HVAC для регулювання теплового комфорту мешканців. Ліанг та ін. [46] розробив прямий контролер ШНМ для системи HVAC, заснований на розрахунку PMV.

У деяких стратегіях інтелектуального керування необхідна настройка. Наприклад, контролери з нечіткою логікою вимагають налаштування, щоб знайти оптимальні функції належності або коефіцієнти масштабування, які пов'язують вхідні та вихідні дані системи керування. GA виконує настройку або оптимізацію контролерів нечіткої логіки. GA це тип стохастичних методів пошуку, натхненний теорією еволюції Дарвіна. У GA рішення проблеми розвивається в процесі. Алгоритм починається з початкової сукупності, і рішення кожної сукупності використовуються для створення нової сукупності. Це досягається шляхом збереження частини рішень з кращою придатністю та видалення решти з надією, що вціліла популяція має більший шанс відтворити кращі рішення. Процедура продовжується до тих пір, поки не будуть задоволені деякі умови (наприклад, обмеження чисельності населення) [33].

Nassif et al. [47] використовували GA для оптимізації заданих точок температури щодо індексу PMV таким чином, щоб теплові умови завжди підтримувалися задовільними. Колокоца та ін. [48] розробив нечіткий контролер з оптимізацією GA. Функція приналежності нечіткого контролера була змінена та оптимізована технікою GA відповідно до уподобань користувача. Алкала та ін. [49] налаштували та оптимізували контролери нечіткої логіки, які керували системами HVAC будівлі, з урахуванням споживання енергії та комфорту мешканців. Завдяки підтримці комфортних умов для пасажирів на задовільному рівні та повторенні процесу GA було досягнуто подальше зниження споживання енергії (на 16% порівняно з неоптимізованим контролем).

Передбачається квартира загальною площею 70 м<sup>2</sup>, та розроблена спрощена теплова модель RC-мережі [31]. Вибір моделі квартири та RC-мережі відповідає цілям цього дослідження. Як варіант, запропоновані методи можна застосовувати до інших будівель, розробляючи їх теплові моделі. Для моделювання енергетичних показників будівлі використовуються типові метеорологічні дані погоди в місті. У Хмельницькому тепле і вологе літо та холодна зима [32]. Приміщення має п'ять зон: північ, схід, центральну, південь та захід. У всіх зонах, за винятком центральної зони, стіна, що приєднується до зовнішньої частини, має співвідношення вікон-стін 0,4. Висота стель у всіх зонах дорівнює 2.7 метрам. У кожній зоні може бути до 4 користувачів. На рис. 4 показаний план приміщення та теплова модель.

Кожен вузол представляє область зі схожими параметрами навколишнього середовища (наприклад, температуру, освітлення та швидкість руху повітря), таку як окрема зона або один із шарів стін. Тепло передається між вузлами за допомогою конвекції, провідності або випромінювання [33]. Опори виражають провідність і конвекцію з однієї зони в іншу або ззовні через стіну, тоді як ємності представляють накопичувач тепла. Для кожної зони виходить певний набір рівнянь енергетичного балансу з різних типів процесів обміну енергією, включаючи сонячний виграш через вікна, внутрішній виграш тепла від мешканців, систем та обладнання,

інфільтрація, теплообмін між зонами, ефект зберігання тепла зовнішніх стін, вплив положення жалюзі на провідний теплообмін вікон, штучне освітлення та обігрів системи охолодження [34]. Для кожної зони офісу регулююче рівняння, що представляє енергетичний баланс, має форму(2.1):

$$\rho V_i c_p * \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^n h_{c\ i-j} A_{sj} (T_{sj} - T_i) + \sum_{k=1}^m m_{i-k} c_p (T_k - T_i) + q_{in}, \quad (2.3)$$

Де термін  $\rho V_i c_p$  означає теплоємність рідини (повітря) в середині зони на які розділене приміщення;

$\rho$  - щільність повітря (кг / м3);

$V_i$  - об'єм зони(кімнати)(м3);

$c_p$  - питома теплоємність повітря(Дж / кг.К);

$T_i$  – температура повітря в кімнаті(К).

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{(T_i^{t+\Delta t} - T_i^t)}{\Delta t} - \text{схема прямої різниці застосовується до часткової похідної,}$$

протягом деякого скінченного інтервалу часу (години), при моделюванні погодинної енергетичної ефективності будівлі [35].

$T_i^{t+\Delta t}$  – внутрішня температура зони, розрахована протягом цієї години,  $\Delta t$  дорівнює одній годині, а  $T_i^t$  – внутрішня температура цієї зони, розрахована за попередню годину.

Термін  $h_{c\ i-j} A_{sj} (T_{sj} - T_i)$  у керуючому рівнянні виражає конвективну швидкість теплообміну (W) між зоною (i) та оточені поверхні (j).

$T_{sj}$  – температура поверхні,

$A_{sj}$  – площа контакту зони з поверхнею (м2),

$h_{c\ i-j}$  – коефіцієнт тепловіддачі (Вт / м2.К).

Тут поверхні  $h_{c\ i-j}$  замінюються величинами  $U$  (теплопроникність, включаючи коефіцієнти внутрішньої та зовнішньої плівки, Вт / м2. К), зазначені в таблиці 2.1.

Термін  $\sum_{k=1}^m m_{i-k} c_p (T_k - T_i)$  описує швидкість обміну енергією (Вт) завдяки потоку рідини між зоною та іншими зонами, або між зоною та зовнішнім простором [36].

$m_{i-k}$  – це масовий витрата, що регулюється тиском / температурою (кг / с) між двома обсягами,

$c_p$  – питома теплота повітря, що передається з іншої зони або ззовні,

$T_k$  – одна з інших температура зони або зовнішня температура.

$q_{in}$  – тепло, яке виробляється мешканцями та побутовими приладами, штучним освітленням або системами опалення / охолодження у кліматичній зоні приміщення. Між змінними можуть існувати конкретні взаємозв'язки, які формують нелінійні обмеження задачі оптимізації, і їх слід дотримуватися при вирішенні проблеми [37]. У цій моделі існують нелінійні обмеження, засновані на ефекті теплового накопичення зовнішніх стін, а також впливі положення штори на провідну тепловіддачу вікон. Передбачається, що змодельований офіс знаходиться на середньому поверсі багатоповерхівки. Відповідно, всі стелі та підлоги є адіабатичними. Значення параметрів, що використовуються в тепловій моделі, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри будівлі

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Охолоджувач COP	3.5	Питома теплота зовнішньої стіни (кДж/кг .К)	42
Ефективність електричного обігрівача(н)	1	Коефіцієнт конвекції зовнішньої поверхні зовнішньої стіни (Вт/м2.К)	34
Коефіцієнт УФ для вікна з відкритими шторами (Вт/м2.К)	2.3	Коефіцієнт тепла конвекції зовнішньої стіни внутрішньої поверхні (Вт/м2.К)	8.5

Коефіцієнт УФ для вікна з закритими шторами (Вт/м <sup>2</sup> .К)	1.4	Коефіцієнт УФ для внутрішніх стін (Вт/м <sup>2</sup> .К)	1.5
Ефективність люмінесцентних ламп (люмен/Вт)	70	Споживання енергії вентилятором (Вт на м <sup>3</sup> /с повітря)	1750
Значення УФ для зовнішньої стіни (Вт/м <sup>2</sup> .К)	0.4	Максимальна потужність лампи (Вт/м <sup>2</sup> )	15

#### 2.4 Висновок до другого розділу

Загальна ідея цього дослідження полягає в тому, щоб запропонувати методи персоналізованого управління енергією та комфортом в офісних будівлях. Основною метою запропонованих методів є забезпечення комфортних умов для мешканців з одночасною оптимізацією витрат на енергоспоживання шляхом автоматизованого контролю внутрішнього середовища. Описані різні аспекти комфорту мешканців у закритих приміщеннях. Контролюючи параметри навколишнього середовища в приміщенні, система управління енергією може забезпечити тепловий і візуальний комфорт мешканців, а також задовільний IAQ. Розглядаючи стратегії контролю комфорту в будівлях, обговорювалося, що звичайні системи керування не є оптимальними рішеннями для одночасного забезпечення комфорту мешканців та зниження споживання енергії будівлі. Зі швидким розвитком цифрової електроніки, мікропроцесорів, бездротових комунікаційних технологій та впровадженням обчислювальних методів інтелекту дослідники перейшли до інтелектуального управління енергією та комфортом у будівлях.

Метод MOOP, як метод обчислювальної оптимізації, може бути використаний для інтелектуального управління енергією та комфортом у будівлях. Основну різницю між методами MOOP можна знайти в тому, як і коли переваги

розв'язувача задачі або розробника задачі оптимізації включаються в процес. У методах з апіорною артикуляцією переваг відносна важливість двох цілей призначається розв'язувачем перед запуском алгоритму оптимізації. Навпаки, у методах з апостеріорною артикуляцією переваг рішення приймається після виконання алгоритму оптимізації шляхом генерування оптимальних рішень за Парето. Серед усіх методів з апіорною артикуляцією переваги найпопулярнішим є метод зваженої суми.

Використовуючи методи МООР, такі як метод зваженої суми, для управління енергією та комфортом, виникає проблема, коли термін споживання енергії та комфорт мешканців у цільовій функції нормалізуються для того, щоб розглядатися подібним чином. Розглядаючи дослідження, в яких використовувалися методи МООР для управління енергією та комфортом у будівлях, було помічено, що коли термін споживання енергії та умови комфорту для мешканців не виражені в одній одиниці, процедура нормалізації впливає на результат оптимізації.

Тут, щоб усунути залежність результату оптимізації від процедури нормалізації, продуктивність кожного мешканця вводиться як змінна всередині формулювання проблеми МООР. Умови комфорту впливають на виконання певних завдань мешканців, які впливають на їх загальну продуктивність (Розділ 2.2). Вплив теплового комфорту та ІАQ на працездатність пасажирів оцінювався в багатьох дослідженнях. Виражаючи умови комфорту мешканців їх рівнем продуктивності, витрати на споживання енергії та умови комфорту пасажирів можна виразити в грошовій одиниці. Таким чином, порівняння між цими двома цілями можливе без додаткової нормалізації.

Крім того, на основі взаємозв'язку між умовами комфорту мешканців та їхньою продуктивністю розроблено процедуру персонального прийняття рішень щодо управління енергією та комфортом. У рамках цієї процедури поєднуються позитивні риси методів з апіорною та апостеріорною артикуляцією переваг. Використовується метод зваженої суми, а набір оптимальних рішень за Парето генерується з кожного процесу прийняття рішення (кожної години моделювання). Остаточне оптимальне рішення для автоматизованого контролю внутрішнього

середовища можна вибрати, вивчаючи впливові фактори, такі як ціни на енергію, дані про заповнюваність, продуктивність мешканців, теплові та візуальні переваги та адаптивну поведінку.

Порівняно з розглянутими дослідженнями з управління енергією та комфортом, тут положення мешканців також враховуються для оцінки теплового та візуального комфорту (Розділ 3.4). У запропонованому методі, заснованому на позиції, вважається, що сприйняття мешканцями умов навколишнього середовища в приміщенні, зокрема їх теплові та зорові відчуття, залежать від їхнього положення всередині закритих приміщень. Отже, їх тепловий комфорт і візуальний комфорт, а отже, і їх відносна продуктивність щодо теплових і візуальних умов у приміщенні, залежать від їхнього положення.

Підходи до моделювання енергетичної поведінки мешканців у будівлях поділяються на стохастичний та когнітивний. У стохастичному моделюванні енергетичної поведінки мешканців за допомогою статистичного регресійного аналізу їх імовірності здійснення дій, пов'язаних з енергією, виражаються як функції параметрів навколишнього середовища в приміщенні. Тим часом у когнітивних підходах до моделювання поведінки людини вибудовується зв'язок між їхніми вимогами до комфорту та їхніми енергетичними діями. У порівнянні з попередніми дослідженнями моделювання поведінки мешканців для управління енергією та комфортом, тут моделювання поведінки мешканців розширено до МООР витрат енергії та комфорту. Поведінка мешканців, пов'язана з енергією, моделюється, пропонуючи метод, натхненний галузями поведінкової економіки та нейронауки. Метод розглядає адаптивну поведінку мешканців шляхом обчислювального моделювання їхнього процесу прийняття рішень, пов'язаного з енергією. У розглянутих дослідженнях щодо моделювання поведінки мешканців, пов'язаної з енергією, мешканці розглядаються як раціональні особи, які приймають рішення (наприклад, у теорії планованої поведінки або в теорії норм цінностей). Декілька вчених у галузі поведінкової економіки, психології та нейронауки заявили про міцний зв'язок між емоціями та когнітивним процесом, а також про значний вплив афективних процесів (емоцій, настрою та почуттів) на

процес прийняття рішень (Розділ 2.5). Теорія перспектив, використана тут для моделювання процесу прийняття рішень мешканцями, здатна врахувати як раціональні, так і ірраціональні аспекти прийняття рішень. Відповідно, запропонований ситуаційний метод може розглядати як раціональні, так і ірраціональні аспекти поведінки людини.

Виправляючи поточні прогалини у дослідженні щодо ефективного та інтелектуального управління енергією будівель, у цій главі було обговорено огляд запропонованих рамок [38].

Методологія, що складається з декількох модулів і фаз, охоплює розробку нової адаптивної імовірнісної моделі заповнення. Це робиться за допомогою техніки прогнозування [39].

Більше того, динамічні профілі заповнення, отримані на основі даних RTLS, надходять до імітаційної моделі оптимізації для оцінки впливу різних інтелектуальних та орієнтованих на зайнятість місцевих стратегій управління на енергоємні системи будівлі та задоволення мешканців [40].

### **3 МЕТОД УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»**

#### **3.1 Основи методу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»**

Для досягнення цілей мінімізації споживання енергії в будівлі, а також годин дискомфорту мешканців, слід розробити та вкласти в алгоритм оптимізації детальну модель імітації енергії будинку [41].

Оскільки функціонування будівельних систем сильно залежить від присутності мешканців, інтегрована модель повинна вибирати найбільш оптимізовані параметри будівельних систем на основі інформації про динамічну зайнятість простору.

Застосовуючи місцевий контроль будівельних систем, змодельований простір слід розділити на декілька зон для призначення відповідної динамічної інформації про зайнятість кожної зони [42]. Зонування застосовується для врахування ефекту:

1. Різних видів діяльності, що виконуються в кожній зоні.
2. Різну кількість терміналів HVAC, як це буде розглянуто в наступному розділі.
3. Різна орієнтація фасаду для периметру зон.

Для більш детального управління системами опалення та вентиляції та кондиціонування приміщення можна розділити на різні зони відповідно до кількості терміналів HVAC або кількості світильників [43].

Знаючи місцезнаходження конкретного мешканця, відповідний термінал HVAC та відповідне світло регулюються за допомогою місцевих стратегій управління.

У цьому дослідженні запропонована методологія включає два основні модулі [44]: багатоцільовий модуль оптимізації на основі моделювання та модуль заповнення, як показано на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Стратегія місцевого контролю з моніторингом присутності

По-перше, інформація про заповнення простору отримується через модуль заповнення. Для цього дані реальної заселеності слід збирати протягом певного періоду, використовуючи RTLS в модулі заповнення [45].

Потім зібрані дані обробляються, а отримана інформація імпортується до імітаційної моделі як вказівка на реальні моделі використання займаної площі. Ця інформація допомагає моделі краще диференціювати мешканців у спостережуваному спільному просторі.

Ці значення обчислюються на основі цільових функцій задачі. Результатом роботи цього модуля є файл, що містить інформацію, що стосується локального управління будівельними системами [46].

Існує багато факторів, які визначають точність моделі заселення, включаючи особи мешканців, тривалість перебування мешканців, їх розташування в різних зонах будівлі та їхні переваги. Нові RTLS можуть надавати місцезнаходження та тривалість присутності, а дані про переваги можна зібрати за допомогою простого опитування [47]. Модуль заповнюваності використовується для визначення конкретних динамічних профілів мешканців на основі даних про їх присутність, як показано на рисунках 3.2 – 3.4.



Рисунок 3.2 – Запропоновані основні модулі фреймворку

Основні переваги наявності динамічних профілів заповнюваності [48], які розкривають інформацію мешканців щодо його/її місцезнаходження та моделі використання простору, є:

1. На відміну від моделей, які покладаються на усереднення поведінки або розкладу різних мешканців, динамічні профілі заповнюваності можуть охопити різноманітність поведінки різних мешканців, що є дуже важливим фактором в офісах відкритого планування.

2. Моніторинг у режимі реального часу та прийняття рішень є найближчими способами наслідування реальної поведінки мешканців та їх взаємодії з енергоспоживаючими системами будівлі [49]. Динамічні профілі заповнюваності дозволяють розрізняти графіки та звички різних мешканців.

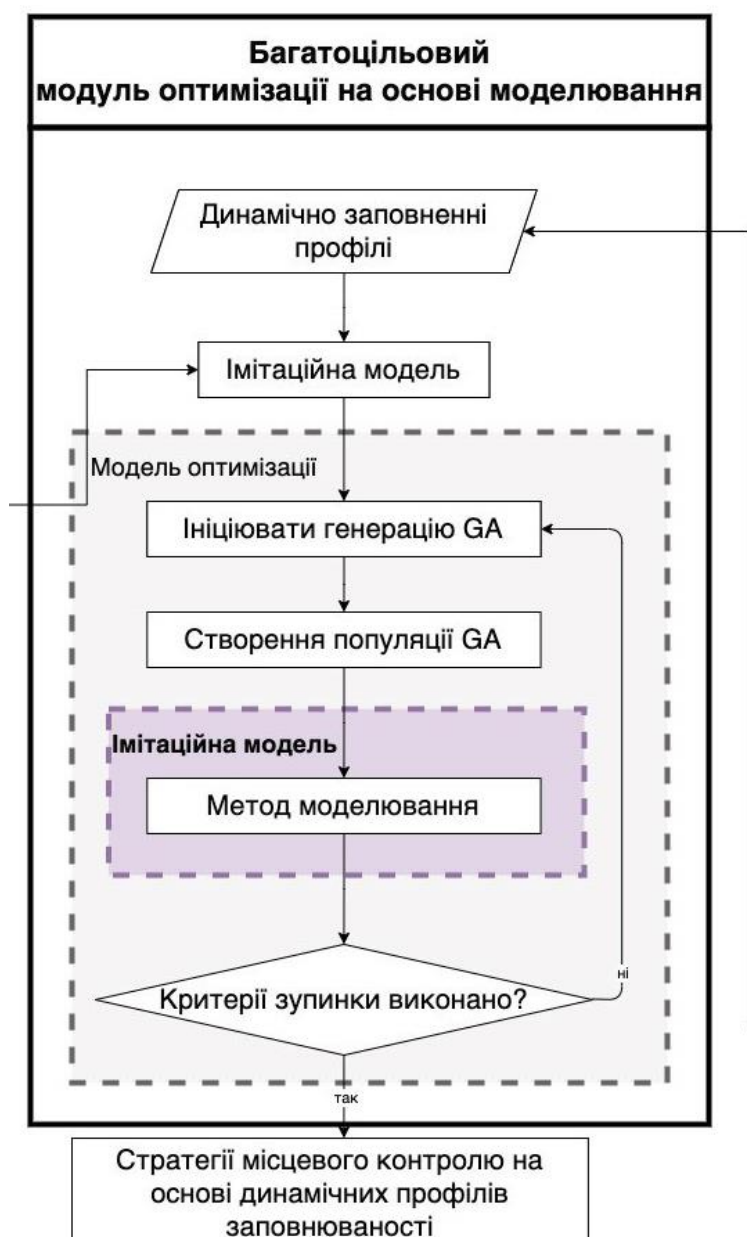


Рисунок 3.3 – Запропоновані основні модулі фреймворку

Ці профілі можна використовувати для ефективного застосування персоналізованих уподобань мешканців.



Рисунок 3.4 – Запропоновані основні модулі фреймворку

### 3.2 Експериментальні дослідження методу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

У кожній зоні щогодини автоматично контролюються чотири екологічних параметри штучного освітлення, природного освітлення, температури в приміщенні та швидкості вентиляції [50]. Кожна зона обладнана системою змінного обсягу повітря (VAV), яка забезпечує обігрів, охолодження та вентиляцію

повітря. Протягом незайнятих годин енергоменеджмент та інтегрований контроль зон базуються на SOOP витрат енергії [51]. Цільова функція методу SOOP складається лише з терміну енергетичних витрат. Для кожної зони загальне споживання енергії ( $E_{\text{загальне}}$ ) за годину - це сума енергоспоживання штучного освітлення, охолоджувача, котла та вентилятора(3.1):

$$E_{\text{загальне}} = E_{\text{освітлення}} + E_{\text{кондиціонування}} + E_{\text{опалення}} + E_{\text{вентиляції}}. \quad (3.1)$$

Термін енерговитрат у цільовій функції методу SOOP є продуктом ціни на електроенергію або газ та пов'язаного з цим погодинного споживання енергії. Фіксовані тарифи  $1,68 \text{ грн/кВт.год}$  та  $6.99 \text{ грн за м}^3$  приймаються як ціни на електроенергію та газ в Україні [52]. Для кожної години моделювання термін витрат енергії в цільовій функції має вигляд(3.2):

$$\text{вартість енергії} = \left[ \text{ElecPrice} \cdot \sum_{z=1}^5 E_z^{\text{electricity}} + \text{GasPrice} \cdot \sum_{z=1}^5 E_z^{\text{gas}} \right], \quad (3.2)$$

$E$  – це споживання електронної енергії у кВт-год;  $z$ - номер зони(кімнати);  
 $\text{ElecPrice}$ ,  $\text{GasPrice}$  - це ціни на електроенергію та природний газ.

Є багато факторів, що визначають точність моделі використання приміщення, включаючи особу мешканців, тривалість перебування мешканців, їх розташування в різних зонах будівлі, та їх уподобання [53].

Нові RTLS можуть надавати місце та тривалість присутності, тоді як дані про переваги можна збирати за допомогою простого опитування.

Модуль заповнення використовується для визначення динамічних профілів, що стосуються мешканців [54].

Основними перевагами є:

1) динамічні профілі зайнятості можуть охопити різноманітність поведінки різних мешканців, що є дуже важливим фактором у офісах відкритого планування;

2) моніторинг у реальному часі та прийняття рішень, що виникають в результаті, є найближчими способами наслідування реальної поведінки мешканців та їх взаємодії з енергоємними системами будівлі.

Ці профілі можна використовувати для ефективного застосування персоналізованих уподобань мешканців [55].

Порівнюється функціонування запропонованого методу MOOP (Proposed Case) та методу SOOP (Base Case) [56] щодо теплового комфорту мешканців.

Порівнюються температури в приміщенні одногодних симуляцій у січні та липні, вибрані за запропонованим і базовим випадком (рис. 3.5).

Оптимальні рішення за Парето генеруються шляхом зміни коефіцієнта продуктивності (\$/год) [57].

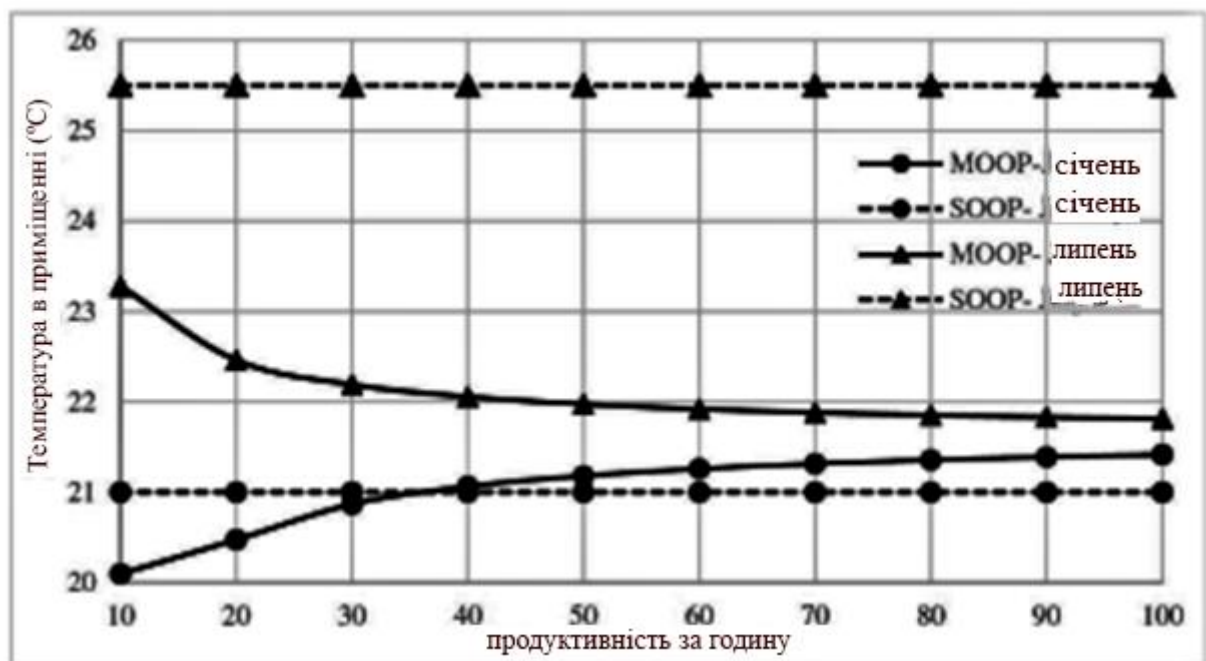


Рисунок 3.5 – Температури в приміщенні (°C), вибрані за пропонуванним випадком і базовим варіантом у східній зоні

Метод SOOP вибирає лише значення уставки опалення ( $21^{\circ}\text{C}$ ) і заданої точки охолодження ( $25,5^{\circ}\text{C}$ ), незалежно від рівня продуктивності погодинної роботи (рисунок 3.5).

На відміну від цього, метод MOOP [58] (запропонований випадок) вибирає різні температури в приміщенні з зміною продуктивності за годину ( $\$/\text{год}$ ).

Крім того, запропонований метод MOOP приділяє відносно більше уваги комфорту мешканців, коли їх кількість більше, або їхні завдання важливіші.

Для обох зовнішніх погодних умов із збільшенням погодинної продуктивності ( $\$/\text{год}$ ), температури в приміщенні ( $^{\circ}\text{C}$ ) повзуть до максимальної комфортної температури ( $21,7^{\circ}\text{C}$ ), підвищуючи в січні та знижуючи в липні (рис. 3.3).

Коли загальний показник продуктивності підвищується до дуже високого рівня, комфорт пасажирів витісняє енергетичний критерій, і метод надає пріоритет першому.

Далі щомісяця вивчається робота методу MOOP [59].

Два місяці січень і липень із середньою зовнішньою температурою  $-10,2^{\circ}\text{C}$  і  $25,3^{\circ}\text{C}$  вибрані для представлення теплої та холодної пори року в Хмельницькому.

Протягом кожного місяця запропонований метод контролює погодинну температуру в приміщенні, за допомогою MOOP витрат енергії та продуктивності [60].

Наведено середньомісячну температуру в приміщенні ( $^{\circ}\text{C}$ ) [18] у трьох вибраних зонах офісу (східна зона, центральна зона та південна зона) протягом січня та липня (рис. 3.6).

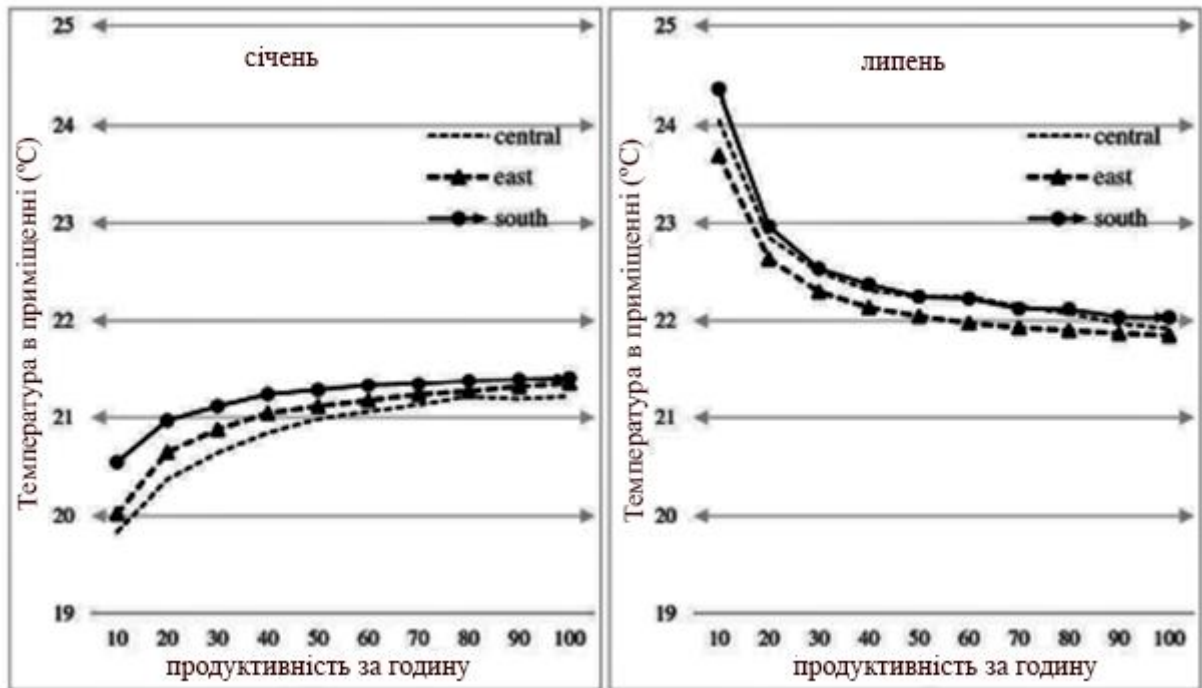


Рисунок 3.6 – Запропонований випадок – Середня місячна температура в приміщенні (°C) у 3 зонах за різних сценаріїв (\$/год) – січень (а) липень (б)

У всіх трьох зонах і для обох зовнішніх погодних умов із збільшенням продуктивності за годину (\$/год) мешканців середньомісячні температури в приміщенні рухаються до максимальної комфортної температури (21,7 °C). Зі збільшенням колективної продуктивності зростає відносна важливість продуктивності мешканців щодо витрат на електроенергію, отже, метод зменшує відносні втрати продуктивності мешканців за рахунок наближення до максимальної комфортної температури [61]. Тут для оцінки теплового комфорту вибирається середня місячна температура в приміщенні (°C). Альтернативний підхід полягає в тому, щоб продемонструвати частотний розподіл голосів теплових відчуттів і обчислити кількість годин, протягом яких голоси теплових відчуттів перебувають у діапазоні комфорту. Цей підхід зручний, коли показники теплового комфорту, такі як індекс PMV та індекс PPD [16], використовуються для вказівки голосів теплового відчуття [62].

Продуктивність пропонованого способу по відношенню до IAQ різні зони офісу, вивчається. Схожий на термічний аналіз комфорту, січень і липень

вибираються для представлення холоду і теплі пори року. Показані середньомісячні швидкості вентиляції ( $\text{м}^3/\text{с} / \text{м}^2$ ) за сценаріїв різної продуктивності за годину всередині східної зони, центральної зони та південної зони (рис. 3.7).

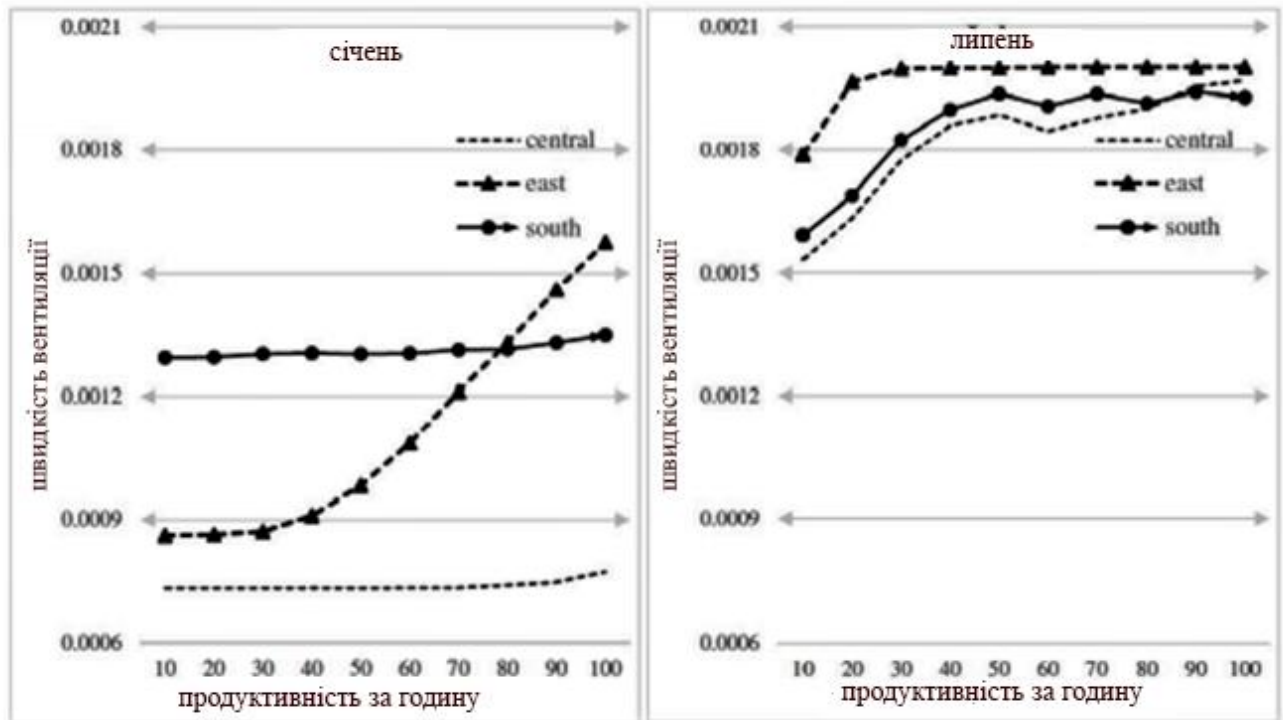


Рисунок 3.8 –Запропонований випадок – Середня місячна швидкість вентиляції ( $\text{м}^3/\text{с}/\text{м}^2$ ) для 3 зон – січень (а) липень (б)[62]

Середні місячні показники вентиляції відрізняються в різних зонах і в різних погодних умовах на вулиці. Тим не менш, загальна тенденція полягає в тому, щоб збільшитися з додаванням продуктивності за годину ( $\text{€/год}$ ). На рівень вентиляції в різних зонах впливає сонячне опромінення [63].

Загальні витрати, пов'язані з експлуатацією офісної будівлі, є сукупністю витрат на споживання енергії та втрат продуктивності мешканців. Для трьох різних зовнішніх погодних умов порівнюються щомісячні загальні витрати, використовуючи запропонований випадок і базовий варіант [64]. Квітень обраний для представлення сезону гойдалок у Монреалі. Протягом січня, квітня та липня оцінюються щомісячні загальні витрати на базовий випадок (рис. 3.8) та запропонований варіант (рис. 3.9).

Існують суттєві відмінності між загальними витратами у запропонованому випадку та в базовому випадку; особливо між пов'язаними з ними втратами продуктивності [65]. На відміну від запропонованого випадку, у базовому випадку зі збільшенням погодинної продуктивності мешканців (\$/год) значно збільшуються втрати продуктивності (\$), а згодом і загальні витрати (\$) (особливо протягом квітня та липня). Замінивши метод SOOP в базовому випадку на метод MOOP, можна домогтися значного підвищення продуктивності протягом квітня і липня (рис. 3.7 і рис. 3.8). Результати показують значний потенціал для підвищення продуктивності працівників за рахунок покращення IEQ офісу [66]. Враховуючи постійну кількість шести офісних працівників у кожній зоні (всього 30 осіб в офісі) протягом липня, запропонований метод може заощадити до 80 доларів США на щомісячній продуктивності кожного мешканця. Підвищення продуктивності мешканців принесе пряму користь установі, на яку вони працюють. Загалом, це суспільство отримує користь від більш продуктивних громадян.

Однією з позитивних особливостей запропонованого методу є його здатність отримувати динамічні впливові параметри при прийнятті рішень щодо автоматизованого контролю внутрішнього середовища [67].

Динамічними впливовими параметрами можуть бути ціни на електроенергію та газ у реальному часі, набори параметрів зовнішнього та внутрішнього середовища, присутність мешканців, показники продуктивності та переваги. Тут для кращого уточнення більшість цих параметрів вважають постійними.

Однак наявність цих параметрів значно підвищує цілі зниження споживання енергії та підвищення продуктивності [68]. Для цього необхідна наявність апаратної та програмної інфраструктури, щоб мати достатню інформацію від утиліти та від середовища будівлі.

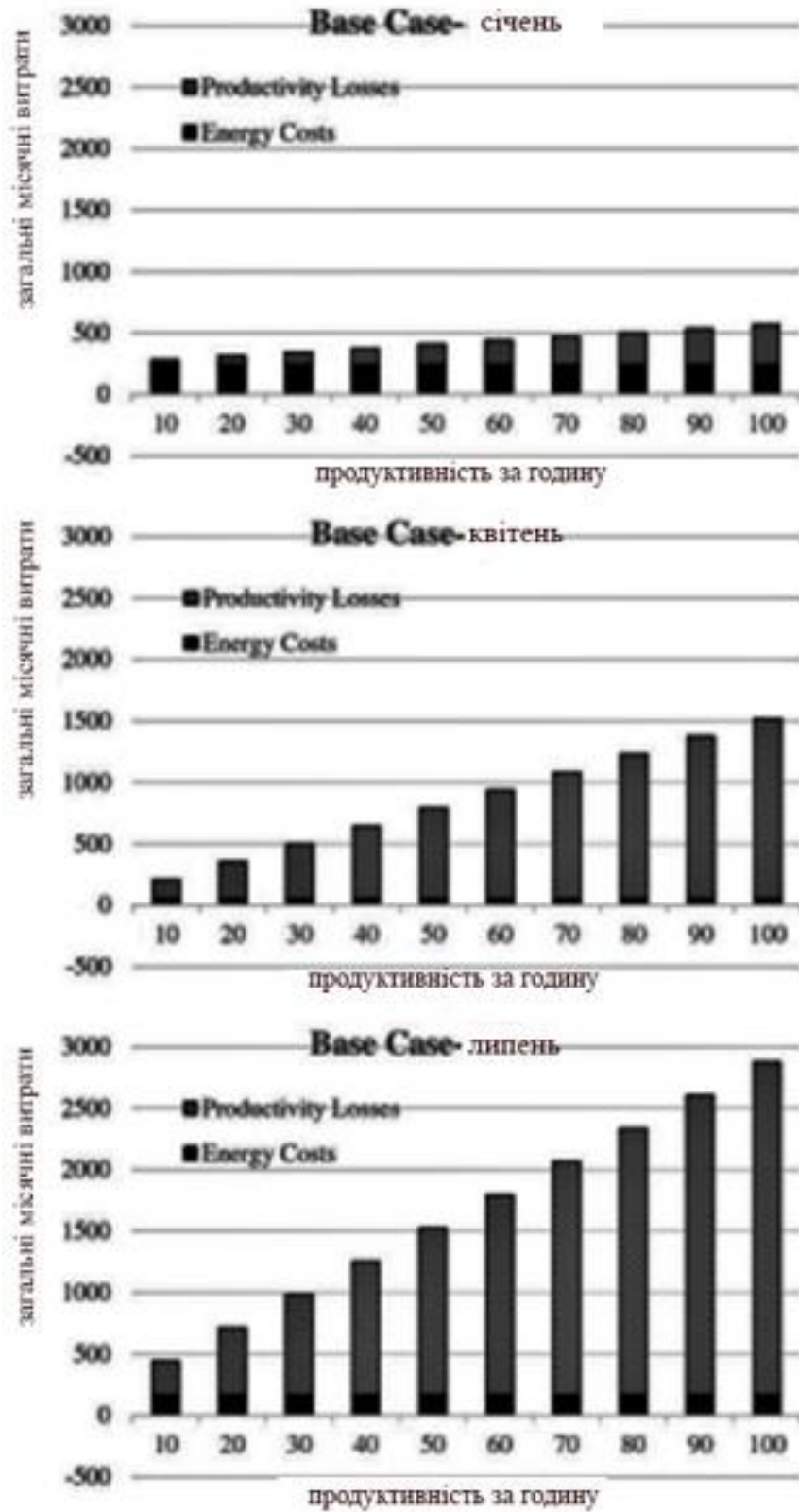


Рисунок 3.8 – Базовий варіант – загальні місячні витрати (\$) протягом трьох місяців січня (а), квітня (б) та липня (в) [65]

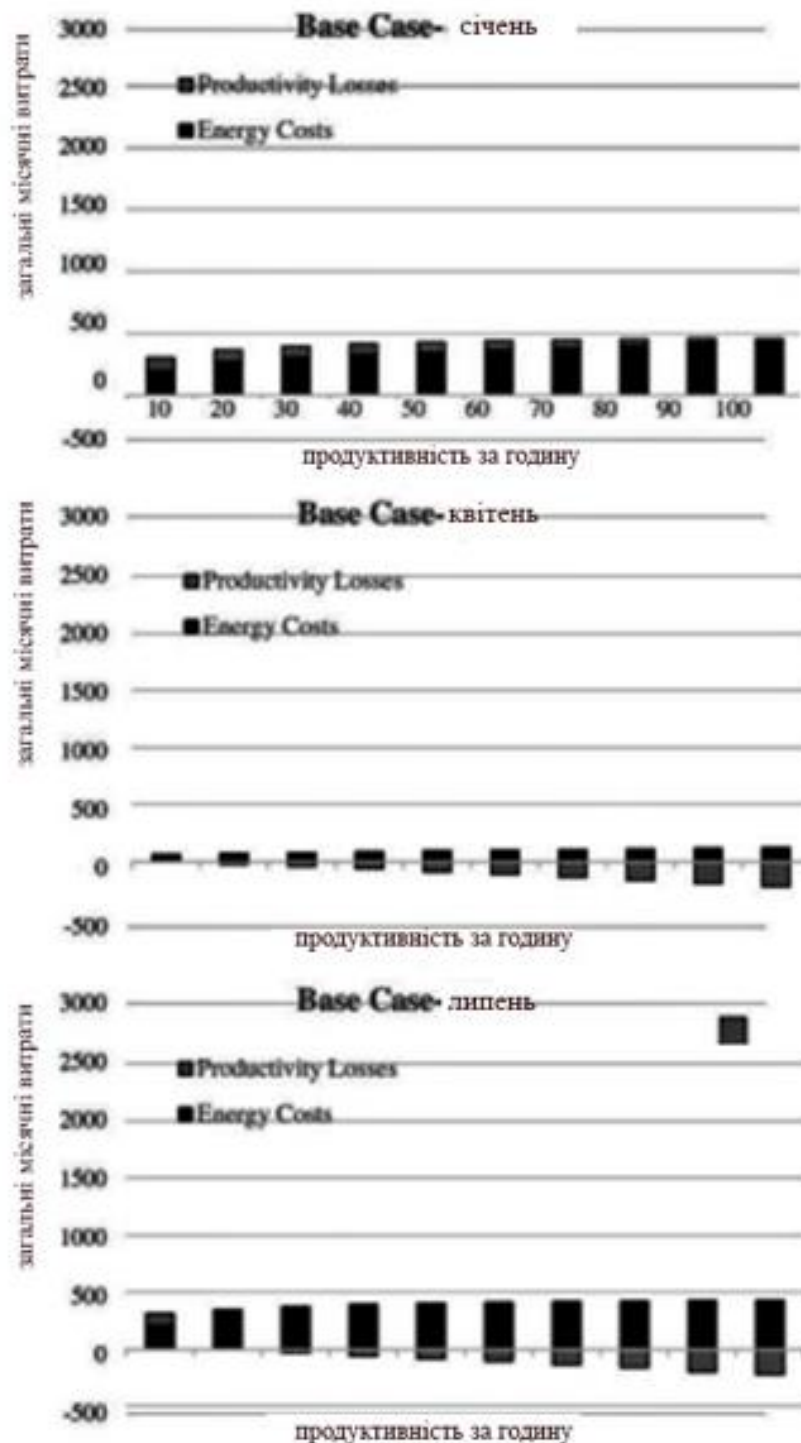


Рисунок 3.9 – Пропонований випадок – загальні місячні витрати (\$) протягом трьох місяців січня (а), квітня (б) та липня (в) [67]

### 3.3 Подальший аналіз та надійність

Спочатку, щоб виразити взаємозв'язок між тепловим комфортом і продуктивністю, результати мета-аналізу використовується. Сеппанен та ін.

здійснив мета-аналіз 26 досліджень, які раніше проводились щодо взаємозв'язку між температурою в приміщенні та характеристиками мешканців [68]. Ці дослідження варіювались за використанням методом, обсягом вибірки та типом завдань мешканців. Вони класифікували дослідження на основі типу розглянутих виступів, варіювались від простих завдань, візуальних завдань та складних завдань. Згодом вони призначали вагу кожному дослідженню таким чином, щоб дослідження, які розглядали більш складні завдання, отримували більшу вагу. Виведена залежність між відносною продуктивністю щодо теплових умов ( $RP_{\text{тепловий}}$ ) і температурою приміщення ( $T$ , в  $^{\circ}\text{C}$ ) вказана в (3.3), а показана на рисунку 3.10 [69].  $RP_{\text{тепловий}}$  - це термін для порівняння продуктивності мешканців з їх максимальною рівень продуктивності:

$$RP_{\text{тепловий}} = 0.16 T - 0.0058 T^2 + 0.000062 T^3 - 0.47 . \quad (3.3)$$

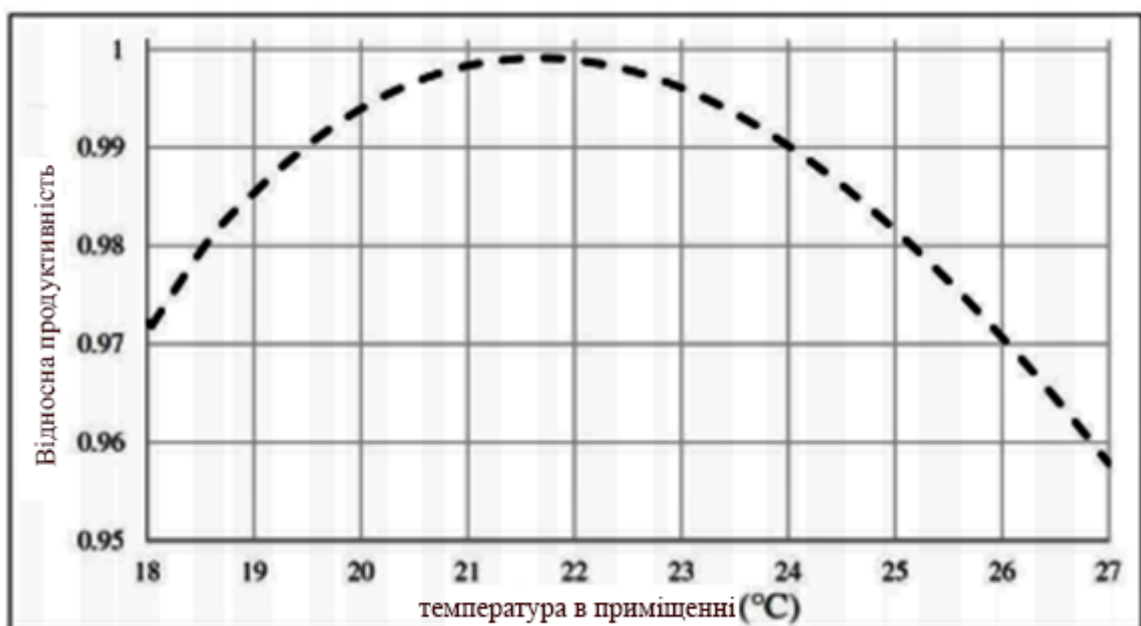


Рисунок 3.10 – Відносна продуктивність мешканців щодо внутрішньої температури ( $^{\circ}\text{C}$ ) [69]

На додаток до теплового комфорту, IAQ користувачів також враховується в їх загальних оцінках комфорту[70]. Відносна продуктивність щодо IAQ ( $RPIAQ$ )

впливає з Serpanen et al. мета-аналіз дев'яти польових досліджень, проведених раніше щодо зв'язку між швидкістю вентиляції та відносною продуктивністю.

На основі Serpanen та співавт. дослідження, вищі показники вентиляції покращують концентрацію уваги та пильність мешканців. Вони припустили контрольну точку 6,5 л / с на людину, присвоївши їй відносній продуктивності 1, і виявили вплив покращеної швидкості вентиляції на продуктивність мешканців. Зв'язок між швидкістю вентиляції (Q, л / с на людину) та RPIAQ представлена в (3.4), і відображена на рисунку 3.11. Виходячи з цього припущення, мінімальне значення RPIAQ дорівнює одиниці [71].

$$R_{PIAQ} = 0.021 \ln Q + 0.960 \quad 6.5 \frac{1}{s} \text{ на особу} \leq Q \leq 45 \frac{1}{s} \text{ на особу} . \quad (3.4)$$

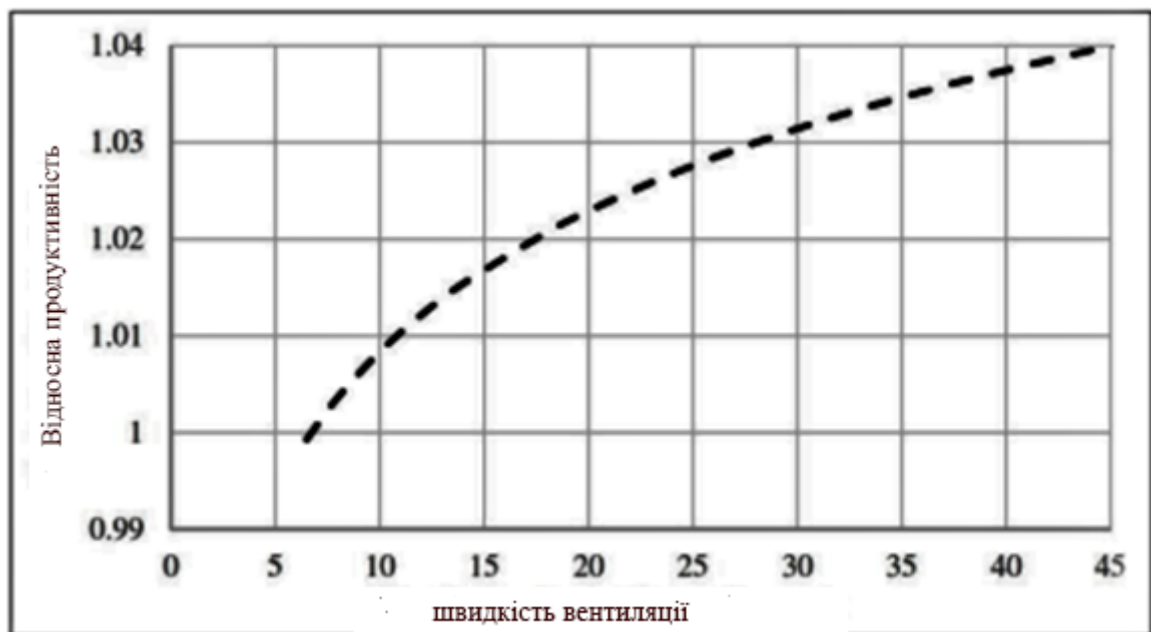


Рисунок 3.11 – Відносна продуктивність щодо швидкості вентиляції (л/с на людину) [70]

Відносна продуктивність щодо температури в приміщенні ( $R_{P\text{тепловий}}$ ) та швидкості вентиляції ( $R_{PIAQ}$ ) поєднуються за допомогою методу, було зазначено, що сукупний вплив температури повітря в приміщенні та швидкості вентиляції на загальну продуктивність мешканців ( $R_{P\text{overall}}$ ) можна вважати в межах середнього

значення  $RP_{\text{тепловий}}$  та  $RP_{\text{IAQ}}$  [71], а максимальне значення між ними. Вони обґрунтовували своє припущення припущенням, що величина комбінованого впливу двох параметрів (температури повітря в приміщенні та швидкості вентиляції) повинна бути принаймні ефектом більшого з окремих параметрів, але не більше суми двох незалежних параметрів [72]. Відповідно (3.4):

$$RP_{\text{overall}} = [\text{avg}(RP_{\text{тепловий}}, RP_{\text{IAQ}}) + \max(RP_{\text{тепловий}}, RP_{\text{IAQ}})] / 2, \quad (3.4)$$

$RP_{\text{overall}}$  - це безрозмірна величина, яка може бути виражена у відсотках (%) або як значення в межах від 0 до 1.

$RP_{\text{overall}}$ , рівний 1, призначається максимальному рівню продуктивності пасажирів.

Погодинні втрати продуктивності кожного мешканця (втрати продуктивності) визначаються з двох параметрів продуктивності на годину (\$ / год) та  $RP_{\text{overall}}$  (3.5) [73]:

$$\text{Productivity losses } (\$/h) = \text{productivity per hour } (\$/h) \cdot (1 - RP_{\text{overall}}). \quad (3.5)$$

За допомогою методу зваженої суми цільова функція методу, яка мінімізується щогодини, будується у вигляді (3.6):

$$\text{Objective function } (\$/h) = \text{energy costs} + \sum_{i=1}^n \text{productivity losses } _i \quad (3.6)$$

У якій  $n$  - кількість мешканців. Запропонований спосіб використовує розв'язувач `fmincon` MATLAB. `fmincon` здатний обробляти нелінійні проблеми МООР як з лінійними, так і з нелійними обмеженнями (наприклад, запропонована проблема) [74]. Для алгоритму оптимізації `fmincon` використовується метод внутрішніх точок. Як правило, при нелінійному програмуванні немає гарантії досягнення глобальної точки оптимуму. Ймовірно, що вирішувач досягає локального оптимуму замість загальної точки оптимуму. У проблемах МООР цього

дослідження той факт, що діапазони змінних обмежені, покращує ймовірність досягнення глобального оптимуму. Більше того, щоб підвищити ступінь довіри до процедури, оптимізацію повторювали з багатьма різними початковими умовами, щоб переконатися, що досягнуто подібної (глобальної) точки оптимуму [75].

За допомогою першого запропонованого методу вирішується проблема МООР щодо енергетичних витрат та продуктивності, щоб забезпечити економічно оптимальні умови для функціонування адміністративної будівлі. У кожній зоні метод здійснює інтегрований контроль внутрішнього середовища, керуючи рівнем внутрішньої температури, швидкістю вентиляції, природним освітленням та штучним освітленням [76]. Залежно від рівня продуктивності мешканців у кожній зоні, метод може створювати погодинні оптимальні рішення Парето для автоматизованого контролю внутрішнього середовища.

Вважається, що системи затінення зон контролюються глухими приводами, для управління рівнем сонячного опромінення або природного освітлення, що потрапляє в зони, і забезпечують тепловий та візуальний комфорт мешканців [77]. Система штучного освітлення зони забезпечує додаткове освітлення, якщо рівня природного освітлення недостатньо для забезпечення візуального комфорту мешканців. Системи HVAC контролюються для забезпечення теплового комфорту, а також IAQ.

Персоналізоване управління енергією та комфортом полягає у прийнятті енергетичних рішень для внутрішнього середовища відповідно до персональних уподобань мешканців [78]. Запропонований персоналізований метод визнає різноманітність теплових уподобань мешканців та одночасно оптимізує споживання енергії та загальну продуктивність мешканців, враховуючи персоналізовані теплові переваги мешканців, а також IAQ.

Через різні параметри, що впливають на енергоспоживання будівель, оптимальна робота енергоємних систем будівель є складною процедурою для тих, хто приймає рішення, особливо з точки зору мінімізації енергетичних витрат та дискомфорту мешканців [79].

Як правило, існує зворотна залежність між споживанням енергії операційними системами та рівнем комфорту мешканців, які використовують ці системи. Вподобання мешканців щодо енергоспоживаючих систем впливають на їх енергоспоживання. З іншого боку, зміна налаштувань цих систем впливає на те, як мешканці ставляться до своїх оточуючих умов[80]. Як результат, пошук балансу між цими двома важливими концепціями є вирішальним для покращення експлуатації будівлі. Методи імітації можуть бути використані для дослідження впливу різних стратегій управління на споживання енергії будівлі та задоволення мешканців. Це робиться шляхом проведення аналізу чутливості налаштувань енергосмних систем, щоб з'ясувати, як зміни в налаштуваннях цих систем впливають на ефективність імітаційної моделі.

Однак лише моделювання не може дослідити весь простір пошуку складної проблеми енергоефективності; тому для повного вивчення всіх можливих різних комбінацій налаштувань потрібні методи оптимізації.

Щоб дізнатися персоналізовані теплові переваги мешканців, слід зібрати їх відгуки про теплові умови внутрішнього середовища [81]. Тут мешкають мешканці та їх теплові (та пізніше візуальні) уподобання на основі результатів проведеного польового дослідження. Результати поздовжнього польового дослідження [82], яке проводилось протягом трьох років у будівлі в Лозанні, Швейцарія, використовуються для моделювання теплових переваг мешканців, розглянутих у цьому дослідженні. Учасники польового дослідження випадково опитували їх теплові відчуття.

Їх відгуки (голоси від теплових відчуттів) класифікували на відчуття тепла, комфорту або холоду. З часом були зібрані відгуки про теплові відчуття кожного учасника в широкому діапазоні температур у приміщенні [83].

Імовірність кожного учасника відчувати комфорт ( $Pr_{\text{Тепловий\_комфорт}}$ )(3.7) або дискомфорт ( $Pr_{\text{Тепловий\_Дкомфорт}}$ )(3.8) при певній температурі в приміщенні виражається у формі [80]:

$$\text{Pr}_{\text{Тепловий\_Дкомфорт}} = \text{Pr}_{\text{Холодно}} + \text{Pr}_{\text{Жарко}} - \text{Pr}_{\text{Холодно}} \cdot \text{Pr}_{\text{Жарко}}. \quad (3.7)$$

$$\text{Pr}_{\text{Тепловий\_комфорт}} = 1 - \text{Pr}_{\text{Тепловий\_Дкомфорт}} = (1 - \text{Pr}_{\text{Холодно}}) \cdot (1 - \text{Pr}_{\text{Жарко}}). \quad (3.8)$$

Використовуючи в польових дослідженнях методи мультиноміальної логістичної регресії, ймовірність задоволення учасника ( $\text{Pr}_{\text{Тепловий\_комфорт}}$ ) від безпосередніх теплових умов (температура в приміщенні (Т); ° С) виражалася конкретними безрегулярними параметрами регресії, а жарко, в жарко, а холодно, в холодно [83] (3.9):

$$\text{Prob}_{\text{Тепловий\_Комфорт}}(T) = \frac{1}{1 + \exp(a_{\text{жарко}} + b_{\text{жарко}} \cdot T) + \exp(a_{\text{холодно}} + b_{\text{холодно}} \cdot T)} \quad (3.9)$$

П'ять довільних учасників польового дослідження відібрані, і голоси їх теплових відчуттів (параметри їх теплової регресії) використовуються для побудови п'яти моделей теплових переваг [85]. П'ять моделей теплових переваг характеризують теплові переваги п'яти різних мешканців, змодельовані тут.

У цьому дослідженні зроблено два припущення для моделювання теплових (та візуальних) уподобань мешканців. По-перше, теплові (та візуальні) моделі переваг вважаються такими, що мають форму Гауса. Маючи параметри теплової регресії кожного індивіда (таблиця 3.1),  $\text{Pr}_{\text{Тепловий\_Комфорт}}(T)$  побудований на основі (3.10). Згодом сконструйований  $\text{Pr}_{\text{Тепловий\_Комфорт}}(T)$  вбудовується в функцію Гауса із середнім значенням  $T_{\text{махкомфорт}}$  та стандартним відхиленням  $\text{Допусттепловий}$  (3.10):

$$\text{Pr}_{\text{Тепловий\_Комфорт}}(T) = \frac{-(T - T_{\text{махкомфорт}})^2}{e^{2 \cdot (\text{Допусттепловий})^2}} \quad (3.10)$$

Таблиця 3.1 – Параметри теплової регресії, вилучені з [97] та відповідних моделей теплової переваги

Модель теплової переваги	Параметри теплової регресії			
	$a_{\text{холодно}}$	$b_{\text{холодно}}$	$a_{\text{жарко}}$	$b_{\text{жарко}}$
Модель#1	11.7	-0.6	-39.7	1.4
Модель #2	12.6	-0.7	-21.4	0.8
Модель #3	11.6	-0.8	-28.9	1.1
Модель #4	8.8	-0.4	-16.4	0.6
Модель#5	20.1	-1	-22.7	0.8

На основі запропонованої форми теплових уподобань мешканців,  $T_{\text{махкомфорт}}$  та  $\text{Допустктепловий}$  - це дві персоналізовані змінні, які разом характеризують кожну теплову перевагу[86].  $T_{\text{махкомфорт}}$  конкретної моделі теплових переваг - це температура в приміщенні ( $T$ ), в якій мешканець з цією моделлю теплової переваги має найбільшу ймовірність теплового комфорту.

По-друге, коли проводиться оптимізація для теплового комфорту, ми вважаємо, що відносна продуктивність ( $PR_{\text{тепловий}}(T)$ ) дорівнює ймовірності теплового комфорту ( $Pr_{\text{Тепловий\_Комфорт}}$ )(3.11):

$$PR_{\text{тепловий}}(T) = \text{Prob}_{\text{Тепловий\_Комфорт}}(T), \quad (3.11)$$

$PR_{\text{тепловий}}(T)$  - рівень задоволеності мешканців безпосередніми умовами середовища в приміщенні.

$T_{\text{махкомфорт}}(^{\circ}\text{C})$  та  $\text{Допустктепловий}(\text{K})$  для п'яти моделей теплових переваг наведені в таблиці 3.2.

$T_{\text{махкомфорт}}$  та  $\text{Допустктепловий}$  варіюються в різних моделях теплових переваг, що вказує на різноманітність теплових уподобань мешканців. На ці дві персоналізовані змінні можуть впливати різні параметри, такі як сезонні зміни, культурні та соціальні норми, теплові очікування, історія теплових відчуттів,

установки та переконання, сприйманий контроль над навколишнім середовищем та фізіологічна та психологічна адаптація [20, 62, 66 , 67].

Таблиця 3.2 –  $T_{\text{мах}} \text{ комфорт}$  і Допуск тепловий з п'яти моделей теплових переваг

модель теплових переваг	Модель1	Модель2	Модель3	Модель4	Модель5
$T_{\text{мах}} \text{ комфорт} (^{\circ}\text{C})$	23.9	21.9	20.9	24.3	23.3
Допуск тепловий (К)	6.2	5.1	5.2	7	4.3

Для кожної моделі теплових переваг максимальна  $R_{\text{тепловий}}$  враховується при  $T_{\text{мах}} \text{ комфорт}$ , де  $R_{\text{тепловий}}$  дорівнює 1. На основі характеристик функції Гауса, вищі значення Допуск тепловий означають, що мешканець менш чутливий до змін температури в приміщенні. Віддаляючись від  $T_{\text{мах}} \text{ комфорт}$ ,  $R_{\text{тепловий}}$  зменшується відносно повільніше, порівняно з мешканцем з подібним  $T_{\text{мах}} \text{ комфорт}$ , але меншим Допуск тепловий. На відміну від цього, наявність низьких значень толерантності термічного означає, що мешканець більш чутливий до теплових умов і має відносно менший  $R_{\text{тепловий}}$ . Допуск тепловий (К) отримує лише позитивні значення [86, 87].

Рівень заповнюваності для кроку часу  $t$ , ( $\text{occ}_r^{\text{td}}$ ) - це середній коефіцієнт заповнення кожного дня тижня на основі загальної кількості тижнів збору даних ( $W$ ). Після збору даних за певний період коефіцієнт заповнення (%) усіх зон в офісі обчислюється для кожного часового кроку та для кожного дня тижня згідно з рівнянням (3.12):

$$\text{occ}_r^{\text{td}} = \frac{\sum_{W=1}^W \left( \frac{n_o^{t,d}}{N_o} \right) W}{W} * \quad (3.12)$$

де  $n_o^{t,d}$  - кількість присутніх мешканців на кроці часу  $t$  і в день  $d$ ,

а  $N_o$  - загальна кількість мешканців, які проживають в одному офісі відкритого плану протягом дня  $d$ .

Аналітика заповненості (обробка даних), яка складається з трьох етапів, виконується для пошуку важливих характеристик зайнятості, таких як кількість присутніх мешканців, періоди відсутності та присутності, а також інші випадкові зміни в профілях мешканців [82, 84].

На рисунках 3.12-14 зображено псевдокод, який показує, як зібрані дані перетворюються в інформацію про місце перебування та тривалість присутності для розрахунку зони зайнятості та швидкості відповідно.

### 3.4 Висновок до третього розділу

У цьому розділі моделювання заселеності (тобто профілі мешканців) було вдосконалено за допомогою імовірнісної неоднорідної моделі прогнозування [77].

Основним внеском цього дослідження є:

1) розроблення методу отримання інформації про заселеність із різними кроками часу із зібраних даних про зайнятість RTLS. Цей метод може фіксувати різні рівні роздільної здатності, необхідні для застосування інтелектуальних стратегій місцевого управління;

2) розробка нової адаптивної імовірнісної моделі прогнозування зайнятості на основі отриманої інформації про зайнятість;

3) розробка залежної від часу неоднорідної моделі заповнення.

Запропонована модель прогнозування є адаптивною моделлю, яка з часом розвивається та вдосконалюється.

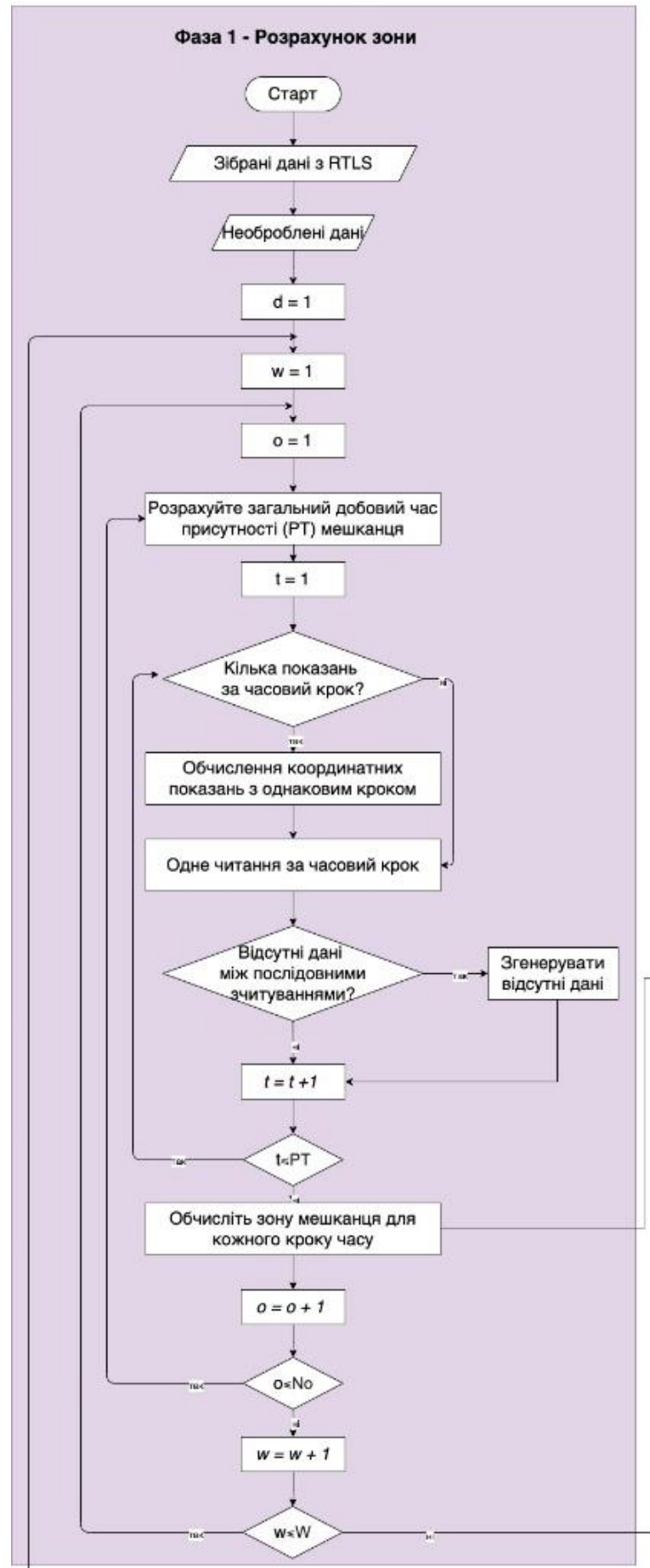


Рисунок 3.12 – Фази аналізу поведінки мешканців (обробка даних)

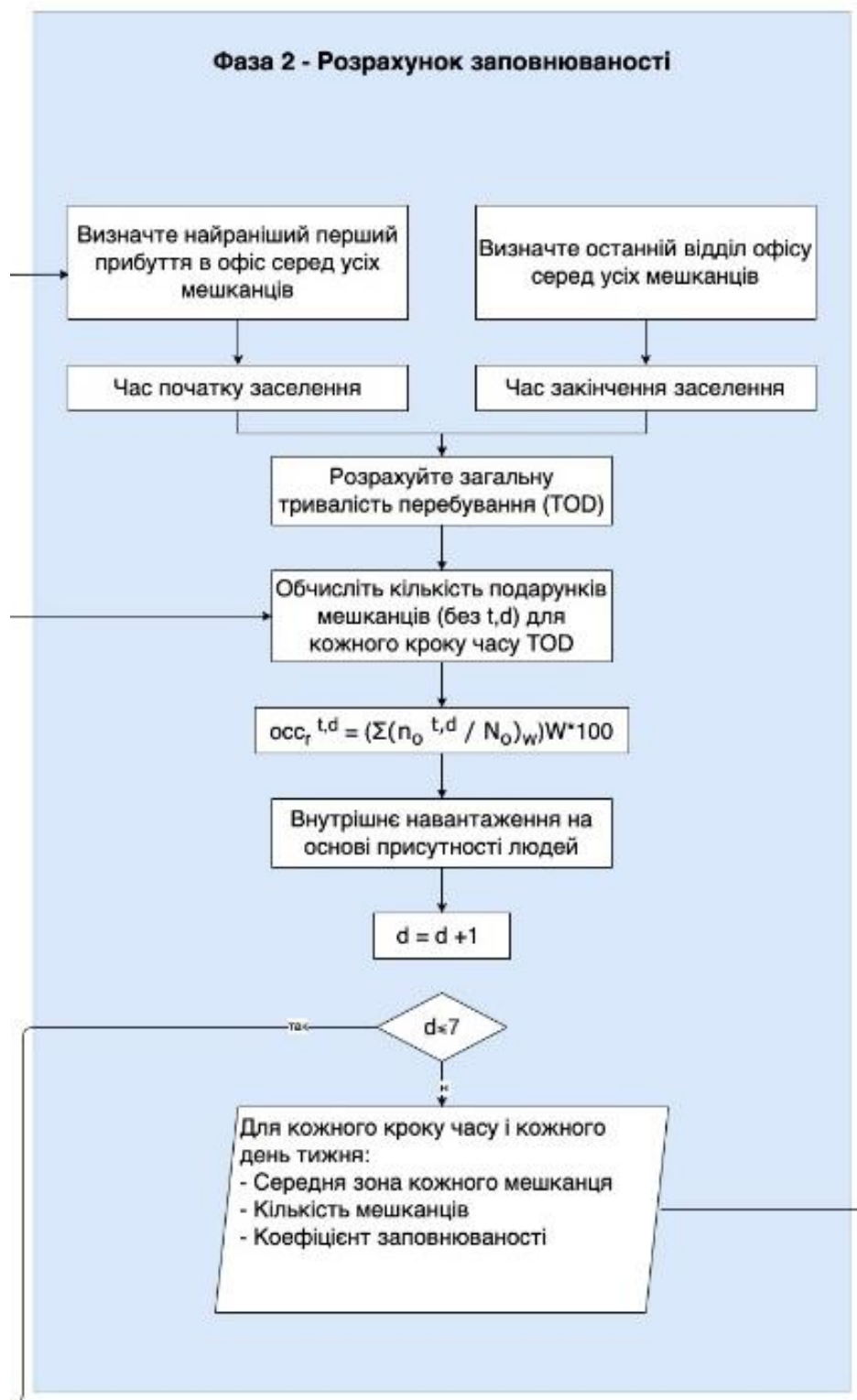


Рисунок 3.13 – Фази аналізу поведінки мешканців (обробка даних)

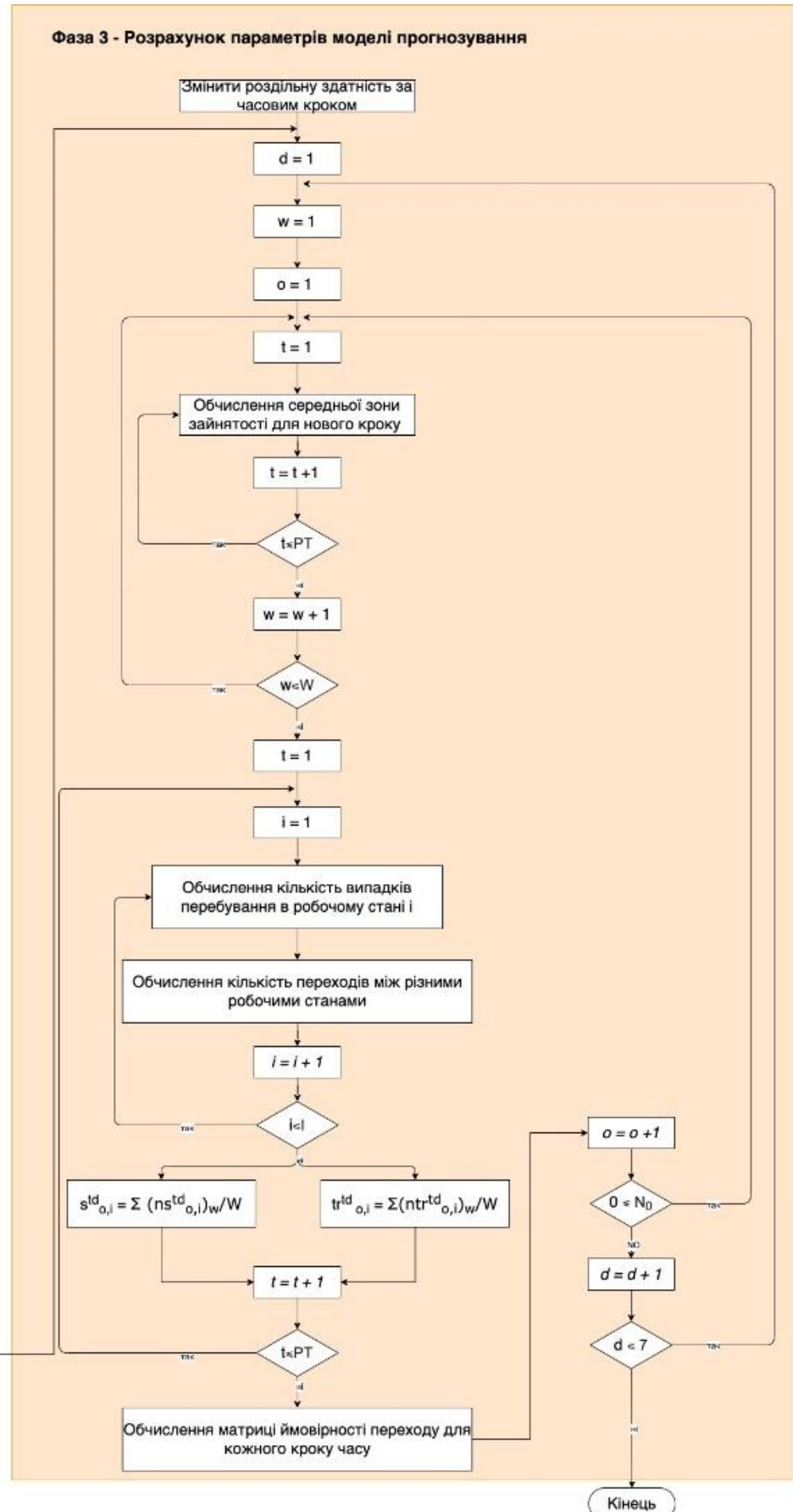


Рисунок 3.14 – Фази аналізу поведінки мешканців (обробка даних)

Наявність прогнозу профілю заповнюваності для кожного мешканця призводить до розробки прогнозу рівня заповнюваності на рівні зони [70].

Модель прогнозування може точно оцінити місце розташування мешканців у більшість періодів збору даних протягом дня. Висока точність (86% та 68% в середньому для управління освітленням та системами кондиціонування та вентиляції, відповідно) прогнозування моделей зайнятості також вказує на прийнятну ефективність моделі прогнозування.

Незважаючи на те, що загальна ефективність моделі прогнозування була задовільною, вона, можливо, не фіксує змін у структурі заповнення, які можуть трапитися після періоду збору даних, особливо у випадку офісів відкритого планування з різною завантаженістю [80]. Проблема конфіденційності виникає, коли особиста особа мешканців використовується для отримання детальної інформації про мешкання. Однак цю проблему можна вирішити, анонімувавши дані мешканців шляхом визначення профілів заповнення за зоною. Крім того, наявність такого типу даних може бути життєво важливим для інших цілей, таких як надзвичайні ситуації та безпека.

## **4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ЗАСІБ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»**

4.1 Апаратна складова програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Метою кваліфікаційної роботи послугувало покращення якості життя містян, підвищення екологічних стандартів та спрощення умов життя людей з особливими потребами [87].

Сама ж Техніка «Розумний будинок» дозволяє з легкістю підключитись до Інтернету та керувати за допомогою смартфона або ж персонального комп'ютера різними пристроями, такими як термостати, освітлення, дверні замки та багато іншого.

Для з'єднання Arduino з Raspberry Pi існує кілька сценаріїв підключення [88]:

1) Використання явного послідовного каналу передачі даних. При цьому виникають складнощі, пов'язані з різницею рівнів харчування: Raspberry Pi працює на напрузі 3.3В, в той час як Arduino використовує 5 вольт. При цьому для забезпечення безпечного з'єднання рекомендується використовувати спеціальні перетворювачі рівня;

2) використання послідовної шини I2C, що дозволяє підключати до однієї Raspberry Pi до 128 пристроїв Arduino в режимі slave, при цьому таке підключення також не вимагає перетворювачів рівня.

3) Підключення по USB є мабуть найпростішим способом, оскільки для цього достатньо всього лише увіткнути Arduino через стандартний кабель в USB-роз'єм Raspberry Pi.

Для власного проекту ми використали перший варіант з'єднання, який працює за принципом передачі даних по швидкому і зручному каналу зв'язку MQTT [89].

Вимоги до апаратних ресурсів. Проектоване програмне забезпечення для коректної своєї роботи не потребує самих сучасних і продуктивних апаратних

ресурсів. Достатнім є наявність у користувача ПК з такими мінімальними вимогами.

Характеристики Raspberry Pi 3 Model B+:

1. Процесор: soc Broadcom серії BCM2837B0 (чотирьохядерний ARM Cortex-A53 1.4ghz з 64-бітною архітектурою).
2. Оперативна пам'ять: 1 Гб.
3. Порти USB: 4 порта USB 2.0.
4. Ethernet: Гігабитний.
5. Підтримка живлення по мережі: роє.
6. GPIO: Стандартний 40-піновий роз'єм (з них 26 GPIO).
7. Роз'єм живлення: microusb.
8. Беспровідний інтерфейс.
9. Двухдіапазонний Wi-Fi (2.4ghz і 5ghz) 802.11ac.
10. Bluetooth 4.1 (класичний та низький рівень енергії).
11. Інтерфейс монітора: HDMI.
12. Інтерфейс для CSI камери.
13. DSI-конектор для LCD дисплея.
14. 3.5 мм роз'єм для виходу звуку та композитного відео.
15. 2-контактний роз'єм для апаратного скидання.
16. Micro SD Слот.

Характеристики Arduino Mega 2560 R3 (CH340) [90]:

1. Мікроконтролер - atmega2560 - 16AU.
2. Спосіб підключення до USB: конвертер CH340.
3. Робоча напруга контролера.
4. Вхід USB: 5В.
5. Вхід VCC: 5В.
6. Вхід Vin: 7,5В-12В.
7. Цифрові вводи / виводи - 54 (17 з яких забезпечують вихід PWM / ШИМ).
8. Аналогові входи – 16.

9. Інтерфейси.
10. I2C.
11. SPI.
12. ШИМ.
13. Постійний ток в лінії вводу / виводу: не більше 40 мА.
14. Постійний вихідний ток стабілізатора на 3,3: не більше 50 мА.
15. Флеш-пам'ять програм: 256 Кб, з яких 8 Кб використовується загрузчиком.
16. Оперативна пам'ять даних: 8 Кб SRAM.
17. Енергонезалежна пам'ять даних: 4 Кб.
18. Тактова частота 16 МГц.

В багатьох сценаріях інтернету речей буває корисно мати один досить потужний вбудований комп'ютер (в ролі якого може виступати Raspberry Pi), який може зв'язуватися з безліччю розташованих в різних місцях сенсорів, керованих простими мікроконтролерами сімейства Arduino [91]. При цьому потужності Raspberry Pi вистачає, щоб передавати дані по захищених каналах HTTPS в хмару, а також щоб здійснювати взаємодію з користувачем за допомогою розвиненого інтерфейсу.

#### 4.2 Алгоритми програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю

Реєстрація в системі за допомогою адміністратора. Створити вікно реєстрації користувача адміністратором з полями для введення прізвища та імені користувача, логіну, паролю, підтвердження паролю і поштової адреси. Також створити кнопку, яка буде забезпечувати реєстрацію користувача в системі [92].

При натисненні кнопки реєстрації спочатку перевірити чи заповненні всі поля.

Якщо у БД не знайдено такого логіна, - виконати перевірку довжини введеного паролю. Його довжина має бути не менше шести символів [92].

Якщо введений логін існує в БД, вивести повідомлення про те, що користувач з даним логіном існує в системі.

Перевірити, чи збігаються введені дані в полях «Пароль» та «Повторити пароль». Для забезпечення успішної реєстрації, дані вище зазначених полів мають співпадати [92].

Поштова скринька перевіряється на відповідність латинським літерам та цифрам, наявності символів “@” та “.”.

При некоректному заповненні даних вивести відповідне повідомлення про помилку і запропонувати повторне заповнення полів.

Якщо усі поля коректно заповненні виконати додавання нового запису про користувача у БД [93]. При цьому у БД також помістити поля про дату і час реєстрації, групу якій належить користувач (група “користувачі”). Вивести на екран повідомлення про успішну реєстрацію.

Авторизація. Створити вікно із двома полями для введення логіна та паролю. Також необхідно створити кнопку, яка буде авторизувати користувача на сайті.

Після натискання кнопки авторизації перевірити чи заповненні усі поля, виконати перевірку коректності введених даних до їх відправки на сервер.

Якщо усі поля заповненні виконати перевірку введеного логіну на рівність із логінами, які розміщені в БД.

Якщо у БД знайдено такий логін виконати перевірку введеного паролю на рівність з паролем із БД.

Якщо логін і пароль відповідно рівні логіну і паролю з БД – надати користувачу доступ до системи «Розумний будинок».

Якщо у БД не знайдено такого логіну, або якщо введений користувачем пароль не співпадає із паролем в БД - вивести відповідне повідомлення і запропонувати пройти повторну авторизацію [93, 94].

Відновлення паролю. Створити вікно з полем для введення електронної пошти. Створити кнопку підтвердження відновлення паролю.

При натисненні на кнопку, відбувається перевірка чи поле залишилося порожнім та перевірка коректності введення електронної адреси на відповідність латинським літерам та цифрам, наявності символів “@” та “.”

Якщо поле було коректно заповнене, відправляється запит на сервер та пошук введеної електронної адреси в базі даних. У випадку відсутності її в БД, поле очиститься і з’явиться відповідне повідомлення з пропозицією повторного заповнення. Якщо таку електронну адресу буде знайдено, відкривається вікно з двома полями для введення нового паролю і його підтвердження та кнопкою «Підтвердити» [94].

Після натиснення кнопки – відбувається перевірка на рівність вмісту двох полів, і в разі успішності відбувається збереження нового паролю, а користувач на екрані побачить повідомлення про успішну процедуру відновлення.

Додавання кімнати адміністратором. При налаштуванні розумного будинку адміністратор додає кімнати та налаштовує їх файли конфігурацій.

Якщо кімната була успішно додана, користувач може побачити її у своєму особистому кабінеті.

Додавання пристрою адміністратором. При налаштуванні розумного будинку адміністратор додає пристрої за допомогою конкретних протоколів, додає та налаштовує їх файли конфігурацій [94].

Зв’язування пристроїв з системою відбувається за допомогою механізму біндингів.

При додаванні пристрій прив’язується до конкретної кімнати, яка була попередньо додана адміністратором.

Об’єднання декількох пристроїв адміністратором. Адміністратор має можливість об’єднати пристрої одного типу в єдину групу для подальшого їх зв’язаного та логічного розміщення у інтерфейсі користувача. Налаштування відбувається за допомогою конфігурації попередньо доданих приладів [95].

Вмикання приладу. При додаванні приладу в систему в залежності від його типу створюється або інформативна панель, або панель керування приладу з його станом.

Якщо прилад не є датчиком то панель приладу має функцію «Ввімкнути».

При вмиканні приладу відсилається запит на сервер, який містить в собі відповідну команду «ON».

У разі успішного виконання запиту, сервер повертає статус-код «200».

Вимикання приладу. Якщо прилад не є датчиком то панель приладу має функцію «Вимкнути» [93, 95].

При вимиканні приладу відсилається запит на сервер, який містить в собі відповідну команду «OFF».

У разі успішного виконання запиту, сервер повертає статус-код «200».

Надання приладу значення від 0 до 100. Якщо прилад може бути ввімкнений і його значення може набувати значення від 0 до 100, то на панелі керування відображається повзунок регулювання.

При зміні значення приладу відсилається запит на сервер, який містить в собі відповідне значення від 0 до 100.

У разі успішного виконання запиту, сервер повертає статус-код «200».

Додавання тригерів адміністратором. При налаштуванні приладів адміністратором, при необхідності налаштовуються тригери для зручності використання системи користувачем [94]. Тригери описують поведінку певних приладів при виниканні якоїсь окремої події. До прикладу «Опустити жалюзі при вмиканні світла у кімнаті в темну пору доби».

Перегляд усіх приладів. Після того як адміністратором було налаштовано систему «Розумний будинок», створюється кабінет користувача, де у вікні розміщені раніше додані прилади.

Користувач має можливість переглядати список доданих приладів та бачить їх статус («Ввімкнено» або «Вимкнено», «Зачинено» або «Відчинено» або інформативну панель).

Перегляд усіх кімнат. Після того як адміністратором було налаштовано систему «Розумний будинок», створюється кабінет користувача, де у вікні розміщені раніше додані кімнати.

Користувач має можливість переглядати список доданих кімнат у особистому кабінеті.

Видалення приладу адміністратором. Адміністратор має можливість видаляти прилади з системи(14). Заміна теми користувацького інтерфейсу користувачем та адміністратором [94].

При налаштуванні системи адміністратор має можливість встановити тему користувацького інтерфейсу для користувача за допомогою спеціальної панелі керування.

Створена система має можливість зміни теми інтерфейсу самим користувачем в меню «Налаштування».

Об'єднання декількох будинків в єдину систему адміністратором. Адміністратор має можливість пов'язати між собою декілька систем «Розумний будинок» між собою за допомогою файлів конфігурацій [95].

Створення сценаріїв поведінки адміністратором. При налаштуванні системи адміністратор має можливість створити скрипт-файли та додати їх до «Розумного будинку».

Система містить скрипт-файли, які реалізують заздалегідь запрограмовану поведінку зазначених у них приладів, описаний функціонал, час початку роботи скрипту та час закінчення роботи [95].

Скрипт файли можуть як описувати поведінку одного приладу так і групи (рис.4.1).

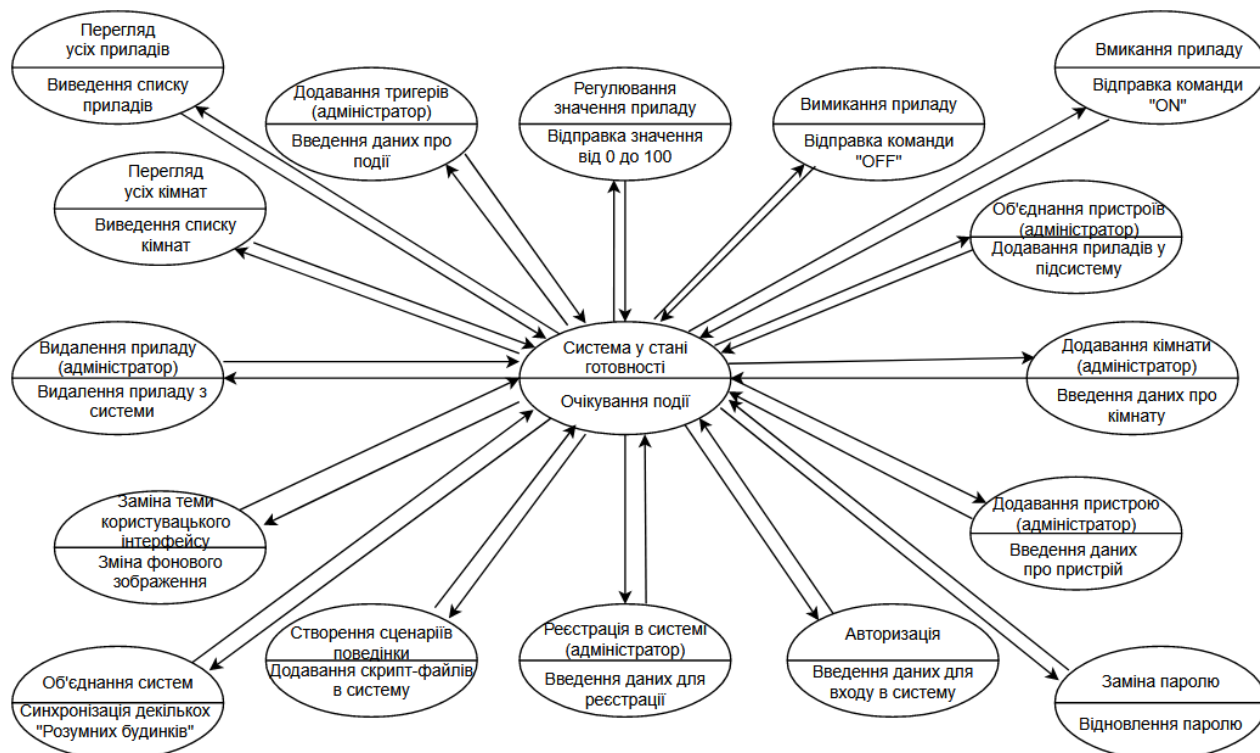


Рисунок 4.1 – Функціонал роботи ПЗ засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі

Після завантаження мобільний (ПК) додаток або сайт переходить в стан готовності, в якому він очікує виконання подій. При натисненні на клавішу 'Login' відправляється запит на сервер, та при успішному його виконанні, авторизований користувач, перенаправляється на головну сторінку системи. При натисненні на клавішу 'Lost Password' користувачу відкривається форма для внесення номера телефону на який прийде пароль користувача [96].

Головна сторінка складається з 2 частин, 1 містить список кімнат. При натисканні на окремий елемент списку, відбувається перехід на стор з об'єктами що знаходяться в данній кімнаті, які мають панель керування або відображення певної інформації. 2 – списку елементів окремої групи приладів, що знаходяться у всій системі, які також містять панель управління або інформаційну панель (наприклад. температура, вологість, рівень освітленості) [96] рисунок 4.2.

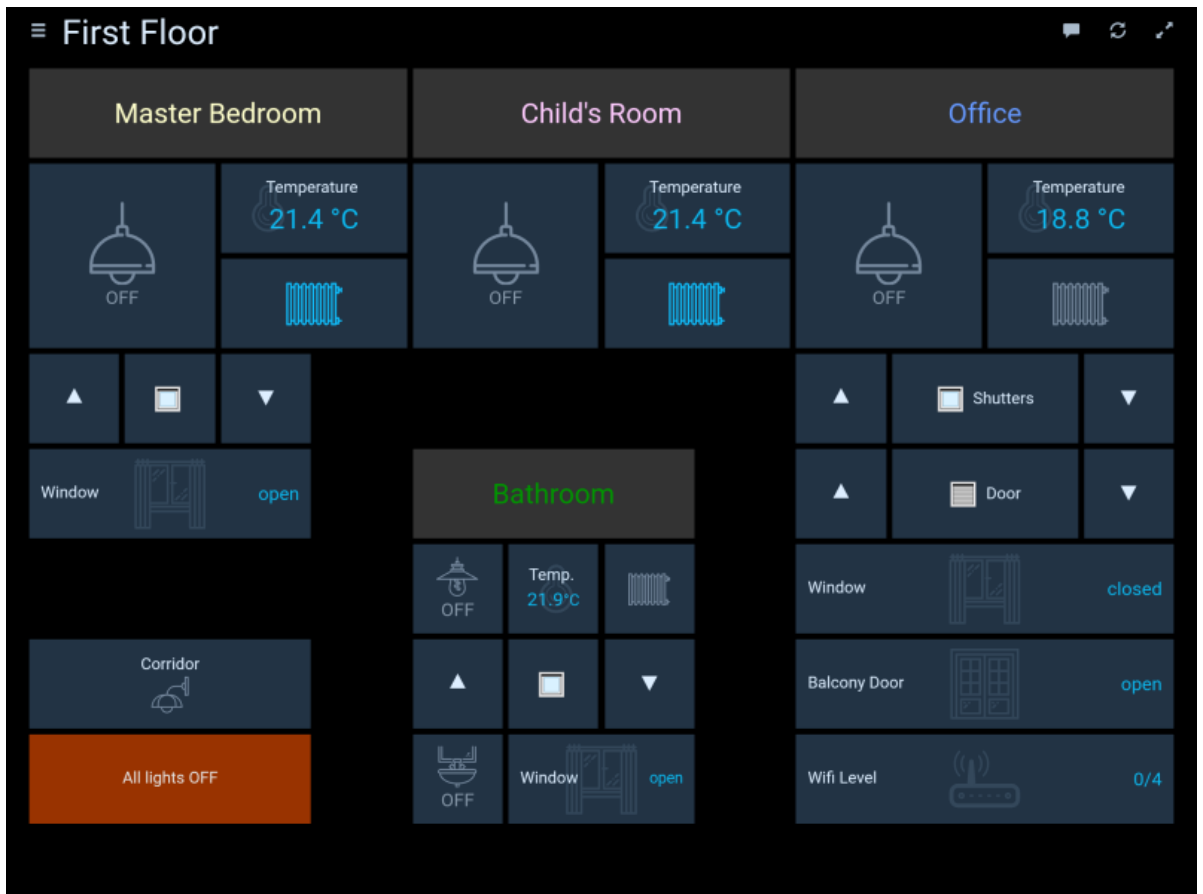


Рисунок 4.2 – Інформаційна панель управління системи «розумний будинок».

Основні сценарії використання авторизації для системи управління «розумний будинок»: перегляд демонстраційного режиму незареєстрованим користувачем. Головний актор: незареєстрований користувач.

Рівень взаємодії: незареєстрований користувач – Система [96]. Передумова: незареєстрований користувач зайшов на сайт.

Основний сценарій: користувач відкриває демо сторінку на певний вид системи «розумного будинку».

Помилки: демонстраційний режим в даний час недоступний.

Альтернативний сценарій: користувачу пропонується перезапустити веб сторінку ще раз (виводиться повідомлення з інформацією про помилку) [97].

Вхід в систему. Головний актор: Зареєстрований користувач. Рівень взаємодії: Зареєстрований користувач – Система [97]. Передумова: Користувач заходить на сайт. Основний сценарій:

1. Користувач відкриває сторінку для авторизації(рисунок4.3).
2. Авторизується за допомогою логіну та унікального паролю.
3. Входить в систему.

Помилки. Користувач ввів невірно логін або пароль. Альтернативний сценарій: користувачу надається можливість повторно ввести логін або пароль.

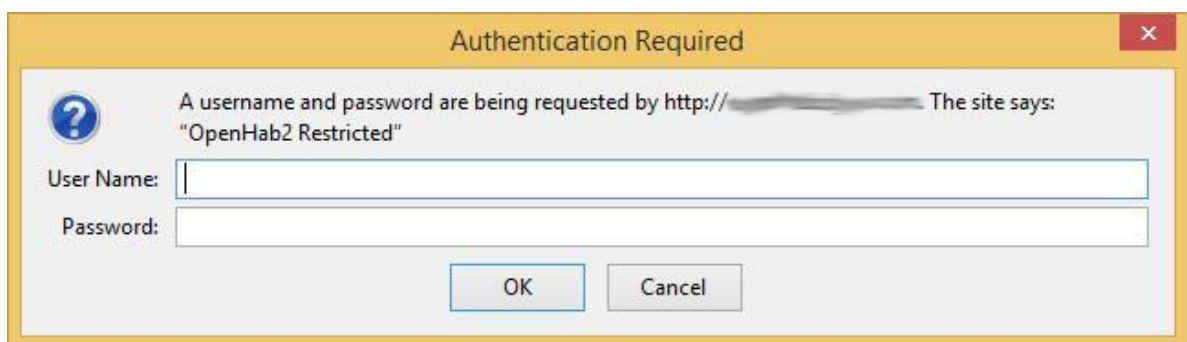


Рисунок 4.3 – Вікно авторизації в систему «Розумний будинок»

Модератор заходять в систему для редагування.

Головний актор: Модератор. Рівень взаємодії: Модератор – Система. Передумова: модератор отримує доступ до сервера користувача.

Основний сценарій:

- 1) сторінка де відбуваються зміни не блокується;
- 2) адміністратор заходять на сервер користувача;
- 3) міняють теми, додають або видаляють нові пристрої, корегують сторінку користувача;
- 4) підтверджують виконане;
- 5) модератор виходять з сервера;
- 6) система оновлює змінену сторінку.

Адміністратору надається можливість додавати і видаляти модераторів. Модератори працюють з серверами користувачів [94, 96].

Схема підключення контроле (рис. 4.4) описує платформу й обчислювальні засоби для роботи системи. Вона застосовується для подання загальної конфігурації й топології розподіленої програмної системи і містить розподіл компонентів по окремим вузлам системи, а також необхідного фізичного з'єднання – маршрути передачі інформації задіяними в реалізації системи [93].

Дана Схема підключення контролера містить у собі такі вузли: Raspberry 3, Arduino Mega, набір датчиків та вимикачів, модуль реле, прилади та ін.

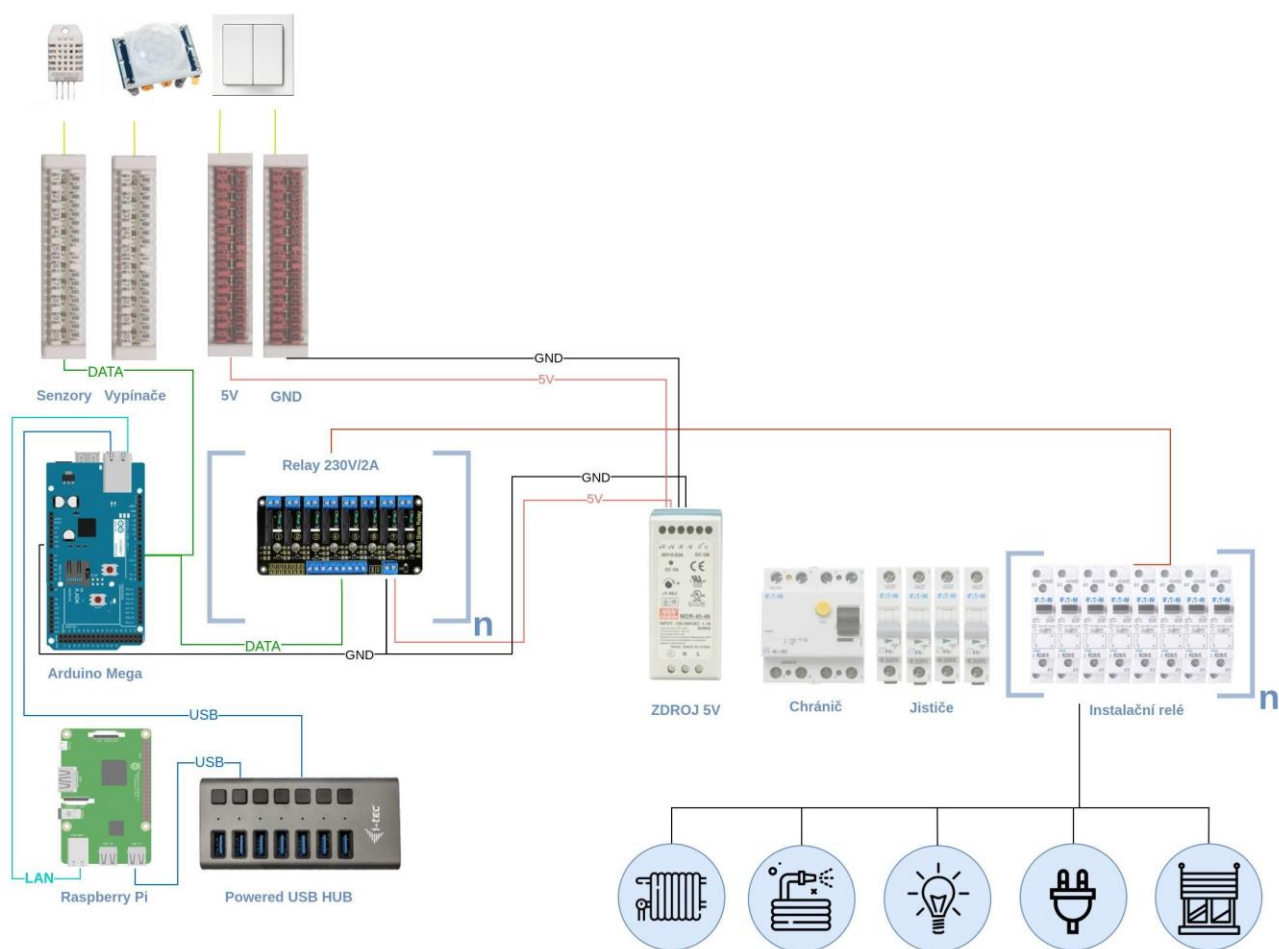


Рисунок 4.4 – Схема підключення контролера до датчиків та керування HVAC

Схема збору інформації сервером (рис. 4.5). Спочатку користувач авторизується. Після цього вибирає з чим він має працювати (група приладів чи група кімнат) [94]. Коли обрано з чим користувач має працювати, він обирає що саме він має змінювати.

Наприклад ввімкнути чи вимкнути певний прилад, змінити рівень від 0 до 100% об'єкта чи переглянути інформацію з сенсорів.

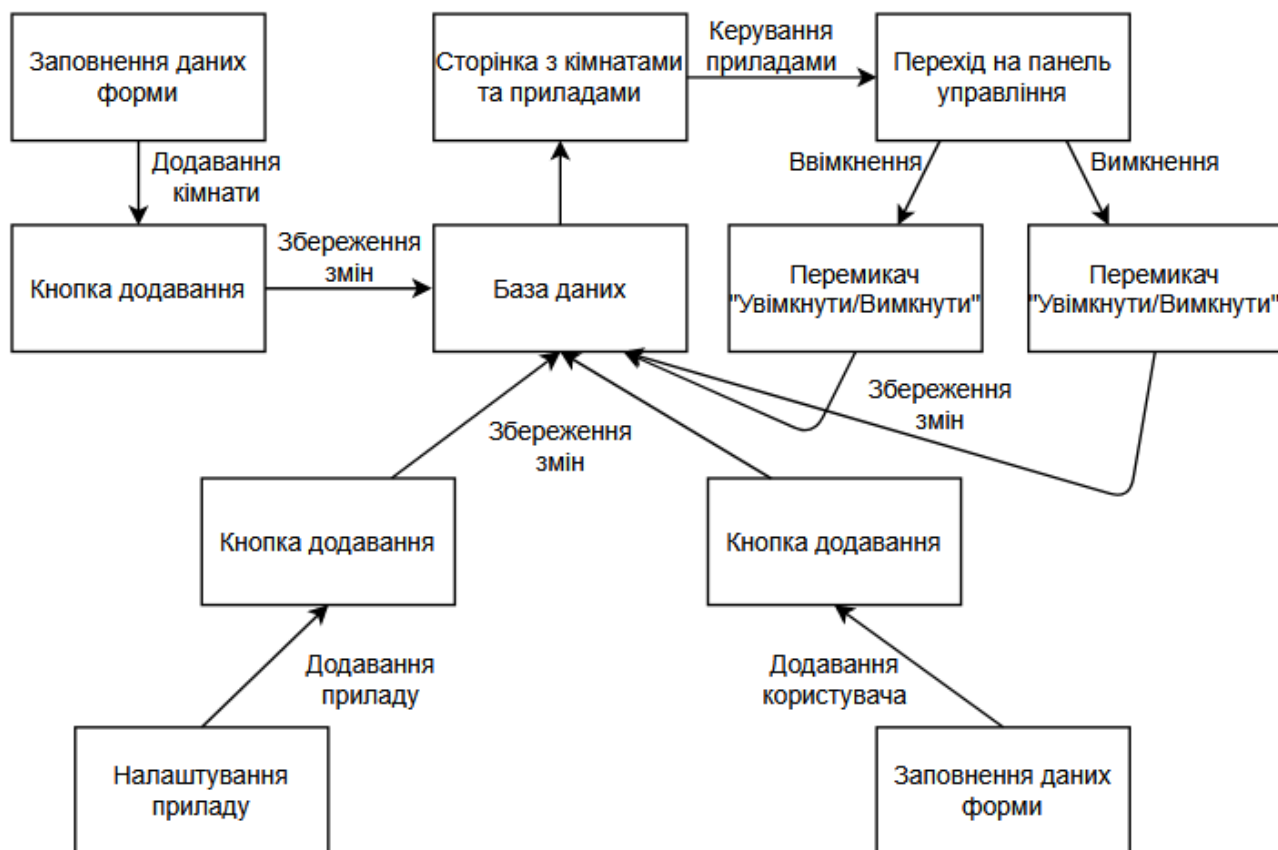


Рисунок 4.5 – Схема збору інформації сервером

Схема збору інформації сервером [93] (рис.4.6) розробляється для наступних цілей:

- візуалізації загальної структури вихідного коду програми програмної системи;
- специфікації варіанта виконуваної програмної системи;
- забезпечення багаторазового використання окремих фрагментів програмного коду;

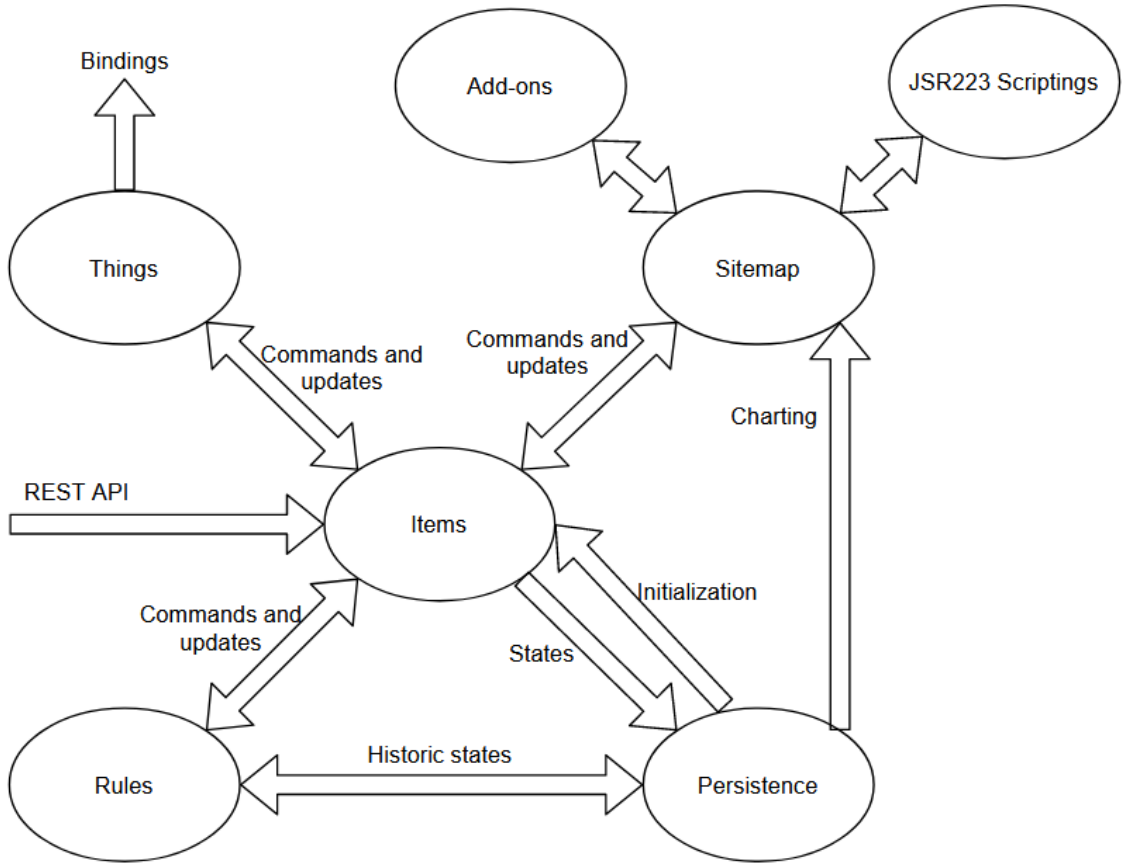
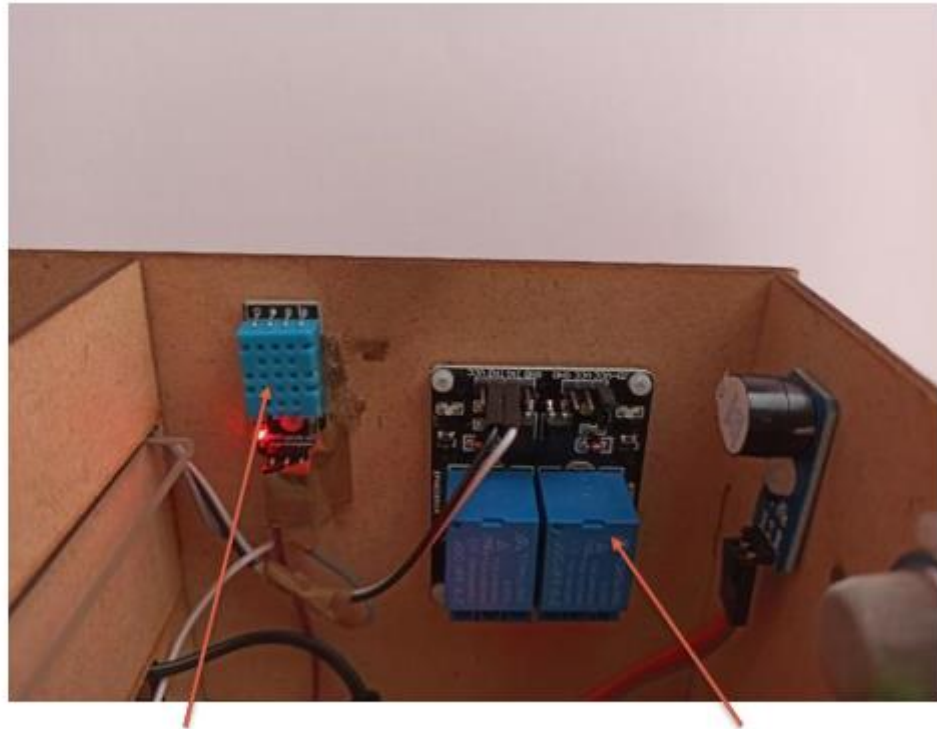


Рисунок 4.6. – Схема звязків компонентів в інтерфейсі системи керування будинком

### Набір давачів



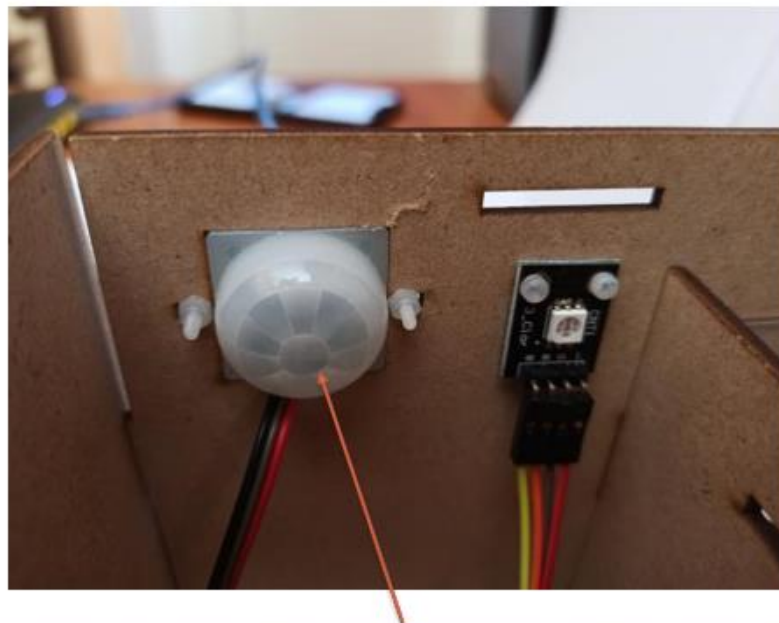
Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд розміщення давачів



Давач витоку води, температури та вологості повітря

Реле для керування електроприладами

Рисунок 4.8 – Сенсори та реле керування



Давач руху для автоматичного ввімкнення світла в приміщенні

Рисунок 4.9 – Давач руху

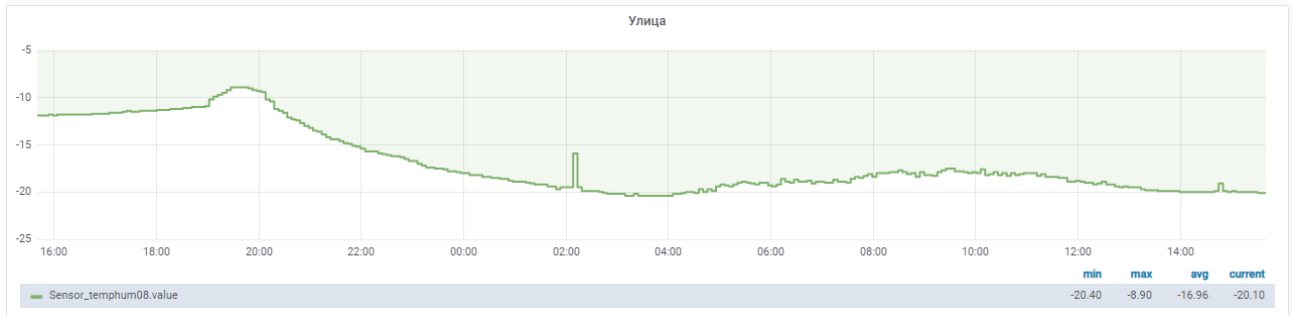


Рисунок 4.10 – Графік температури повітря



Рисунок 4.11 – Графік температури підлоги



Рисунок 4.12 – Графік споживання газу

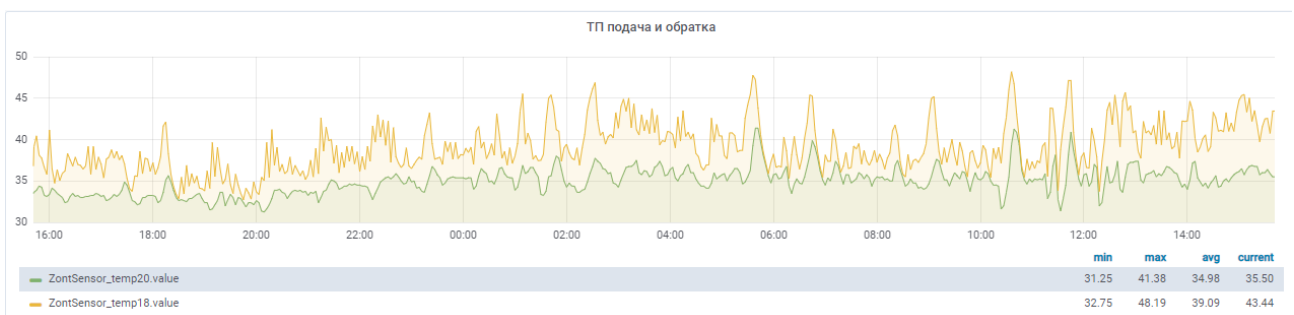


Рисунок 4.13 – Температура води в зворотньому контурі

#### 4.3 Інтерфейс програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Скріни-зображення реалізації проєкту “Розумний будинок”(рисунки 4.1–4-18). На рисунках ми бачимо інформаційні екрани для виведення користувачеві поточної ситуації в квартирі [95], будинку чи іншому приміщенні, де встановлена система «Розумний будинок»



Рисунок 4.14 – Графічний інтерфейс кеування системою

#### 4.4 Представлення результатів, що демонструють функціональність розробленого програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю

Для створення проєкту програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю були використані такі мови програмування, як PHP, на якій був написаний сервер та веб-інтерфейс, за допомогою javascript відбувається автоматичне виконання сценаріїв підвищення енергоефективності розумного будинку [96]. Для досягнення сумісність із усіма веб-браузерами була написана мовою розмітки HTML спрощена панель курування.

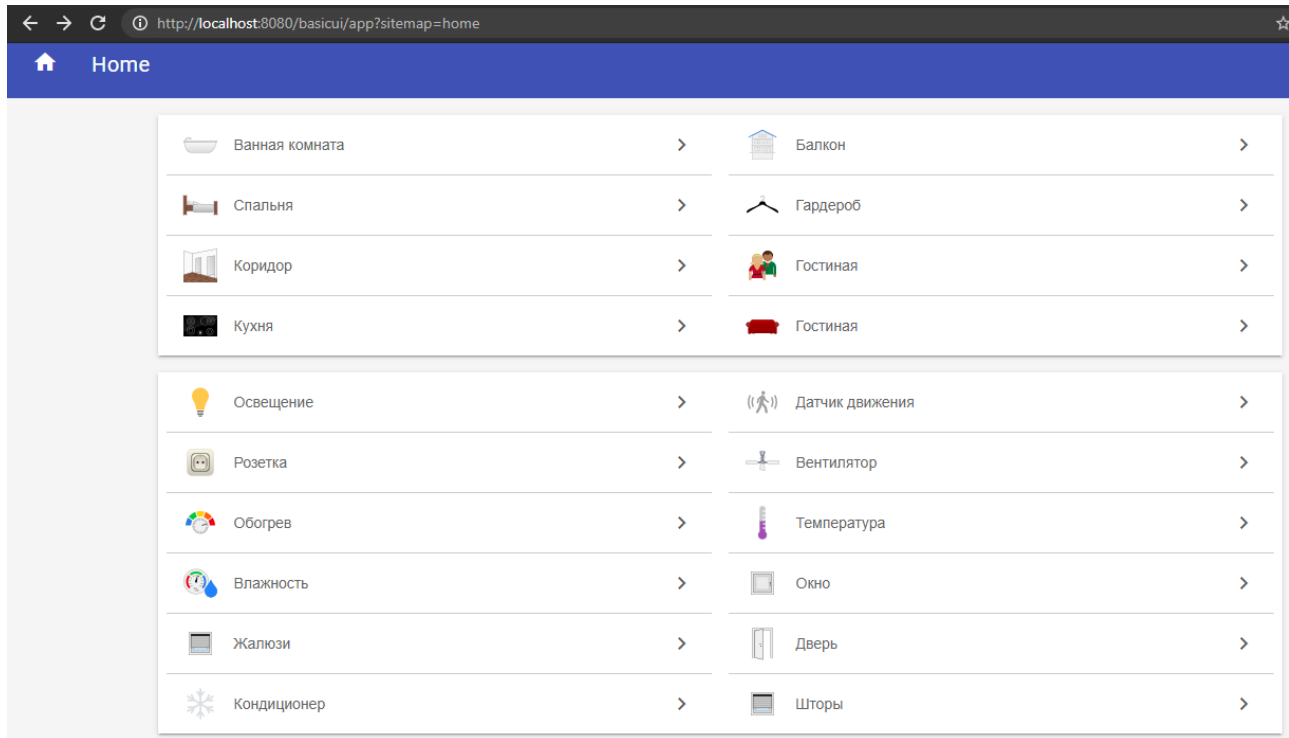


Рисунок 4.15 – Видяд головногo меню

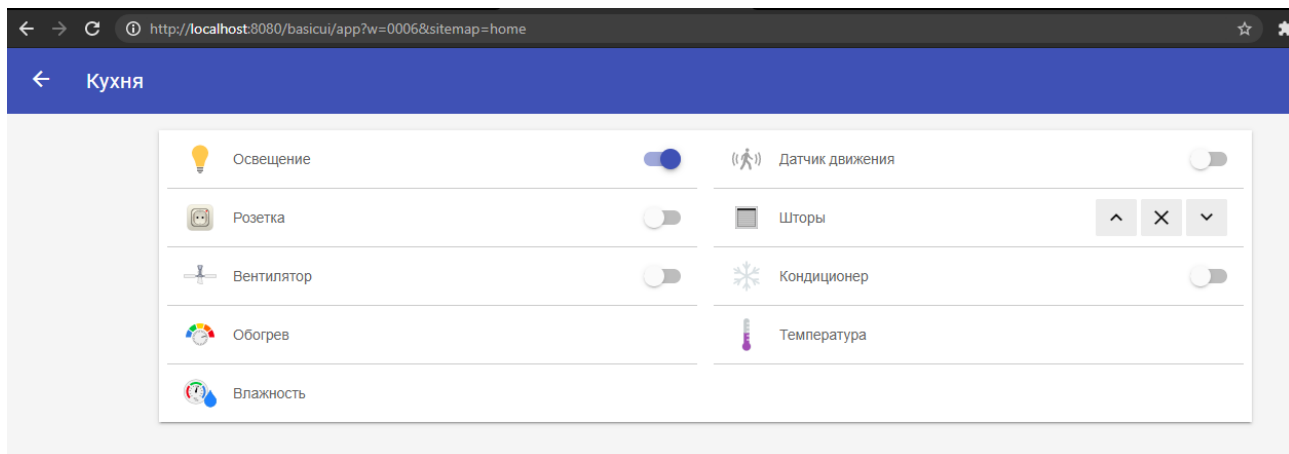


Рисунок 4.16 – Видяд групы давачів

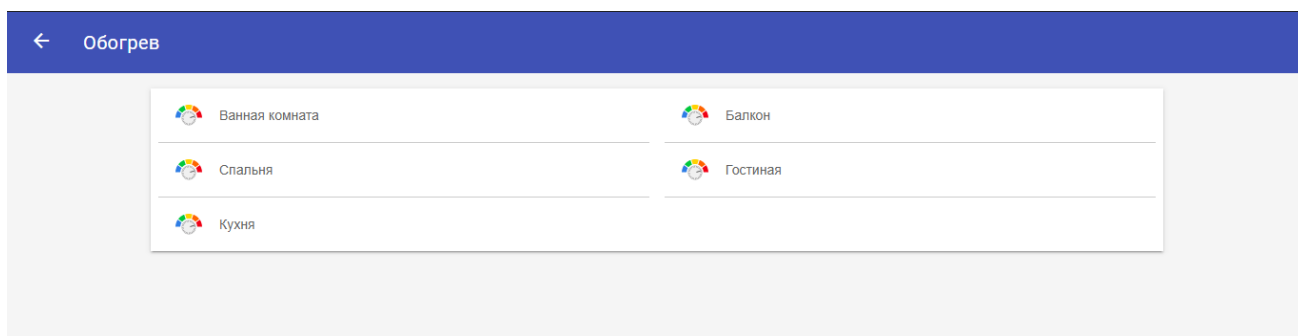


Рисунок 4.17 – Група обігріву

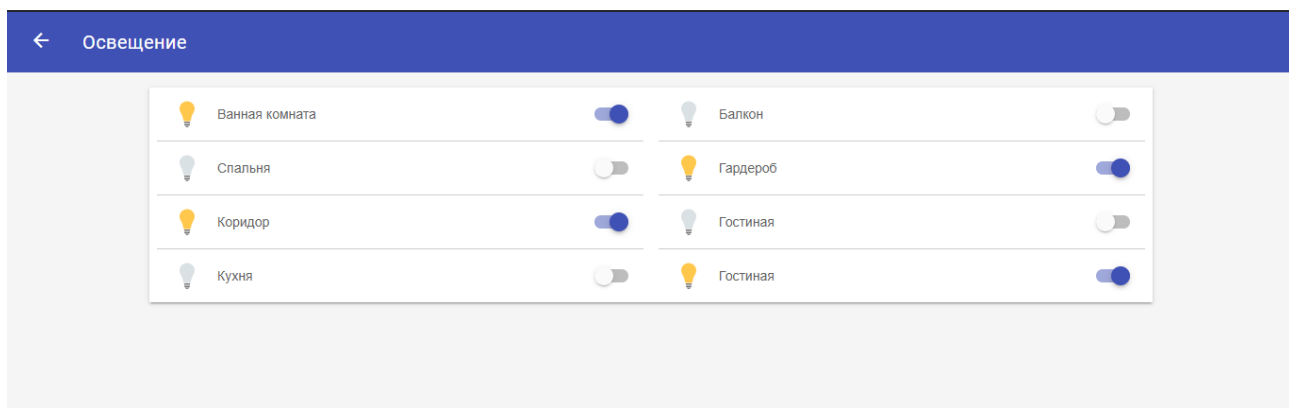


Рисунок 4.18 – Група перемикачів освітлення

Використовуючи програму розробки ArduinoIDE на C-подібній мові було написано вбудоване ПЗ для Arduino Mega, яка керує усіма пристроями та датчиками у системі. Використовуючи контролер Arduino під управлінням Raspberry Pi, було досягнуто найбільш можливої енергоефективності в кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Для передачі пакетів даних між Arduino та Raspberry Pi ми використали протокол MQTT [95, 96]. даний протокол легкий у використанні, може бути легко інтегровано у будь-яку систему управління, зручний для більшості рішень з датчиками при бездротовому підключенні до контролера, малі розміри пакетів даних надають позитивне досить низьке навантаження на канал передачі інформації, успішний обмін пакетами в умовах постійної втрати зв'язку[97].

#### 4.5 Висновки до четвертого розділу

У ході виконання проєкту «Розумний будинок» було реалізовано функціонуючу модель «Розумний будинок», оснащену системами авторизації (введення пароля, сканер RFID мітки, сканер відбитків пальців).

Використання сильного та гнучкого двигуна для створення правил, скриптів, дій, сповіщень та голосового керування (все це дає можливість власнику налаштувати “Розумний будинок” під його особисті потреби).

“Розумний будинок” дозволяє:

- 1) максимальна економія електроенергії;
- 2) захист та безпека (запобігання витоку газу);
- 3) свобода у використанні технології (дозволяє підключати велику кількість датчиків та розумних пристроїв різних виробників);
- 4) підвищення незалежності;
- 5) зручність (використання індивідуального графічного інтерфейсу, можливість голосового керування “Розумний будинок”).

А також, під час виконання проекту було набуто навички працювати з AVR мікроконтролерами, базовим засадам розробки пристроїв. Міні-комп’ютери та контролери є необхідними та дуже важливими елементами в сучасній електроніці, адже за їх допомогою можливе пришвидшення виконання поставлених задач та економія ресурсів виробництва. А їх універсальність дозволяє виконувати багато різноманітних задач з використанням мікроконтролерів.

## ВИСНОВКИ

Моніторинг, оцінка та зменшення енергоспоживання будівель завжди був важливим питанням для дослідників та практиків у галузі енергоменеджменту. Таким чином, інтелектуальне використання енергії в будівлях є останнім трендом у дослідженнях і є метою систем управління енергією та комфортом у будівлях. Враховуючи 71% загального використання енергії для опалення, охолодження та освітлення приміщень, ці системи є основними цілями для оптимізації споживання енергії, щоб мати більш реалістичну оцінку експлуатаційного споживання енергії будинків.

Основними енергоємними системами в будівлях є системи опалення, вентиляції та вентиляції та освітлення, на частку яких припадає 33% та 25% загального споживання енергії відповідно. У центрі уваги цієї кваліфікаційної роботи є житлові будівлі та офіси.

Основними енергоємними системами в будівлях є системи опалення, вентиляції та вентиляції та освітлення, на частку яких припадає 33% та 25% загального споживання енергії відповідно. У центрі уваги цієї кваліфікаційної роботи є житлові будівлі та офіси.

Актуальність роботи полягає в розробці методу та програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

Застосування стратегій розумного управління є одним із методів, що широко застосовуються для підвищення енергоефективності будівель. Такі вимоги, як покращення енергоспоживання будинку при збереженні або підвищенні комфорту, пов'язують стратегії управління з присутністю мешканців та їх взаємодією із будівельними системами. Отже, оцінка впливу стратегій управління, орієнтованих на населення, на системи будівель із високим споживанням енергії залежить від моделі поселення, яка походить від моделі використання простору, спричиненої поведінкою мешканців. Це показує прямий зв'язок між схемою заповнення простору та функцією будівельної системи.

У другому розділі досліджено, що через відсутність належного зв'язку між моделями заповнюваності (тобто моделями заповнюваності та вподобаннями) та BEMS, лише кілька досліджень могли досягти економії енергії на основі імовірнісної інформації мешканців. Усі параметри визначаються емпірично на основі попередньо визначеного набору заходів, і жодна особлива або непередбачувана діяльність не може бути охоплена. Таким чином, його не можна використовувати ні для прогнозування заселення для керування системами будівлі, ні в інших будівлях і тематичних дослідженнях. Крім того, складність моделі збільшується з розміром контрольованих приміщень, таких як офіси відкритого планування з багатьма мешканцями та видами діяльності.

Аналіз поведінки зайнятості (обробка даних), який складається з трьох фаз, проводиться з метою виявлення важливих особливостей зайнятості, таких як кількість присутніх мешканців, періоди відсутності та присутності та інші випадкові зміни в профілях мешканців. Для моделювання енергетичних показників будівлі використовуються типові метеорологічні дані погоди в місті. У Хмельницькому тепле і вологе літо та холодна зима. Приміщення має п'ять зон: північ, схід, центральну, південь та захід. У всіх зонах, за винятком центральної зони, стіна, що приєднується до зовнішньої частини, має співвідношення вікон-стін 0,4. Висота стель у всіх зонах дорівнює 2.7 метрам. Кожен вузол представляє область зі схожими параметрами навколишнього середовища (наприклад, температуру, освітлення та швидкість руху повітря), таку як окрема зона або один із шарів стін. Тепло передається між вузлами за допомогою конвекції, провідності або випромінювання.

Виправляючи поточні прогалини у дослідженні щодо ефективного та інтелектуального управління енергією будівель, у цій главі було обговорено огляд запропонованих рамок. Методологія, що складається з декількох модулів і фаз, охоплює розробку нової адаптивної імовірнісної моделі заповнення. Це робиться за допомогою техніки прогнозування.

Для досягнення цілей мінімізації споживання енергії в будівлі, а також годин дискомфорту мешканців, у третьому розділі розроблено алгоритм оптимізації детальну модель імітації енергії будинку. Застосовуючи місцевий контроль будівельних систем, змодельований простір слід розділити на декілька зон для призначення відповідної динамічної інформації про зайнятість кожної зони. У цьому дослідженні запропонована методологія включає два основні модулі: багатоцільовий модуль оптимізації на основі моделювання та модуль заповнення.

Незважаючи на те, що загальна ефективність моделі прогнозування була задовільною, вона, можливо, не фіксує змін у структурі заповнення, які можуть трапитися після періоду збору даних, особливо у випадку офісів відкритого планування з різною завантаженістю.

У ході виконання проекту, в четвертому розділі, «Розумний будинок» було реалізовано функціонуючу модель «Розумний будинок», оснащену системами авторизації (введення пароля, сканер RFID мітки, сканер відбитків пальців).

Використання сильного та гнучкого двигуна для створення правил, скриптів, дій, сповіщень та голосового керування (все це дає можливість власнику налаштувати «Розумний будинок» під його особисті потреби). А також, під час виконання проекту було набуто навички працювати з AVR мікроконтролерами, базовим засадам розробки пристроїв. Міні-комп'ютери та контролери є необхідними та дуже важливими елементами в сучасній електроніці, адже за їх допомогою можливе пришвидшення виконання поставлених задач та економія ресурсів виробництва. А їх універсальність дозволяє виконувати багато різноманітних задач з використанням мікроконтролерів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Langevin J., "Human behaviour and low energy architecture, linking environmental adaptation, personal comfort and energy use in the built environment," *PhD Thesis, Drexel University, Philadelphia, US, 2016.*
2. Wong J. Li H. Wang. S., "Intelligent building research: a review," *Automation in Construction*, c. 143–159, 2017.
3. Marler R. T. Arora J. S., "Survey of multi-objective optimization methods," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, c. 369–395, 2019.
4. Shaikh P. Nor N. Nallagownden P. Elamvazuthi I. Ibrahim T., "A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 409–429, 2016.
5. CIBSE, "CIBSE Guide F: Energy efficiency in buildings," *Chartered Institution of Building Services Engineers*, London, England, 2017.
6. DOE, "The national energy modeling system: An overview 2003," *Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department of Energy*, Washington, 2017.
7. McParland C., "Home network technologies and automating demand response," *Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-3093E*, Berkeley, CA, 2018.
8. Wigginton M. Harris J., *Intelligent skin, United Kingdom: Architectural Press*, 2020.
9. Fisk W. J. Black D. Brunner G., "Benefits and costs of improved IEQ in U.S. offices," *Indoor Air*, c. 357-67, 2017.
10. Jang W. Healy W. Skibniewski M., "Wireless sensor networks as part of a web-based building environmental monitoring system," *Automation in Construction*, c. 729–736, 20018.
11. Jazizadeh F. Ghahramani A. Becerik-Gerber B. Kichkaylo T. Orosz M., "Human-building interaction framework for personalized thermal comfort-driven systems in office buildings," *Journal of Computing in Civil Engineering*, c. 2-16, 2016.

12. Wyon D., "Indoor environmental effects on productivity, IAQ 96 Paths to better building environments/Keynote address," *ASHRAE Journal*, c. 1-15, 2018.
13. Kosonen R. Tan F., "Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index," *Energy and Buildings*, c. 987–993, 2016.
14. Wargocki, P. Wyon, D.P. Sundell, J. Clausen, G. Fanger, P.O., "The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity," *Indoor Air*, c. 222–236, 2020.
15. Lan L. Lian Z., "Use of neurobehavioral tests to evaluate the effects of indoor environment quality on productivity," *Building and Environment*, c. 2208–2217, 2019.
16. Fanger P. O. Langkilde G., "Interindividual differences in ambient temperatures preferred by seated persons," *ASHRAE Transactions*, c. 140-147, 2015.
17. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, "Thermal environmental conditions for human occupancy," *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer*, Atlanta, Georgia, 2016.
18. Berglund L., "Comfort and humidity," *ASHRAE Journal*, August 2018.
19. Fanger P. O., *Thermal comfort - analysis and applications*, Copenhagen, Denmark: *Danish Technical Press*, 2020.
20. ISO 7730, "Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria," *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, 2015.
21. Yao R. Li B., "A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)," *Building and Environment*, c. 2089–2096, 2019.
22. ANSI/ASHRAE Standard 55-2014, "Thermal environmental conditions for human occupancy," *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Atlanta, Georgia, 2014.
23. Fanger P. O., "What is IAQ?," *Indoor Air*, c. 328–334, 2016.
24. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016, "Ventilation for acceptable indoor air quality," *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*, Atlanta, Georgia, 2016.

25. Awbi H., *Ventilation of buildings*, London, UK: Taylor & Francis, 2003.
- Light & Lighting Standard 12665E, *Light and lighting - Basic terms and criteria for specifying lighting requirements*, *European Committee for Standardization*, 2020.
26. Veitch J., "Psychological processes influencing lighting quality," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 30, no. 1, c. 124-140, 2021.
27. Parsons K., *Human thermal environment*, London, UK: Taylor & Francis, 2016.
28. Seppanen O. Fisk W. J., "Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health," *HVAC&R Research*, vol. 12, no. 4, c. 957-973, 2016.
29. Jensen K. Toftum J., "A Bayesian network approach to the evaluation of building design and its consequences for employee performance and operational costs," *Building and Environment*, vol. 44, no. 3, c. 456–462, 2018.
30. Lan L. Wargocki P. Lian Z., "Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 5, c. 1057–1062, 2020.
31. Seppanen O. Fisk W. J. Lei Q.H., "Ventilation and performance in office work," *Indoor Air*, vol. 16, no. 1, c. 28-36, 2006.
32. Pal A. Mudi R., "Self-tuning fuzzy PI controller and its application to HVAC systems," *International Journal of Computational Cognition*, vol. 6, no. 1, c. 25-30, 2018.
33. Castilla M. Rodríguez F. Álvarez J. Berenguel M., *Comfort control in buildings*, Berlin, *Germany: Springer*, 2017.
34. Lute P. van Paassen D., "Optimal indoor temperature control using a predictor," *IEEE Control Systems*, vol. 15, no. 4, c. 4 - 10, 2019.
35. Chen T., "Real-time predictive supervisory operation of building thermal systems with thermal mass," *Energy and Buildings*, vol. 33, no. 2, c. 141–150, 2020.
36. Davidsson P. Boman M., "Distributed monitoring and control of office buildings by embedded agents," *Information Sciences*, vol. 171, no. 4, c. 293–307, 2015.
37. Zaheer-uddin M. Zheng G., "Optimal control of time-scheduled heating, ventilating and air conditioning processes in buildings," *Energy Conversion & Management*, vol. 41, no. 1, c. 49–60, 2020.

38. Doukas H. Patlitzianas K. Iatropoulos K. Psarras J., "Intelligent building energy management system using rule sets," *Building and Environment*, vol. 42, no. 10, c. 3562–3569, 2017.
39. Zadeh L., "Fuzzy sets," *Information & Control*, vol. 8, no. 3, c. 338-353, 2017.
40. Zadeh L., "Fuzzy algorithms," *Information & Control*, vol. 12, c. 94-102, 2018.
41. Eftekhari M. Marjanovicb L. Angelov P., "Design and performance of a rule-based controller in a naturally ventilated room," *Computers in Industry*, vol. 51, no. 3, c. 299–326, 2016.
42. Guillemin A. Morel N., "An innovative lighting controller integrated in a self-adaptive building control system," *Energy and Buildings*, vol. 33, no. 5, c. 477–487, 2021.
43. Dounis A. Manolakis D., "Design of a fuzzy system for living space thermal-comfort regulation," *Applied Energy*, vol. 69, no. 2, c. 119–144, 2017.
44. Caudill M. Butler C., *Naturally intelligent systems*, Cambridge, MA: MIT Press, 2015.
45. Liu W. Lian Z. Zhao B., "A neural network evaluation model for individual thermal comfort," *Energy and Buildings*, vol. 39, no. 10, c. 1115–1122, 2017.
46. Liang J. Du R., "Thermal comfort control based on Neural Network for HVAC applications," in *Proceedings of the IEEE Conference on Control Applications*, Toronto, Canada, 2015.
47. Nassif N. Kaji S. Sabourin R., "Ventilation control strategy using the supply CO<sub>2</sub>concentration set point," *HVAC&R Research*, vol. 11, no. 2, c. 239-262, 2015.
48. Kolokotsa D. Stavrakakis G. Kalaitzakis K. Agoris D., "Genetic algorithms optimized fuzzy controller for the indoor environmental management in buildings implemented using PLC and local operating networks," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 15, no. 5, c. 417–428, 2020.
49. Alcalá R. Casillas J. Cordon O. Gonzalez A. Herrera F., "A genetic rule weighting and selection process for fuzzy control of heating, ventilating and air

conditioning systems," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 18, no. 3, с. 279–296, 20015.

50. Macal C. North M., "Tutorial on agent-based modelling and simulation," *Journal of Simulation*, vol. 4, no. 3, с. 151–162, 2018.

51. Joumaa H. Ploix S. Abras S. De Oliveira G., "A MAS integrated into home automation system, for the resolution of power management problem in Розумний будинок," *Energy Procedia*, vol. 6, с. 786-794, 2015.

52. Hagraas H. Callaghan V. Colley M. Clarke G., "A hierarchical fuzzy–genetic multi-agent architecture for intelligent buildings online learning, adaptation and control," *Information Sciences*, vol. 150, no. 1-2, с. 33-57, 2017.

53. Wilde D. Beightler C., *Foundations of optimization*, United States: Prentice-Hall, 2017.

54. Yang R. Wang L., "Multi-objective optimization for decision-making of energy and comfort management in building automation and control," *Sustainable Cities and Society*, vol. 2, no. 1, с. 1-7, 2018.

55. Wang Z. Yang R. Wang L., "*Multi-agent control system with intelligent optimization for smart and energy-efficient buildings*," IEEE, с. 1144–1149, 2020.

56. Dai C. Lan L., "Method for the determination of optimal work environment in office buildings considering energy consumption and human performance," *Energy and Buildings*, vol. 76, no. June 2014, с. 278–283, 2017.

57. buildingSMART. (2018). *Technical Vision*. Retrieved from *buildingSMART International home of openBIM*:

58. <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>

59. CapotaLand. (2017). The future of urban living. (CapitaLand) Retrieved from <https://www.capitaland.com/sg/en.html?id=11>

60. Delgarm, N., Sajadi, B., Azarbad, K., & Delgarm, S. (2018). Sensitivity analysis of building energy performance: A simulation-based approach using OFAT and variance-based sensitivity analysis methods. *Journal of Building Engineering* , 15, 181-193.

61. Deng, Z., & Chen, Q. (2019). Simulating the Impact of Occupant Behavior on Energy Use of HVAC Systems by Implementing a Behavioral Artificial Neural Network Model. *Energy and Buildings*, 198, 216-227.
62. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016, "Ventilation for acceptable indoor air quality," American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, 2017.
63. Honeywell, "Wi-Fi Thermostats | Honeywell," *Yourhome.honeywell.com*, 2019.
64. Emerson, "Emerson Thermostats White-Rodgers Thermostats," *Emersonclimate.com*, 2017.
65. Carrier, "Thermostats | Carrier - Home Comfort," *Carrier Home Comfort*, 2018.
66. ecobee, "ecobee3 | Smart WiFi Thermostats by ecobee," *Ecobee.com*, 2019.
67. Nest, "Meet the Nest Learning Thermostat," Nest, 2017.
68. ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2016, "Energy standard for buildings except low-rise residential buildings," *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Atlanta, Georgia, 2016.
69. "The Asana Blog - The official blog for Asana news, tips, and updates," *The Asana Blog*, 2016.
70. "Task Management Software | Producteev by Jive," *Producteev.com*, 2018.
71. "Atlassian | Software Development and Collaboration Tools," *Atlassian*, 2018.
72. Mofidi F. Akbari H., "Integrated optimization of energy costs and occupants' productivity in commercial buildings," *Energy and Buildings*, vol. 129, 1 October, c. 247-260, 2016.
73. Mofidi F. Akbari H., "Personalized energy costs and productivity optimization in offices," *Energy and Buildings*, vol. 143, 15 May, c. 173-190, 2017.
74. Pajankar A. *Raspberry Pi Supercomputing and Scientific Programming / Ashwin Pajankar*. – Munich: Apress, 2017. – 234 с.
75. Is IoT Security a Ticking Time Bomb [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://securityintelligence.com/is-iot-security-a-tickingbomb/>.

76. An Overview of Home Automation Systems [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7791223/>.
77. Granzer W. P. Security in Building Automation Systems / Wolfgang Praus Granzer. – Munich: Appress, 2018. – 578 с.
78. Nazarko S. Raspberry Pi Media Center / Sam Nazarko. – London: Appress, 2018. – 108 с.
79. Honeywell, "Wi-Fi Thermostats | Honeywell," Yourhome.honeywell.com, 2016. с. Available: <http://yourhome.honeywell.com/en/Products/Wi-Fi-Thermostats>.
80. Emerson, "Emerson Thermostats White-Rodgers Thermostats," Emersonclimate.com, 2016. Available: <http://www.emersonclimate.com/enus/products/thermostats/pages/thermostats.aspx>.
81. Carrier, "Thermostats | Carrier - Home Comfort," Carrier Home Comfort, 2016. с. Available: <http://www.carrier.com/residential/en/us/products/thermostats/>.
82. ecobee, "ecobee3 | Smart WiFi Thermostats by ecobee," Ecobee.com, 2016. с. Available: <https://www.ecobee.com/ecobee3/>.
83. Nest, "Meet the Nest Learning Thermostat," Nest, 2016. Available: <https://nest.com/ca/thermostat/meet-nest-thermostat/>.
84. ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2016, "Energy standard for buildings except low-rise residential buildings," *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia*, 2016.
85. Mofidi F. Akbari H., "Integrated optimization of energy costs and occupants' productivity in commercial buildings," *Energy and Buildings*, vol. 129, 1 October, p. 247-260, 2016.
86. Mofidi F. Akbari H., "Personalized energy costs and productivity optimization in offices," *Energy and Buildings*, vol. 143, 15 May, p. 173-190, 2017
87. "Atlassian | Software Development and Collaboration Tools," Atlassian, 2016. [Online]. Available: <https://www.atlassian.com/>. [Accessed 24 November 2016].
88. "The Asana Blog - The official blog for Asana news, tips, and updates," *The Asana Blog*, 2016. Available: <https://blog.asana.com/>. [Accessed 24 November 2016].

89. "Task Management Software | Producteev by Jive," Producteev.com, 2016. Available: <https://www.producteev.com/>.
90. Embracing the Internet of Things in the new era of cognitive buildings. *United States of America: IBM Corporation*, 2016.
91. Energy and environment. (IBM) Retrieved from [https://www.ibm.com/ibm/green/smarter\\_buildings.html](https://www.ibm.com/ibm/green/smarter_buildings.html), 2017
92. International Energy Agency. Energy in buildings and communities program. Retrieved from <http://www.annex66.org/> , 2017
93. *Integrated Environmental Solutions*. Retrieved from <https://www.iesve.com/>, 2019.
94. Kuo, T. C., Chan, Y. C., & Chen, A. Y. (2017). An Occupant-Centered Integrated Lighting and Shading Control for Energy Saving and Individual Preferences. *In Computing in Civil Engineering 2017* (pp. 207-214). Seattle, USA: IWCCE.
95. Labeodan, T., Aduda, K., Zeiler, W., & Hoving, F. (2016). Experimental evaluation of the performance of chair sensors in an office space for occupancy detection and occupancy-driven control. *Energy and Buildings*, 111, 195-206
96. Lim, G. H., Keumala, N., & Ghafar, N. A. (2017). Energy saving potential and visual comfort of task light usage for offices in Malaysia. *Energy and Buildings*, 147, 166-175.
97. Liu, Z. (2017). Simulation of Local Climate Control in Shared Offices Based on Occupants Locations and Preferences. Montreal: *Master Thesis, Concordia University*

**ДОДАТОК А**  
(обов'язковий)

**Фахові публікації**

*Актуальні проблеми комп'ютерних наук*

---

УДК 004.4

Боднарівський В. О., Яцків В. В.

*Хмельницький національний університет*

**ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»**

*Розглянуто підходи до розробки сучасної системи управління будівництвом, що дозволяє підвищити енергоефективність за рахунок скорочення споживання електроенергії та інших ресурсів. Результати дослідження можуть бути реалізовані для подальшого аналізу та оптимізації управління системами енергозбереження. Визначено фактори, що впливають на загальне споживання енергії в будівлі.*

*The approaches for the development of modern building management system are considered, that allows increasing energy efficiency due to reduction of the electricity and other resources consumption. The results of investigation can be implemented for further analysis and optimization of management of energy conservation systems. The factors of the total energy consumption in the building are defined.*

В сучасних умовах з розвитком нових технологій у сфері управління будинками з'являється все більше нових ланок для удосконалення. Тому той факт, що значну частку світового споживання енергії включають будівлі, вимагає детальних досліджень для досягнення більш ефективних енергетичних показників. Отже, моніторинг, оцінка та зменшення енергоспоживання будівель завжди є важливим питанням для дослідників та практиків у галузі енергоменеджменту.

Таким чином, інтелектуальне використання енергії в будівлях є останнім трендом у дослідженнях і є метою систем управління енергією та комфортом у будівлях. Враховуючи 71% загального використання енергії для опалення, охолодження та освітлення приміщень, ці системи є основними цілями для оптимізації споживання енергії, щоб мати більш реалістичну оцінку експлуатаційного споживання енергії будинків.

Фактори, що впливають на загальне споживання енергії в будівлі, можна розділити на сім категорій [1, 2]:

- 1) клімат (наприклад, температура зовнішнього повітря, сонячна радіація, швидкість вітру тощо);
- 2) характеристики, пов'язані з будівлею (наприклад, тип, площа, орієнтація тощо);

- 3) характеристики, пов'язані з користувачами, за винятком соціальних та економічних факторів (наприклад, присутність користувачів тощо);
- 4) системи та експлуатація будівельних послуг (наприклад, охолодження / опалення приміщень, гаряче водопостачання тощо);
- 5) формування поведінки та діяльності мешканців;
- 6) соціальні та економічні фактори (наприклад, рівень освіти, енергетичні витрати тощо);
- 7) необхідна якість навколишнього середовища в приміщенні.

Серед цих факторів дві останні категорії представляють вплив мешканців, які впливають на будівництво. Споживання енергії є непрямим фактором, і його вплив розглядається при дослідженні п'ятої категорії.

Взаємодія мешканців включає встановлення теплових, акустичних та візуальних критеріїв комфорту в приміщенні, відкривання / закриття вікон, увімкнення / вимкнення світла, увімкнення / вимкнення офісного обладнання та ввімкнення / вимкнення системи кондиціонування та вентиляції. Таким чином, уподобання та діяльність мешканців будівель можуть мати значний позитивний чи негативний вплив на економію енергії. Ці ефекти спричиняють великі відмінності у споживанні енергії будинку навіть між подібними будівлями з однаковими характеристиками та розташованими в подібних місцях.

Основними енергоємними системами в будівлях є системи опалення, вентиляції та освітлення, на частку яких припадає 33% та 25% загального споживання енергії відповідно.

В результаті неправильного використання побутової техніки та будинкових систем мешканці багатьох будівель насправді витрачають більше енергії, ніж їм потрібно. Комп'ютери залишаються увімкненими, коли живлення вимкнено режим збереження протягом дня, навіть коли мешканці залишають свої приміщення, часто залишають світло включеним, або освітлюють певні зони квартири, які не використовуються. Системи HVAC (Heating, Ventilation, & Air Conditioning) відхиляються від своїх ідеальних налаштувань для ефективної роботи, щоб задовольнити уподобання мешканців, і встановлюються на основі пікового навантаження незалежно від фактичного використання приміщень.

Таким чином, уподобання мешканців мають важливий вплив на енергоспоживання будівель, що слід розглядати якомога ретельніше, коли мова йде про моделі енергоспоживання будівель.

Застосування стратегій розумного управління є одним із методів, що широко застосовуються для підвищення енергоефективності будівель. Такі вимоги, як покращення енергоспоживання будинку при збереженні або підвищенні комфорту, пов'язують стратегії управління з присутністю мешканців та їх

взаємодією із будівельними системами. Отже, оцінка впливу стратегій управління, орієнтованих на населення, на системи будівель із високим споживанням енергії залежить від моделі поселення, яка походить від моделі використання простору, спричиненої поведінкою мешканців. Це показує прямий зв'язок між схемою заповнення простору та функцією будівельної системи.

Використання приміщення, освітлення та іншого обладнання є основними факторами, що сприяють збільшенню внутрішнього тепла, особливо у великих комерційних будівлях. Однак невизначений об'єм тепла у випадковому середовищі існування може призвести до переохолодження або перегріву простору під час роботи системи HVAC.

Отже, найкраща стратегія управління для цих систем повинна базуватися на демографічній інформації, щоб задовольнити як потреби мешканців, так і енергоефективність будівель.

Виходячи з вищезазначеного, дослідження енергоефективності будівель на основі поведінки мешканців включає такі пункти [1]:

- 1) відповідний тип системи виявлення та спостереження, включаючи нові технології, такі як Інтернет речей (IoT);
- 2) методи моделювання використання приміщень для отримання детермінованих або ймовірнісних профілів використання;
- 3) моделювання підсистеми інформаційної технології управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»;
- 4) оптимізація, щоб підвищити рівень комфорту мешканців, мінімізуючи споживання енергії;
- 5) стратегії керування системами HVAC та електричними приладами.

Однак більшість систем виявлення зайнятості не можуть визначити кількість мешканців та конкретне місцезнаходження кожного мешканця, коли він знаходиться у багатоквартирному будинку.

Більшість наукових робіт [3, 4], що розглядають спільні багатоквартирні будинки, не враховують вподобання та вимоги до рівня комфорту різних користувачів. Тому необхідно застосовувати відповідні методи локалізації, щоб розрізнити різних мешканців квартир та офісів, які використовують багато людей, і застосувати їхні уподобання. Потім, використовуючи різні статистичні та стохастичні методи або методи машинного навчання, застосовуються процедури після обробки для очищення вихідних даних та моделювання моделі сукупності.

Програмне забезпечення для енергетичного моделювання вимагає параметрів будівлі та інформації про зайнятість як вхідні дані для моделювання енергетичних показників будівлі.

З метою підвищення ефективності енергетичного моделювання слід вивчити джерело помилок у вхідних даних. Час збору даних та рівень роздільної здатності, що використовується для аналізу зібраних даних, є двома ключовими факторами для розробки точної моделі прогнозування сукупності.

З точки зору оптимізації необхідно провести дослідження, які використовують алгоритми оптимізації для підвищення ефективності методів енергозбереження.

Отже, запропонована кіберфізична система управління енергією будинків для збільшення енергоефективності дає точну інформацію і швидку дію для забезпечення різних ресурсів без фізичної присутності людини в приміщенні. Подальші дослідження спрямовані на підвищення ефективності методів енергозбереження та енергетичного моделювання, що краще забезпечить як потреби користувачів, так і енергоефективність будівель.

#### **Перелік посилань**

1. buildingSMART. (2018). Technical Vision. Retrieved from buildingSMART International home of openBIM:
2. <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>
3. CapotaLand. (2017). The future of urban living. (CapitalLand) Retrieved from <https://www.capitaland.com/sg/en.html?id=11>
4. Delgarm, N., Sajadi, B., Azarbad, K., & Delgarm, S. (2018). Sensitivity analysis of building energy performance: A simulation-based approach using OFAT and variance-based sensitivity analysis methods. *Journal of Building Engineering*, 15, 181-193.
5. Deng, Z., & Chen, Q. (2019). Simulating the Impact of Occupant Behavior on Energy Use of HVAC Systems by Implementing a Behavioral Artificial Neural Network Model. *Energy and Buildings*, 198, 216-227.

**ДОДАТОК Б**  
(обов'язковий)  
**ПРЕЗЕНТАЦІЯ**

ДИПЛОМНА РОБОТА

**Метод та програмно-апаратний засіб  
управління енергоефективністю в  
кіберфізичній системі “Розумний будинок”**

Виконав роботу студент КІ2м-20-1  
Боднарівський Володимир Олегович  
Науковий керівник, д.т.н., професор  
Яцків Василь Васильович

Метою кваліфікаційної роботи є покращення якості життя містян, підвищення екологічних стандартів, покращення умов життя людей з особливими потребами.

Об'єктом дослідження є процеси управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Предметом дослідження є методи та алгоритми управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

## НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Отримав подальший розвиток метод, який забезпечує можливість визначення кількості осіб в приміщенні та допомагає контролювати рівень кисню;
2. Удосконалено метод визначення вподобань користувача, що дозволило досягти більш ефективного використання енергоносіїв.

## АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Актуальність роботи полягає в розробці методу та програмно-апаратного засобу управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «розумний будинок».

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Більшість наукових робіт, що розглядають спільні багатоквартирні будинки, не враховують вподобання та вимоги до рівня комфорту різних користувачів. Тому необхідно застосовувати відповідні методи локалізації, щоб розрізнити різних мешканців квартир та офісів, які займають багато людей, і застосувати їхні уподобання.

З точки зору оптимізації було проведено обмежені дослідження, які використовують алгоритми оптимізації для підвищення ефективності методів енергозбереження.

## РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНОЇ РОБОТИ

У ході виконання проєкту «Smart Home» було реалізовано діючу модель «Smart Home», оснащену системами авторизації (введення пароля, сканер RFID мітки, сканер відбитків пальців).

Використання сильного та гнучкого двигуна для створення правил, скриптів, дій, сповіщень та голосового керування (все це дає можливість власнику налаштувати «Smart home» під його особисті потреби).





## ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Практична значимість отриманих результатів полягає збільшення енергоефективності приміщень, квартир, будинків, а також приміщень державного значення, що допоможе в результаті заощадити кошти та ефективно використовувати енергію.

## ВИСНОВКИ

- Враховуючи 71% загального використання енергії для опалення, охолодження та освітлення приміщень, ці системи є основними цілями для оптимізації споживання енергії, щоб мати більш реалістичну оцінку експлуатаційного споживання енергії будинків.
- Застосування стратегій розумного управління є одним із методів, що широко застосовуються для підвищення енергоефективності будівель
- Усі параметри визначаються емпірично на основі попередньо визначеного набору заходів, і жодна особлива або непередбачувана діяльність не може бути охоплена. Таким чином, його не можна використовувати ні для прогнозування заселення для керування системами будівлі, ні в інших будівлях і тематичних дослідженнях
- Аналіз поведінки зайнятості (обробка даних), який складається з трьох фаз, проводиться з метою виявлення важливих особливостей зайнятості, таких як кількість присутніх мешканців, періоди відсутності та присутності та інші випадкові зміни в профілях мешканців.
- У ході виконання проєкту, в четвертому розділі, «Smart Home» було реалізовано функціонуючу модель «Smart Home», оснащену системами авторизації (введення пароля, сканер RFID мітки, сканер відбитків пальців).

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

**ДОДАТОК В**  
(обов'язковий)

**ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТОКОЛУ ДЛЯ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНТРОЛЕРА В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ  
«РОЗУМНИЙ БУДИНОК»**

```
#include <Wire.h>
#include <SimpleTimer.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <RFID.h>
#include <DHT.h>

//server
//#include <YunClient.h>
//#include <PubSubClient.h>
//#include <Bridge.h>
//#define MQTT_SERVER "192.168.137.117"
//
//#define MQTT_CLIENTID "paho53523262479"
#define ledPin      13
#define DHTPIN      5
#define relayPin    3
#define DHTTYPE     DHT11
//#define PUBLISH_DELAY 30000
//void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length);
//YunClient yun;
```

```

//PubSubClient mqtt(MQTT_SERVER, 1883, callback, yun);
long previousMillis;
char msgBuffer[20];
//void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length);
// /server
bool auth = false;

bool pisk = true;

SimpleTimer timer;
//*****I2C 1602 LCD Display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
//*****Servo/Keypad
Servo myservo;

#define Password_Length 8
char Data[Password_Length];
char Master[Password_Length] = "123A456";
byte data_count = 0, master_count = 0;
bool Pass_is_good;
char customKey;
const byte ROWS = 4; //four rows
const byte COLS = 4; //four columns
//define the symbols on the buttons of the keypads
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},

```

```

    {'*', '0', '#', 'D'}
};

byte rowPins[ROWS] = {47, 45, 43, 41}; //connect to the row pinouts of the
keypad

byte colPins[COLS] = {39, 37, 35, 33}; //connect to the column pinouts of
the keypad

//initialize an instance of class NewKeypad

Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins, ROWS,
COLS);

//*****RFID

RFID rfid(48,49); //sda:pin48,rst:pin49

bool state=true;

//*****ALCOHOL

const int analogSignal = A5; //подключение аналогового сигнального пина
const int digitalSignal = 6; //подключение цифрового сигнального пина
boolean noGas; //переменная для хранения значения о присутствии газа
int gasValue = 0; //переменная для хранения количества газа

//*****DHT11

#define DHTPIN 5 // What digital pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

float h; //humidity
float t; //Temperature

```

```

//*****Light sensor/Ultrasonic sensor/ LED
#define echoPin 29
#define trigPin 27
int lightsensorPin = A0;    // select the input pin for the photoresistor
int light_val = 0;        // variable to store the value coming from the
sensor

float duration, distance;

int LED = 26;    // select the pin26 for the LED

//*****S
smoke sensor mq2

//connect to A1

int smoke_mq2 = A1;

int smoke = 0;

//*****F
LAME sensor

//connect to A2

int FlamePin = A2; // This is for input pin
int Flame = 1023; // LOW when FLAME Exposed

//*****B
BUZZER

int Buzzer = 31; //the pin of the active buzzer

//*****R
GB1

const int redPin1 = 8; // R1 connected to digital pin 8
const int greenPin1 = 9; // G1 to digital pin 9
const int bluePin1 = 10; // B1 connected to digital pin 10

```

```

//*****R
GB2

const int redPin2 = 11; // R2 connected to digital pin 11
const int greenPin2 = 12; // G2 to digital pin 12
const int bluePin2 = 13; // B2 connected to digital pin 13

//*****2
CHANNEL RELAYS

//the relays connect to

int IN1 = 4;
int IN2 = 3;

//*****W
ater sensor

//the signal pin connect to D7
int waterSensor = 7;
int waterValue = 0;

//*****p
IR_HC_SR501

//Connect to D24
int pir_hc_sr501 = 24;
int LED1 = 13; // choose the pin for the LED
int relayInput = 3; // choose the pin for the relay
int pirState = LOW; // we start, assuming no motion detected
int pirval = 0; // variable for reading the pin status
bool pirStatus=false;

```

```
//rgb
void setColor1(int red, int green, int blue)
{
    analogWrite(redPin1, red);
    analogWrite(greenPin1, green);
    analogWrite(bluePin1, blue);
}

void setColor2(int red, int green, int blue)
{
    analogWrite(redPin2, red);
    analogWrite(greenPin2, green);
    analogWrite(bluePin2, blue);
}

void Page1();

//keypad
void KEYPADSENSOR() {
    // Serial.println("KEYPAD START!");
    if (auth==false)
    {
        //char customKey;
        customKey = customKeypad.getKey();
        // Serial.println("KEYPAD START!");
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Enter Password:");
        // Serial.println("Enter Password:");
        if (customKey){
```

```
Data[data_count] = customKey;
lcd.setCursor(data_count,1);
lcd.print(Data[data_count]);
Serial.println(Data[data_count]);
data_count++;
}

if(data_count == Password_Length-1){
  lcd.clear();

  if(!strcmp(Data, Master)){
    setColor1(0, 255, 0); // set rgb1 green
    lcd.print("Correct");
    Serial.println("Password Correct!");
    //digitalWrite(signalPin, HIGH);
    myservo.write(90);//goes to 90 degrees
    //lcd.print("1602 LCD IS READY");
    //wait for a second
    delay(1000);
    myservo.write(0);//back to 0 degrees
    setColor1(0, 0, 0);
    lcd.clear();
    Page1();
    lcd.setCursor(0, 0);
    auth=true;
  }
  else{
    lcd.print("Incorrect");
```

```

        setColor1(255, 0, 0); // set rgb1 red
        delay(1000);
        setColor1(0, 0, 0);
        lcd.clear();
    }
    clearData();
}
}
else
{customKey = customKeypad.getKey();
if(customKey)MENU();}
}

void clearData(){
    while(data_count !=0)
    {
        Data[data_count--] = 0;
    }
    return;
    lcd.clear();
}

//menu
char commands[9][12]={"Temperature", "Light", "Pir", "Flame", "Smoke",
"ALCOHOL", "Buzzer", "Exit"};

int pointer=0;
int level=0;
void Page1()

```

```
{  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(String("-> ") + commands[pointer]);  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print(commands[pointer+1]);  
}
```

```
void MENU()
```

```
{  
  if(auth)  
  {  
    switch(level)  
    {  
      case 0:  
        if(customKey=='2'&&pointer>0)pointer--;  
        if(customKey=='8'&&pointer<7)pointer++;  
        if(customKey=='A')level=pointer+1;  
        if(!level)Page1();  
        else MENU();  
        break;  
      case 1: //DHT  
        lcd.clear();  
        lcd.setCursor(0,0);  
        lcd.print("Humidity: ");  
        lcd.print(h);  
        lcd.setCursor(0,1);  
        lcd.print("Temperat: ");
```

```
    lcd.print(t);
    if(customKey=='B'){
        Page1();
        level=0;
    }
    break;
case 2:    //light
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("light_val = ");
    lcd.print(light_val);    //The serial will print the light value
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Distance=");
    lcd.print(distance);
    lcd.print("cm");
    if(customKey=='B')
    {
        Page1();
        level=0;
    }
    break;
case 3:
    lcd.clear();
    if(pirStatus)lcd.print("Motion detected!");
    else lcd.print("No motion");
    if(customKey=='B'){
        Page1();
        level=0;
```

```
}  
if(customKey=='B')level=0;  
break;  
case 4:    //flame  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("flame_val = ");  
    lcd.print(Flame);  
    lcd.setCursor(0,1);  
    if(Flame<500) {lcd.print("flame");  
    digitalWrite(Buzzer, LOW);}  
    else  
    {lcd.print("No flame");  
    digitalWrite(Buzzer, HIGH);}  
if(customKey=='B'){  
    Page1();  
    level=0;  
}  
break;  
case 5:    //smoke  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("smoke_val = ");  
    lcd.print(smoke);  
    lcd.setCursor(0,1);  
    if(smoke > 300) {lcd.print("warning smoke/gas");  
    digitalWrite(Buzzer, LOW);}  
    else
```

```
{lcd.print("No smoke/gas");
digitalWrite(Buzzer, HIGH);}
if(customKey=='B'){
    Page1();
    level=0;
}
break;
case 6://Alcohol
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("alcohol_val = ");
lcd.print(gasValue);
lcd.setCursor(0,1);
    if(noGas) {lcd.print("you're no drunk");
digitalWrite(Buzzer, HIGH);}
    else
    {lcd.print("you're drunk");
digitalWrite(Buzzer,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(Buzzer, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(Buzzer,LOW);
delay(1000);
    digitalWrite(Buzzer, HIGH);
delay(1000);}
if(customKey=='B'){
    Page1();
    level=0;
```

```

}
break;
case 7://Buzzer
lcd.clear();
lcd.print("* to ON ");
if(pisk)lcd.print("  <-");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("# to OFF");
if(!pisk)lcd.print("  <-");
if(customKey=='*'){pisk=true;digitalWrite(Buzzer, HIGH);}
else if(customKey=='#'){pisk=false;digitalWrite(Buzzer, LOW);}
else if(customKey=='B'){
    Page1();
    level=0;
}
break;
case 8: //exit
auth=false;
level=0;
pointer=0;
timer.setInterval(1000, RFIDSSENSOR);
break;
default:
break;
}
customKey=' ';
}
}

```

```
//rfid

void RFIDSENSOR() {
  if(auth)return;
  Serial.println("RFID START!");
  unsigned char type[MAX_LEN];
  //to find the card
  if (rfid.isCard( )) {
    Serial.println("Find the card!");
    // Show card type
    ShowCardType(type);
    //Read card sequence number
    if (rfid.readCardSerial()) {
      Serial.print("The card's number is : ");
      Serial.print(rfid.serNum[0],HEX);
      Serial.print(rfid.serNum[1],HEX);
      Serial.print(rfid.serNum[2],HEX);
      Serial.print(rfid.serNum[3],HEX);
      Serial.print(rfid.serNum[4],HEX);
      Serial.println(" ");
      ShowUser(rfid.serNum);
      Page1();
      auth=true;
      timer.disable(2);
    }
  }
  else
    //Select card, return card capacity (lock card, prevent most read),
    remove the line to read the card continuously
```

```

    Serial.println(rfid.selectTag(rfid.serNum));
}
rfid.halt();
}
void ShowCardType( unsigned char* type)
{
    Serial.print("Card type: ");
    if(type[0]==0x04&&type[1]==0x00)
        Serial.println("MF0ne-S50");
    else if(type[0]==0x02&&type[1]==0x00)
        Serial.println("MF0ne-S70");
    else if(type[0]==0x44&&type[1]==0x00)
        Serial.println("MF-UltraLight");
    else if(type[0]==0x08&&type[1]==0x00)
        Serial.println("MF-Pro");
    else if(type[0]==0x44&&type[1]==0x03)
        Serial.println("MF Desire");
    else
        Serial.println("Unknown");
}

void ShowUser( unsigned char* id)
{
    //32 DA 94 10
    //Overhere, you need to use your own card message!!!
    if( id[0]==0xC3 && id[1]==0x6C && id[2]==0x4C && id[3]==0xD3
) {
        //Serial.println("Hello Mary!");

```

```

    lcd.clear();
    lcd.print("Hello Mary!");
    setColor1(0, 255, 0); // set rgb1 green
    myservo.write(90); // goes to 90 degrees
    // state=RelayStatus(state);
    delay(3000);
    setColor1(0, 0, 0);
    myservo.write(0); // back to 0 degrees
}
//75 C0 D0 6
//Overhere, you need to use your own card message!!!
else if(id[0]==0x76 && id[1]==0x0C && id[2]==0x98 && id[3]==0x1A) {
    Serial.println("Hello MicroHao!");
    myservo.write(90); // goes to 90 degrees
    setColor1(0, 255, 0); // set rgb1 green
    Serial.println("Open th door");
    delay(3000);
    myservo.write(0); // back to 0 degrees
    setColor1(0, 0, 0);
    Serial.println("Close the door");
    //state=RelayStatus(state);
}
else{
    Serial.println("Hello unkown guy!");
    setColor1(255, 0, 0); // set rgb1 red
    delay(500);
    setColor1(0, 0, 0);
    delay(500);
}

```

```
    setColor1(255, 0, 0); // set rgb1 red
    delay(500);
    setColor1(0, 0, 0);
}
}

//dht

void DHTSENSOR ()
{
    Serial.println("DHT START!");
    h = dht.readHumidity();
    t = dht.readTemperature(); // or dht.readTemperature(true) for Fahrenheit

    if (isnan(h) || isnan(t)) {
        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
        // lcd.setCursor(0, 0);
        // lcd.print("Failed to read from DHT sensor!    : ");
        // lcd.clear();
        delay(500);
        return;
    }
    Serial.print(F("Humidity: "));
    Serial.print(h);
    Serial.print(F("% Temperature: "));
    Serial.print(t);
    Serial.print(F("°C "));
```

```
// mqtt.publish("Home/Kitchen/Kitchen_Temperature", dtostrf(t, 6, 2,
msgBuffer));

// mqtt.publish("Home/Kitchen/Kitchen_Humidity", dtostrf(h, 6, 2,
msgBuffer));

    // You can send any value at any time.

    // Please don't send more that 10 values per second.

    delay(500);
}

//Light / Ultrasonic

void LIGHTSENSOR () {
    Serial.println("LIGHT SENSOR AND HC-SR04 START!");
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distance = (duration / 2) * 0.0344;

light_val = analogRead(lightsensorPin); // read the value from the sensor
    Serial.print("light_val = ");
    Serial.println(light_val); //The serial will print the light value
    Serial.print("Distance = ");
```

```

    Serial.print(distance);

    Serial.println(" cm");

    if(light_val>=400 && distance <= 10 )           // the point at which the
state of LEDs change
    {
        digitalWrite(LED, HIGH);
        delay(1000);
    }
else
    {
        digitalWrite(LED, LOW); //set LED off
    }
}

//***** PIR HC-SR501

void PIRSENSOR () {
    Serial.println("PIR SENSOR START!");
    pirval = digitalRead(pir_hc_sr501); // read input value
    if (pirval == HIGH) {                // check if the input is HIGH
        //digitalWrite(LED, HIGH); // turn LED ON
//    led2.on(); // set LED on
        if (pirState == LOW) {
            // we have just turned on
            pirStatus=true;
            Serial.println("Motion detected!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!");
//    mqtt.publish("Home/Kitchen/Kitchen_Motion", "1");
//    mqtt.publish("Home/Bathroom/Bathroom_Motion", true);
            setColor2(255, 255, 255); // set rgb1

```

```

    // We only want to print on the output change, not state
    pirState = HIGH;
}
} else {
//    led2.off(); //set LED off
    setColor2(0, 0, 0);
    if (pirState == HIGH){
        // we have just turned of
        pirStatus=false;
        Serial.println("Motion ended!");
//    mqtt.publish("Home/Kitchen/Kitchen_Motion", "0");
//    mqtt.publish("Home/Bathroom/Bathroom_Motion", true);
        // We only want to print on the output change, not state
        pirState = LOW;
    }
}
}

//***** Flame Sensor
void FLAMESENSOR () {

    Serial.println("FLAME SENSOR START!");
    Flame = analogRead(FlamePin);
    Serial.print("flame_val = ");
    Serial.println(Flame); //The serial will print the fire value
//    mqtt.publish("Home/Bedroom/Bedroom_Flame", itoa(Flame,msgBuffer,10));
    if(Flame>=1050) // the point at which the state of LEDs change

```

```

{
  setColor2(255, 0, 0); // turn the RGB LED red
  delay(500);
  setColor2(0, 0, 0);
  delay(500);
  setColor2(255, 0, 0); // turn the RGB LED red
  delay(500);
  setColor2(0, 0, 0);
  delay(500);
  digitalWrite(Buzzer, LOW);
  delay(10000);

//   led3.on();

}
else
{
  Serial.println("No Fire!");
  digitalWrite(Buzzer, HIGH);
//   led3.off();

}
  delay(2000);
}
//***** MQ2 Smoke sensor
void SMOKESENSOR () {
  Serial.println("SMOKE SENSOR START!");
  smoke = analogRead(smoke_mq2);

```

```
// mqtt.publish("Home/Bedroom/Bedroom_Smoke", itoa(smoke,msgBuffer,10));
Serial.print("smoke_val = ");
Serial.println(smoke); //The serial will print the smoke value
if(smoke>=540) // the point at which the state of LEDs change
{

  setColor2(255, 0, 0); // turn the RGB LED red
  delay(2000);
  setColor2(0, 0, 0);
  delay(2000);
  setColor2(255, 0, 0); // turn the RGB LED red
  delay(2000);
  setColor2(0, 0, 0);
  digitalWrite(Buzzer, LOW);
  delay(20000);
  //mqtt.publish("Home/Bedroom/Bedroom_Smoke", "true");
// led1.on();
}
else
{
  if (pisk == true)
  {
    Serial.println("No smoke!");
    //mqtt.publish("Home/Bedroom/Bedroom_Smoke", "false");
    digitalWrite(Buzzer, HIGH);
  }
// led1.off();
}
```

```
// delay(500);  
}  
  
void ALCOHOL() {  
    noGas = digitalRead(digitalSignal); //считываем значение о присутствии  
газа  
    gasValue = analogRead(analogSignal); // и о его количестве  
  
    //вывод сообщения  
    Serial.print("you're ");  
    if (noGas) Serial.print("no drunk");  
    else Serial.print("drunk");  
    Serial.print(", the alcohol value is ");  
    Serial.println(gasValue);  
  
    //delay(5000); //задержка 5 с  
}  
//*****void setup  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600);  
    // Bridge.begin();  
    SPI.begin();  
    dht.begin();  
  
    myservo.attach(2);  
    myservo.write(0);//back to 0 degrees
```

```

lcd.init();                // initialize the lcd
// Print a message to the LCD.
lcd.backlight();
lcd.clear();
rfid.init();
// pinMode(led, OUTPUT);
//pinMode(relay,OUTPUT);
// digitalWrite(relay,HIGH);
// Setup a function to be called every second
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);
pinMode(LED, OUTPUT);      // declare LED as output
pinMode(pir_hc_sr501, INPUT);    // declare sensor as input
pinMode(Buzzer, OUTPUT);    // declare Buzzer as output
pinMode(redPin1, OUTPUT);
pinMode(greenPin1, OUTPUT);
pinMode(bluePin1, OUTPUT);
    pinMode(digitalSignal, INPUT); //установка режима пина

// if (mqtt.connect(MQTT_CLIENTID)) {
//     mqtt.setCallback(callback);
//     Serial.println(F("DHT sensor initialized"));
//     Serial.println();
//     Serial.println(F("Ready to send data"));
//     previousMillis = millis();
// }
timer.setInterval(100, KEYPADSENSOR);
timer.setInterval(1000, MENU);

```

```
timer.setInterval(1000, RFIDSENSOR);
timer.setInterval(10000, DHTSENSOR);
timer.setInterval(10000, FLAMESENSOR);
timer.setInterval(10000, SMOKESENSOR);
timer.setInterval(10000, LIGHTSENSOR);
timer.setInterval(3000, PIRSENSOR);
timer.setInterval(3000, ALCOHOL);
while (!Serial);{}

}

//*****void loop
void loop()
{
  // this is where the "polling" occurs
  timer.run();
  digitalWrite(Buzzer, HIGH);
}
//void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
//  Serial.print("Message arrived [");
//  Serial.print(topic);
//  Serial.print("] ");//MQTT_BROKER
//  for (int i = 0; i < length; i++) {
//    Serial.print((char)payload[i]);
//  }
//  Serial.println();
//  Serial.println(payload[0]);
//
```

```
// if (strncmp((const char*)payload, "ON", 2) == 0) {  
//   digitalWrite(ledPin, HIGH);    //  
//   digitalWrite(relayPin, HIGH);  
// }  
// if (strncmp((const char*)payload, "OFF", 3) == 0) {  
//   digitalWrite(relayPin, LOW);    //  
//   digitalWrite(ledPin, LOW);  
// }  
//  
//}  
//}
```

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 14.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 9%

ID: 103422 Назва: Метод та програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок» Додано в БД: 2022-05-12 Автора: Боднарівський В.О. Керівники: Яцків В.В. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	78590	572	11552 (15%)	109 (19%)

Джерело плагиату

ID	Опис	Наявність плагиату в документі	
		Символи	Лексеми
97640	Назва: Технології проектування програмних систем» на тему: «Колективне планування, проектування та реалізація програмної системи» Додано в БД: 2021-12-01 Автора: Д.А. Любовецький Керівники: Т.О. Говорущенко Консультанти: Опоненти:	10932 (14.0%)	109 (19.0%)

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
12.05.2022 14:11:12 EEST

Дата звіту:  
12.05.2022 14:11:40 EEST

ID перевірки:  
1011157600

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Боднарівський\_Метод та програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіб...

Кількість сторінок: 78 Кількість слів: 11236 Кількість символів: 92880 Розмір файлу: 4.08 MB ID файлу: 1011053481

## 1.98% Схожість

Найбільша схожість: 1.6% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1010942022)

0.67% Джерела з Інтернету 16

Сторінка 80

1.62% Джерела з Бібліотеки 71

Сторінка 80

## 1.53% Цитат

Цитати 3

Сторінка 81

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

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

Замінені символи 200

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Боднарівський Володимир Олегович

Тема: Метод та програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 0 Кількість сторінок записки 101

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: У роботі запропоновано програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Дипломна робота відповідає виданому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В результаті реалізації удосконаленого методу було реалізовано програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі
4. Позитивні сторони роботи: В результаті виконаного наукового дослідження було розроблено програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок», який забезпечує дотримання збереження енергоносіїв, покращення якості проживання в будинку та підвищення ефективності праці користувачів системи. У другому розділі досліджено, що через відсутність належного зв'язку між моделями заповнюваності (тобто моделями заповнюваності та вподобаннями) та BEMS, лише кілька досліджень могли досягти економії енергії на основі імовірнісної інформації мешканців. Для досягнення цілей мінімізації споживання енергії в будівлі, а також годин дискомфорту мешканців, у третьому розділі розроблено алгоритм оптимізації детальну модель імітації енергії будинку. У ході виконання проєкту, в четвертому розділі, «Розумний будинок» було реалізовано функціонуючу модель

«Розумний будинок», оснащену системами авторизації (введення пароля, сканер RFID мітки, сканер відбитків пальців).

Використання сильного та гнучкого двигуна для створення правил, скриптів, дій, сповіщень та голосового керування (все це дає можливість власнику налаштувати «Розумний будинок» під його особисті потреби).

5. Негативні сторони роботи: Не в повній мірі здійснено аналіз методів оптимізації управління енергоефективністю

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Матеріали кваліфікаційної роботи є структурованими у чіткій та логічній формі та відображають послідовність виконання поставлених задач


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

8. Інші зауваження: —

9. Оцінка дипломної роботи: Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої дипломної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «відмінно»

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Джулій В.М. , к.т.н., доцент, кафедри кафедри кібербезпеки та комп'ютерних систем і мереж Хмельницького національного університету

“ 27 ” квітня 2022 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІСП  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Боднарівський Володимир Олегович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 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 плагіатоповіщений (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.

25.04.2022

дата



підпис

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

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

Назва: Метод та програмно-апаратний засіб управління енергоефективністю в кіберфізичній системі «Розумний будинок»  
 Автор: Боднарівський Володимир Олегович  
 Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія  
 Освітня програма: освітньо-наукова  
 Науковий керівник: Василь Васильович Яцків

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 укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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

- 1) 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 оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-15 джерелами на один фрагмент речення;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 1,98% і адресується до 40 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІСП


В. В. Яцків

О. С. Савенко

Т. О. Говорущенко